ИЗУЧЕНИЕ СИЛЫ ТРЕНИЯ И СОЗДАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ РАСЧЕТА СИЛЫ ТРЕНИЯ НА НАКЛОННОЙ ПЛОСКОСТИ

Новосадов Д.А.

г. Димитровград, МАОУ «СШ №19 им. И. П. Мытарева г. Димитровграда Ульяновской области», 10 «Б» класс

Руководители: Хайруллова Е.В., г. Димитровград, МАОУ «СШ №19 им. И. П. Мытарева г. Димитровграда Ульяновской области», учитель физики высшей категории;

Нехожина Е.П., г. Димитровград, МАОУ «СШ №19 им. И. П. Мытарева г. Димитровграда Ульяновской области», учитель информатики высшей категории

Вычислить силу трения можно по формуле:

$$F_{тр} = F_{сдвиг}, \text{ если тело покоится.}$$

Из формулы видно, что сила трения вычисляется по-разному в случае, если тело покоится и в случае, если тело движется. На первую часть формулы, которая относится к силе трения покоя, в школьном курсе нет задач, а в олимпиадных задачах и задачах ЕГЭ эта формула применяется. Поэтому для выпускников актуально не просто запомнить формулу, а научиться ее применять. Для ее применения необходимо понять формулу и доказать ее истинность.

Целью работы является изучение силы трения и создание компьютерной модели для вычисления силы трения на наклонной плоскости. Для достижения этой цели поставлены следующие **задачи**:

1. Изучить силу трения, возникающую при взаимодействии поверхностей тела и наклонной плоскости при разных углах ее наклона.
2. Провести эксперименты, подтверждающие изученные закономерности.
3. На основе результатов экспериментов создать математическую и компьютерную модель для изучения силы трения.

Проблема исследования состоит в **доказательстве формулы для силы трения**. Объектом исследования является **с**ила трения при движении тела по наклонной плоскости. **Предметом исследования з**начение силы трения при разных углах наклона плоскости к горизонту**. Продуктом работы является к**омпьютерная модель для изучения силы трения между телом и наклонной плоскостью.

Формула для вычисления силы трения хорошо известна и изучается на уроках физики. Но эта формула не доказывалась, ни на уроке, ни в учебнике. В своей работе я привожу доказательство истинности формулы для вычисления силы трения на примере ее изучения в случае, когда сила возникает между телом и наклонной плоскостью. В этом и состоит мой вклад в изучаемый вопрос и новизна в подходе к изучению силы трения.

В ходе работы использовались следующие **методы** исследования:

- Теоретические (изучение, анализ, обобщение литературы).
- Эмпирические (наблюдения, беседы, измерения).
- Интерпретационные (количественная и качественная обработка результатов).

Литература, которую я использовал при изучении вопроса, является учебной. Это учебники физики для 7-го и 10-го классов различных авторов и открытые источники информации в сети интернет.

Основная часть

1. Виды силы трения

Сила трения – это сила, возникающая при движении или попытке движения одного тела по поверхности другого, направленная вдоль поверхности в сторону, противоположную движению или попытке движения. Причиной возникновения силы трения является сила притяжения между атомами веществ, находящихся на минимальном расстоянии друг от друга, т. е. на микроскопических выступах поверхностей. Суммарная сила притяжения атомов соприкасающихся тел столь значительна, что под действием внешней силы, приложенной к телу, тело остается в покое. Это означает, что на тело действует сила, равная по модулю внешней силе, но противоположно направленная. Это сила является силой трения покоя. Когда приложенная сила достигает максимального значения, достаточного для разрыва связей между выступами, тело начинает скользить. При этом сила трения скольжения остается постоянной, несколько меньше силы трения покоя.

2. Трение покоя у бруска находящегося в покое на наклонной плоскости

Рассмотрим ситуацию, когда деревянный брусок покоится на наклонной пло-

скости. На него действуют силы: тяжести, трения и реакции опоры. Покажем силы на чертеже и выберем оси координат (рис.1)

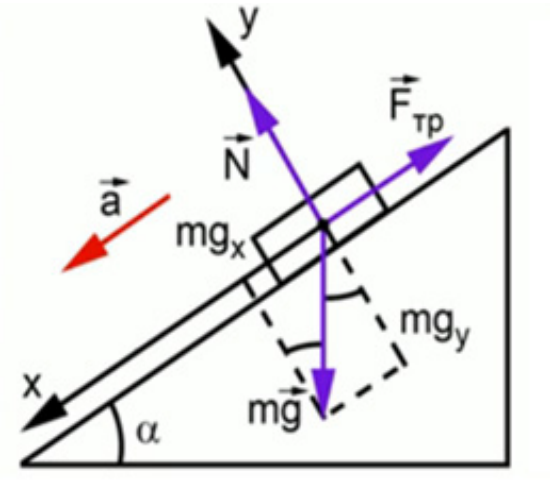


Рис.1.

Запишем первый закон Ньютона для нашего тела.

$$\vec{N} + m\vec{g} + \vec{F}_{mp} = 0$$

Спроецируем закон на выбранные оси OX и OY. Учитывая, что угол альфа- угол между силой тяжести и перпендикуляром, на ось X, получаем:

$$mg\cos\alpha = N$$

$$mg\sin\alpha = F_{mp} \quad (1)$$

Значит силу трения можно найти из уравнения (1)

Учитывая, что синус угла можно найти как отношение высоты наклонной плоскости к ее длине, а масса бруска, равна 145 г, можно вычислить значения силы трения при разных углах наклона плоскости. Выполнив измерения и вычисления, получил данные, представленные в приложении 1.

Анализируя полученные данные, приходим к выводу, что при увеличении угла наклона сила трения всегда увеличивается. Но трение не может все время увеличиваться, так как в этом случае тело не будет скатываться с наклонной плоскости, а это противоречит реальности. Действительно, при угле наклона плоскости к горизонту α=90 0, тело падает под действием силы тяжести и сила трения отсутствует. Значит, существует максимальное значение силы трения для тела при изменении угла наклона плоскости от 0 0 до 90 0. Это значение соответствует ситуации равномерного скатывания тела с наклонной плоскости.

3. Трение скольжения бруска равномерно скатывающегося с наклонной плоскости

Для этой ситуации так же запишем первый закон Ньютона, так как при движении бруска ускорения нет.

$$\vec{N} + m\vec{g} + \vec{F}_{mp} = 0$$

Используя рис. 1, проецируем силы, действующие на брусок, на оси OX и OY. Получаем, что

$$F_{mp} = mg\sin\alpha \quad (3)$$

$$N = mg\cos\alpha \quad (4)$$

Поделив уравнение (3) на уравнение (4), получаем:

$$tg\alpha = \frac{F_{mp}}{N} = \frac{\mu N}{N} = \mu$$

Но тангенс угла наклона можно вычислить как отношение высоты наклонной плоскости к ее длине основания. Следовательно, максимальный коэффициент трения можно вычислить тоже через отношение высоты наклонной плоскости к ее длине основания. Рассчитаем значение коэффициента силы трения при ее максимальном значении.

Брусок спускается без ускорения при высоте наклонной плоскости 28 см и ее основании 53 см. Тогда коэффициент трения равен 0,53, а максимальная сила трения 0,67 Н

$$\mu = \frac{H}{b} = \frac{0{,}28}{0{,}53} = 0{,}53$$

Проверим это с помощью динамометра. Значение трения получилось близкое к расчетному 0,67 Н, как видно на рисунке 2.

Рис.2.

4. Трение скольжения бруска скатывающегося с ускорением наклонной плоскости

При дальнейшем увеличении угла наклона плоскости, сила трения начинает уменьшаться. Приложение 3 и Приложение 4. Выясним, почему это происходит. При увеличении угла, всегда уменьшается значение его косинуса.

$$\cos\alpha = \sqrt{1-\sin^2\alpha}$$

А от косинуса зависит «игрековая» проекция силы тяжести, которая равна силе реакции опоры. Найдем отношение силы трения к значению косинуса угла. Это отношение остается неизменным и равно 0,75313. В эксперименте не меняется значение массы скатывающегося тела и материал трущихся поверхностей. Предположим, что это отношение и есть произведение коэффициента трения, массы тела и ускорения свободного падения. Вычисляя произведение, мы получаем такое же значение.

Следовательно, сила трения скольжения вычисляется действительно по формуле произведение коэффициента трения и силы реакции опоры.

$$F_{mp} = \mu mg\cos\alpha$$

По результатам своих исследований я построил график зависимости силы трения от угла наклона плоскости. (рис.3.)

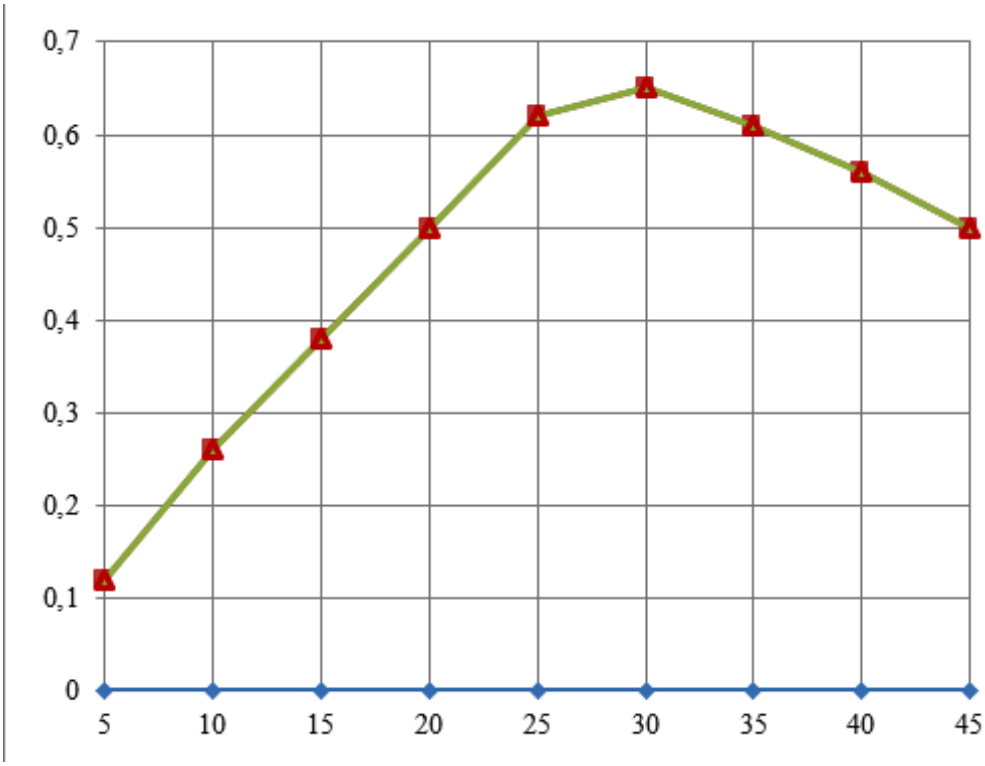


Рис.3.

5. Анализ зависимости силы трения тела на наклонной плоскости от угла наклона плоскости к горизонту

Анализируя график зависимости силы трения бруска от угла наклона плоскости к горизонту (Приложение 5) , видно, что в случае покоя тела сила трения равна сдвигающей силе. Так как сдвигающей силой на наклонной плоскости являлась иксовая проекция силы тяжести, которая увеличивалась при увеличении угла наклона, то и увеличивалась сила трения покоя.

В случае движения тела по плоскости сила трения уменьшается, так как уменьшается игрековая проекция силы тяжести. А сила трения вычисляется как произведение коэффициента трения на силу реакции опоры. (рис.3) Формула силы трения доказана.

$F_{тр} = F_{сдвиг}$, если тело покоится

6. Компьютерная модель для изучения силы трения на наклонной плоскости

Изучив законы динамики, мной была построена компьютерная модель для изуче-

ния силы трения тела на наклонной плоскости с помощью программы Microsoft Office Excel 2007. Данная математическая модель автоматически просчитывает силу трения для произвольных углов. Ее интерфейс показан в приложении 7. Так же был создан флеш – ролик, демонстрирующий движение тела по наклонной плоскости. Для создания анимированных роликов использовался Adobe Flash cs6. (приложение 8) Для создания презентации применялся Microsoft PowerPoint 2007.

Для проведения эксперимента мне потребовалось оборудование:

Деревянная наклонная плоскость произвольной длины, линейка или рулетка, небольшой деревянный брусок, динамометр. (приложение 9)

Приложение 1

Таблица 1

Значения силы трения покоя бруска на наклонной плоскости при разных углах наклона плоскости к горизонту

H, м	L, м	sinα	M, кг	$F_{тр}$, Н
0,05	0,6	0,08	0,145	0,12
0,11	0,6	0,18	0,145	0,26
0,16	0,6	0,27	0,145	0,38
0,21	0,6	0,36	0,145	0,50
0,26	0,6	0,45	0,145	0,62
0,3	0,6	0,5	0,145	0,71

Приложение 2

Фотографии экспериментов по определению максимального коэффициента трения при равномерном скатывании бруска с наклонной плоскости

Приложение 3

Фотографии экспериментов по определению коэффициента трения при равноускоренном скатывании бруска с наклонной плоскости

Приложение 4

Значения силы трения скольжения бруска по наклонной плоскости при разных углах наклона плоскости к горизонту

H,м	L,м	sinα	α, 0	$F_{тр}$, H
0,28	0,6	0,466	27,8	0,67
0,3	0,6	0,5	30	0,652
0,35	0,6	0,583	35,6	0,612
0,4	0,6	0,666	41,7	0,561
0,45	0,6	0,75	48,5	0,5

Приложение 5

Расчет отношения силы трения скольжения к косинусу угла наклона плоскости к горизонту

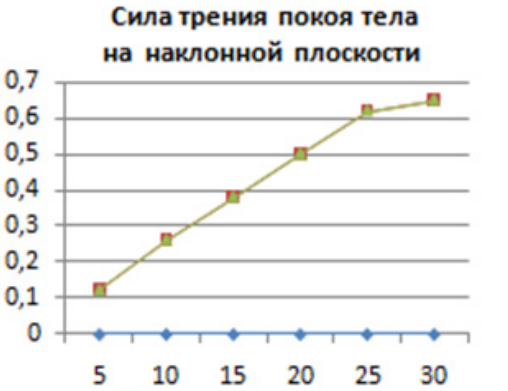
sinα	cosα	Fтр/cosα
0,466	0,884	0,75313
0,5	0,866	0,75313
0,583	0,813	0,75313
0,666	0,746	0,75313
0,75	0,661	0,75313

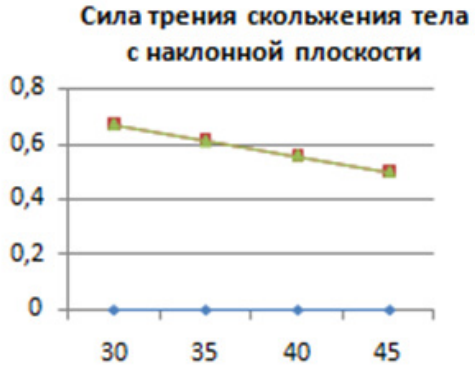
Приложение 6

Зависимость силы трения тела на наклонной плоскости в зависимости от угла наклона плоскости к горизонту

Анализ графиков

H,м	sinα	α	Fтр,H
0,05	0,08	4,78	0,12
0,11	0,18	10,56	0,26
0,16	0,27	15,47	0,38
0,21	0,35	20,49	0,50
0,26	0,45	25,68	0,62
0,28	0,466	27,8	0,67
0,3	0,5	30	0,652
0,35	0,583	35,6	0,612
0,4	0,666	41,7	0,561
0,45	0,75	48,5	0,5



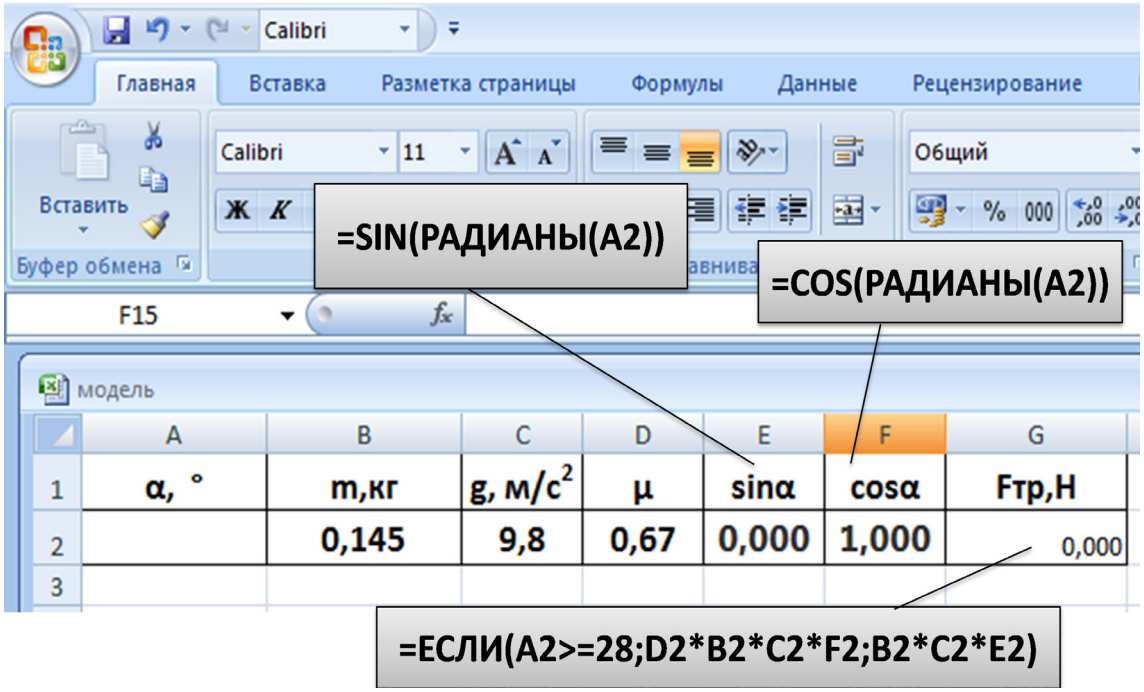


Приложение 7

Интерфейс электронной модели для изучения силы трения

Алгоритм математической модели

Построение математической модели на основе законов динамики.



	A	B	C	D	E	F	G
1	α, °	m,кг	g, м/с^2	μ	sinα	cosα	Fтр,Н
2		0,145	9,8	0,67	0,000	1,000	0,000
3							

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НА ОСНОВЕ ЗАКОНОВ ДИНАМИКИ

Введите градусную меру угла в промежутке (0;90)

α, °	m,кг	g, м/с^2	μ	sinα	cosα	Fтр,Н
90	0,145	9,8	0,67	1,000	0,000	0,000

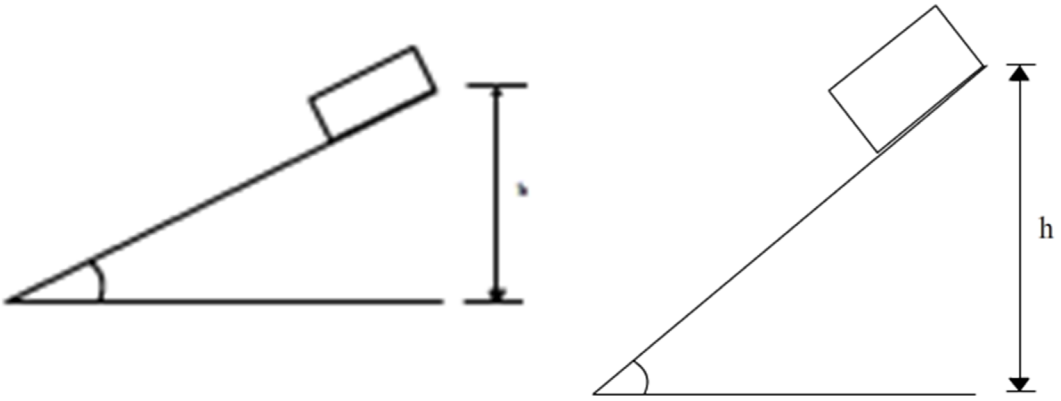
РЕЗУЛЬТАТ

Приложение 8

Интерфейс флеш–ролика, демонстрирующего движение тела по наклонной плоскости

Алгоритм компьютерной модели

✓ Создание flash-ролика, демонстрирующий движение тела по наклонной плоскости.



Приложение 9

Оборудование для изучения силы трения тела на наклонной плоскости

Заключение

Работая над проектом, я получил следующие результаты:

1. Доказал экспериментально формулу для вычисления силы трения;
2. Выяснил наилучшие условия постановки эксперимента;
3. Экспериментальным и теоретическим путями определил коэффициент трения скольжения тела дерева по дереву;
4. Создал компьютерную модель движения тела по наклонной плоскости для изучения силы трения.

Данную модель можно применить на уроках физики при изучении силы трения и на уроках лабораторного практикума при исследовании силы трения в различных ситуациях.

Список литературы

1. Касьянов В.А. Физика 10 класс. Углубленный уровень, Москва, «Дрофа», 2018 год.

2. Как найти силу трения скольжения. Статья. https://www.kakprosto.ru/kak-133127-kak-nayti-silu-treniya-skolzheniya

3. Мякишев Г. Я., Буховцев Б. Б., Сотский Н.Н. Физика 10 класс. Учебник для общеобразовательных учреждений, Москва, «Просвещение», 2011 год.

4. Сила трения. Статья. http://fizikatyt.ru/2016/07/14/%D1%81%D0%B8%D0%BB%D0%B0-%D1%82%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F/

5. Сила трения. Виды трения. Интернет – урок. https://interneturok.ru/physics/10-klass/bsily-v-mehanikeb/sila-treniya-vidy-treniya

6. Трение. Статья http://class-fizika.narod.ru/7_tren.htm

7. Трение. Материал из Википедии. https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5