

**МКУ «Закаменское районное управление образования»  
МАОУ «Ехэ-Цакирская средняя общеобразовательная школа»**

**Исследование и измерение  
внешнего коэффициента трения сыпучих  
веществ**

**Автор работы:  
Цырендоржиева Александра,  
ученица 10 класса;  
Гомбоев Базыр, ученик 10 класса**

**Руководитель:  
Соктоев Дамдин Цырендоржиевич,  
учитель физики**

**сЕхэ-Цакир, 2015г.**

## Содержание работы

<b>1. Введение</b>	<b>3</b>
Актуальность	3
Предмет исследования	3
Объект исследования	3
Цель	3
Задачи	3
Литературные источники	3
Методы	3
Новизна исследования	3
Теоретическая значимость	4
Практическая значимость	4
Место и сроки проведения работы	4
<b>2. Результаты исследования</b>	<b>5</b>
Трение, какое оно?	5
Эксперимент №1 «Наклонная плоскость»	7
Эксперимент №2 «Насыпь»	10
Коэффициент сыпучести	13
Результаты погрешности	15
<b>3. Заключение</b>	<b>18</b>
<b>4. Литература</b>	<b>19</b>

## Введение

С трением мы сталкиваемся на каждом шагу. Вернее было бы сказать, что без трения мы и шагу ступить не можем. Несмотря на ту большую роль, которую играет трение в нашей жизни, до сих пор не создана достаточно полная картина возникновения трения. Это связано даже не с тем, что трение имеет сложную природу, а скорее с тем, что опыты с трением очень чувствительны к обработке поверхности и поэтому трудно воспроизводимы.

Мне пришла в голову одна мысль: «А что, если измерить внешний коэффициент трения какого-нибудь необычного вещества, например, манной крупы, песка или сахарного песка, ведь коэффициент трения обычных тел измерить не составляет особого труда, а как же быть с этими веществами?».

### **Актуальность:**

Трение и наблюдения за ним является неотъемлемой частью нашей жизни. Существуют процессы, протекающие в нашем мире, которые зависят от трения. Мы не можем жить и не знать, хотя бы элементарных явлений в природе и науке. А, следовательно, физика является той наукой, которая актуальна, не стареющая. Тема моей работы поможет понять и узнать самые обычные процессы в окружающем нас мире.

**Предмет исследования:** трение.

**Объект исследования:** внешний коэффициент трения.

### **Цель:**

рассмотреть с помощью опытов внешний коэффициент трения сыпучих веществ (песок).

### **Задачи:**

1. Изучить теорию трения;
2. Теорию подтвердить практическим экспериментом;

В ходе работы был проведен подбор анализ и систематизация **литературных**

### **источников:**

1. Трофимова Т.И. «Физика от А до Я». –М.: «Дрофа» 2007 г. стр. 43- 44
2. Старовиков М.И.; Низамов И.М. «Задачи по механики и методы их решения» -М.: Бийск: научно- издательский центр Бийского государственного педагогического института, 1998 г. стр. 41-75

**Методы:** практический, теоретический, сравнение.

**Новизна исследования** состоит в том, что в ходе эксперимента исследовали внешний коэффициент сыпучих веществ.

**Теоретическая значимость** состоит в том, чтобы рассмотреть теоретические аспекты по теме коэффициента трения.

**Практическая значимость** состоит в непосредственном измерении внешнего коэффициента трения сыпучих веществ.

**Место и сроки проведения работы:** декабрь-январь 2014 -2015г., МАОУ «Ехэ-Цакирская СОШ»

## Результаты исследования

### Трение, какое оно?

Силами трения называют силы, возникающие при соприкосновении поверхностей двух тел или частей одного тела и препятствующие их взаимному перемещению. Они приложены к телам вдоль поверхности соприкосновения и всегда направлены в сторону, противоположную относительной скорости движения.



Если тело скользит по какой-либо поверхности, его движению препятствует сила трения скольжения.

$$F_{\text{тр}} = \mu N,$$

где  $N$  — сила реакции опоры, а  $\mu$  — коэффициент трения скольжения. [1]

Сила трения скольжения всегда направлена противоположно движению тела. При изменении направления скорости изменяется и направление силы трения.

Сила трения начинает действовать на тело, когда его пытаются сдвинуть с места. Если внешняя сила  $F$  меньше произведения  $\mu N$ , то тело не будет сдвигаться — началу движения, как принято говорить, мешает сила трения покоя. Тело начнет движение только тогда, когда внешняя сила  $F$  превысит максимальное значение, которое может иметь сила трения покоя

Трение покоя – сила трения, препятствующая возникновению движению одного тела по поверхности другого. Силы трения имеют электромагнитную природу.[1]

Коэффициент  $\mu$  зависит от материала и качества обработки соприкасающихся поверхностей и не зависит от веса тела. Коэффициент трения определяется опытным путем.

В жизни человека силы трения играют важную роль. В одних случаях он их использует, а в других борется с ними.[1]

## Эксперимент №1

**Цель:** определить внешний коэффициент трения сыпучих веществ.

**Оборудование:** наклонная плоскость, клей, песок, измерительная лента.

### Ход работы:

1. На наклонную плоскость нанесем тонкий слой клея;
2. Нанесем на слой клея тонкий равномерный слой песка для того, чтобы создалось умеренное сцепление;
3. На этот слой нанесем еще один, но только толстый слой того же вещества;
4. Будем увеличивать угол наклона плоскости с поверхностью до тех пор, пока песок не начнет ссыпаться;
5. Измерим с помощью измерительной ленты высоту  $h$  и длину  $l$ ;
6. Измерительные данные занесем в таблицу.

№	Название вещества	Высота $h$ , см	Длина $l$ , см	Коэффициент трения $\mu$	
1	Мелкий песок	17	26,5	0,64	0,599
		15,5	26,5	0,58	
		16,5	26	0,63	
		15,5	26,5	0,57	
		16	27,5	0,58	
2	Средний песок	16,5	27	0,61	0,626
		16,5	27	0,61	
		17	26,5	0,64	
		18,5	27	0,69	
		16	27,5	0,6	
3	Крупный песок	15,5	28	0,55	0,58
		16	27,5	0,58	
		15	28,5	0,53	
		17	27,5	0,62	
		17,5	27	0,65	
4					
4	Сахарный песок	15	40	0,375	0,43
		16	41	0,390	

		18	42,5	0,424	
		20	42	0,446	
		21	42,5	0,464	
5	Крупа манная	15	41	0,366	0,43
		17	41,5	0,410	
		18	42	0,429	
		20	42,5	0,471	
		21	43	0,488	

### Обработка полученных результатов

$$OX: mg \sin \alpha - F_{\text{тр}} = 0;$$

$$OY: N - mg \cos \alpha = 0;$$

$$F_{\text{тр}} = mg \sin \alpha;$$

$$N = mg \cos \alpha;$$

$$F_{\text{тр}} = \mu N;$$

$$mg \sin \alpha = \mu mg \cos \alpha;$$

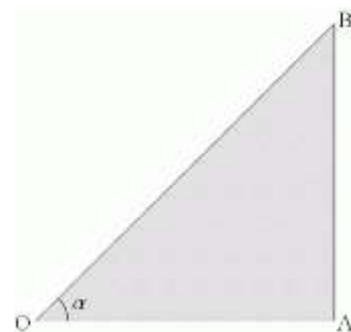
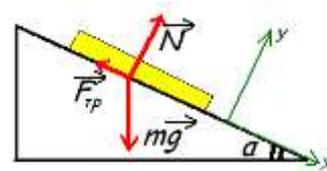
$$\mu = \frac{mg \sin \alpha}{mg \cos \alpha} = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha};$$

$$\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \operatorname{tg} \alpha;$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{l};$$

$$\mu = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha};$$

$$\mu = \frac{h}{l};$$



$$\sin \alpha = \frac{AB}{OB}; \cos \alpha = \frac{AO}{OB};$$

## Эксперимент №2

**Цель:** определить внешний коэффициент трения песка, разделенного на фракции.

**Оборудование:** воронка, измерительная лента, линейка, песок.

### Ход работы:

1. На ровную поверхность насыпаем струю песка из воронки, сделанную из бумаги;
2. При насыпи песка в определенный момент образуется лавина из резкого возросшего количества сыпавшегося вещества, после этого прекратили сыпать песок;
3. Измерили высоту и радиус, получившегося кургана;
4. Измерительные данные занесем в таблицу.

№	Название вещества	Высота $h$ , см	Длина $l$ , см	Радиус $R$ , см	Коэффициент трения $\mu$	
1	Мелкий песок	0,3	1	1	0,3	0,28
		0,2	0,8	0,8	0,25	
		0,3	0,7	1	0,3	
2	Средний песок	0,4	1	0,9	0,44	0,49
		0,5	0,9	1	0,5	
		0,5	1	0,9	0,55	
3	Крупный песок	0,5	1	1,5	0,33	0,33
		0,6	1	1,5	0,4	
		0,4	1,5	1,5	0,26	
4	Соль поваренная	1	8	2	0,25	0,30
		0,5	5	1,5	0,30	
		2	7	2,5	0,36	

## Обработка полученных результатов

$$OX: mg\sin\alpha - F_{\text{тр}}=0;$$

$$OY: N - mg\cos\alpha=0;$$

$$F_{\text{тр}}=mg\sin\alpha;$$

$$N=mg\cos\alpha;$$

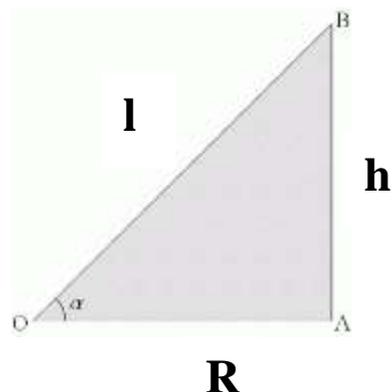
$$F_{\text{тр}}=\mu N;$$

$$mg\sin\alpha=\mu mg\cos\alpha;$$

$$\mu = \frac{mg\sin\alpha}{mg\cos\alpha} = \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha};$$

$$\frac{\sin\alpha}{\cos\alpha} = \text{tg}\alpha;$$

$$\text{tg}\alpha = \frac{h}{l};$$



$$\mu = \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha};$$

$$\mu = \frac{h}{R};$$

$$\sin\alpha = \frac{AB}{OB} = \frac{h}{l}; \cos\alpha = \frac{AO}{OB} = \frac{R}{l};$$

Название вещества	Решение
Мелкий песок	$\mu = \frac{0,3}{1} = 0,3;$ $\mu = \frac{0,2}{0,8} = 0,25;$ $\mu = \frac{0,3}{1} = 0,3;$
Средний песок	$\mu = \frac{0,4}{0,9} = 0,44;$ $\mu = \frac{0,5}{1} = 0,5;$ $\mu = \frac{0,5}{0,9} = 0,55;$
Крупный песок	$\mu = \frac{0,5}{1,5} = 0,33;$ $\mu = \frac{0,6}{1,5} = 0,4;$ $\mu = \frac{0,4}{1,5} = 0,26;$

## Коэффициент сыпучести

Через внешний коэффициент трения можно посчитать коэффициент сыпучести вещества, чем выше коэффициент сыпучести, тем выше курган. Коэффициент сыпучести численно равен углу естественного откоса.

**Угол естественного откоса** — угол, образованный свободной поверхностью рыхлой горной массы или иного сыпучего материала с горизонтальной плоскостью. Иногда может быть использован термин «угол внутреннего трения».

Частицы материала, находящиеся на свободной поверхности насыпи, испытывают состояние критического (предельного) равновесия. Угол естественного откоса связан с коэффициентом трения и зависит от шероховатости зерен, степени их увлажнения, гранулометрического состава и формы, а также от удельного веса материала.

По углам естественного откоса определяются максимально допустимые углы откосов уступов и бортов карьеров, насыпей, отвалов и штабелей. Угол естественного откоса из различных материалов

Материал (условия)	Угол естественного откоса (градусы)
Глина сухая	35-40°
Гравий (насыпной)	30-45°
Гравий (натуральный с песком)	25-30°
Кора (деревянные отходы)	45°
Мука	45°
Пепел	40°
Песок сухой	15-30°
Песок влажный	45°
Песок сырок	34°
Пшеница сухая	28°

### Эксперимент №2

	$\mu_{\text{ср}}$	$\text{tga}$
Мелкий песок	0,28	15°

<b>Средний песок</b>	0,49	<b>26°</b>
<b>Крупный песок</b>	0,33	<b>18°</b>

**Вывод:** чем больше внешний коэффициент трения, тем больше тангенс угла, а, следовательно, курган выше.

### Результаты погрешности

По всем проводим мной экспериментам, есть погрешность:

$$a_{cp} = \frac{\Delta a_1 + \Delta a_2 + \dots + \Delta a_n}{n};$$

$$\Delta a_1 = a_1 - a_{cp};$$

$$\Delta a_2 = a_2 - a_{cp}; \Delta a = \frac{\Delta a_1 + \Delta a_2 + \dots + \Delta a_n}{n};$$

....

$$\Delta a_n = a_n - a_{cp};$$

Абсолютная погрешность по эксперименту №1

Для мелкого песка

$$a_{cp} = 0,599.$$

$$\Delta a_1 = 0,64 - 0,599 = 0,041;$$

$$\Delta a_2 = 0,58 - 0,599 = - 0,019;$$

$$\Delta a_3 = 0,63 - 0,599 = 0,031;$$

$$\Delta a_4 = 0,57 - 0,599 = - 0,029;$$

$$\Delta a_5 = 0,38 - 0,599 = - 0,019;$$

$$\Delta a = \frac{0,041 + (-0,019) + 0,031 + (-0,029) + (-0,019)}{5} = 0,001.$$

Для среднего песка

$$a_{cp} = 0,626.$$

$$\Delta a_1 = 0,61 - 0,626 = - 0,016;$$

$$\Delta a_2 = 0,61 - 0,626 = - 0,016;$$

$$\Delta a_3 = 0,64 - 0,626 = 0,014;$$

$$\Delta a_4 = 0,69 - 0,626 = 0,064;$$

$$\Delta a_5 = 0,6 - 0,626 = - 0,026;$$

$$\Delta a = \frac{-0,016 + (-0,016) + 0,014 + 0,064 + (-0,026)}{5} = 0,004.$$

#### **Для крупного песка**

$$a_{cp} = 0,58.$$

$$\Delta a_1 = 0,55 - 0,58 = - 0,03;$$

$$\Delta a_2 = 0,58 - 0,58 = 0;$$

$$\Delta a_3 = 0,53 - 0,58 = - 0,05;$$

$$\Delta a_4 = 0,62 - 0,58 = 0,04;$$

$$\Delta a_5 = 0,65 - 0,58 = 0,07;$$

$$\Delta a = \frac{-0,03 + 0 + (-0,05) + 0,04 + 0,07}{5} = 0,006.$$

#### **Абсолютная погрешность по эксперименту №2**

#### **Для мелкого песка**

$$a_{cp} = 0,28.$$

$$\Delta a_1 = 0,3 - 0,28 = 0,02;$$

$$\Delta a_2 = 0,25 - 0,28 = - 0,03;$$

$$\Delta a_3 = 0,3 - 0,28 = 0,02;$$

$$\Delta a = \frac{0,02 + (-0,03) + 0,02}{3} = 0,003.$$

**Для среднего песка**

$$a_{\text{ср}} = 0,49.$$

$$\Delta a_1 = 0,44 - 0,49 = -0,05;$$

$$\Delta a_2 = 0,5 - 0,49 = 0,01;$$

$$\Delta a_3 = 0,55 - 0,49 = 0,06;$$

$$\Delta a = \frac{-0,05 + 0,01 + 0,06}{3} = 0,006.$$

**Для крупного песка**

$$a_{\text{ср}} = 0,33.$$

$$\Delta a_1 = 0,33 - 0,33 = 0;$$

$$\Delta a_2 = 0,4 - 0,33 = 0,07;$$

$$\Delta a_3 = 0,26 - 0,33 = -0,07;$$

$$\Delta a = \frac{0 + 0,07 + (-0,07)}{3} = 0.$$

## Заключение

**В ходе работы мною было выяснено:** коэффициент трения зависит от размеров частиц вещества и от метода эксперимента, в этом я и убедилась на опытах.

Каждый из нас знает и представляет, что такое трение и где оно используется, например, при ходьбе человека, движение транспорта и т.д. Но никто никогда не задумывался об этом явлении с точки зрения физики, есть ли это у сыпучих веществ. Подобрал теоретический материал, я решила проверить простые опыты на практике и это мне удалось.

Данную работу можно использовать на уроках физики и знакомить учеников с обычными процессами в окружающем нас мире, но сложными по своему устройству.

## Литература

1. Трофимова Т.И. «Физика от А до Я». –М.: «Дрофа» 2007 г. стр. 43- 44
2. Старовиков М.И.; Низамов И.М. «Задачи по механики и методы их решения» -М.: Бийск: научно- издательский центр Бийского государственного педагогического института, 1998 г. стр. 41-75

## Приложения

