

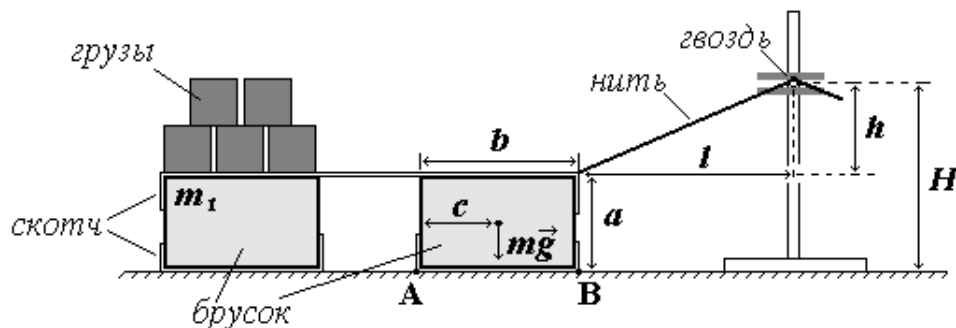
Условие

Задание 10-1. Тянем-потянем...

Оборудование: два одинаковых деревянных бруска, соединённых скотчем и прикреплённой нитью к одному из брусков, штатив с лапкой, грузы 100г (6 шт.), груз 50г (1 шт.), два динамометра (2,5Н и 5,0Н), гвоздь финишный, мерная лента, линейка деревянная (40 см), половина листа бумаги А2 разрезанного вдоль, скотч (ширина 2см), ножницы.

Указания по использованию оборудования: лист бумаги не резать, он Вам нужен целым, по бумаге будете перемещать бруски, бумагу к столешнице не крепить, возможно, вам её придётся передвигать, мерную ленту нужно будет прикрепить скотчем к столешнице и разложить по бумаге, для определения массы тел пользуйтесь динамометрами.

Соберите установку как показано на рисунке 2. Под бруски положите лист бумаги. Тяните за нить, переброшенную через гвоздь, так, чтобы бруски двигались равномерно. В некоторый момент правый брусок оторвётся от горизонтальной поверхности и будет продолжать движение опираясь на неё только ребром (точка А на рис.2). Пронаблюдайте, как будет изменяться расстояние l в зависимости от количества грузов на левом бруске.



В данной задаче Вам предстоит исследовать зависимость отрыва от массы грузов на втором бруске. Эту зависимость удобно представить в виде $m_1(l)$, где l расстояние, на котором произошел отрыв, m_1 - масса второго бруска с грузами.

При некотором количестве грузов на левом бруске наблюдается явление «соскальзывания» правого бруска в первый момент отрыва его от поверхности, после чего брусок продолжает движение, соприкасаясь с листом бумаги всей нижней гранью, затем в некоторый момент опять происходит отрыв правого бруска. Расстояние l измеряйте при первом отрыве правого бруска от поверхности.

Можно показать, что теоретическая зависимость $m_1(l)$ имеет вид:

$$m_1 = \frac{m(c-b)}{(b+\mu a)} + \frac{m(c+\mu a)}{\mu h(b+\mu a)} l \quad (1)$$

где μ - коэффициент трения брусков о бумагу, геометрические параметры указаны на рис. 2.

1. Измерьте длины отрезков a , b , H . Вычислите длину отрезка h . Измерьте массы брусков: m – масса правого бруска и m_{01} – масса левого бруска без грузов. 2. Исследуйте зависимость $m_1(l)$ экспериментально. 3. Используя результаты эксперимента, вычислите длину отрезка c (см. рис. 2) и коэффициент трения μ между брусками и листом бумаги. Погрешности в данном пункте вычислять не требуется.

4. Определите коэффициент трения μ между брусками и листом бумаги другим известным Вам методом. Используйте метод, который позволяет получить результат с наименьшей погрешностью. (Не забудьте кратко описать (3-4 строчки) суть используемого Вами метода). Вычислите относительную и абсолютную погрешность измерения коэффициента трения

μ при использованном Вами методе. **Внимание:** бруски не рассоединять, определяйте коэффициент трения, используя два бруска одновременно.

Решение

Задание 10-1. Тянем-потянем...

1. Массы брусков определяются с помощью динамометра с ценой деления $C_m = 5\text{г}$: $m = (225 \pm 5)\text{г}$, $m_{01} = (200 \pm 5)\text{г}$. Размеры бруска определялись линейкой с миллиметровыми делениями: $a = (8,0 \pm 0,1)\text{см}$, $b = (9,8 \pm 0,1)\text{см}$. Длина отрезка $H = (40,0 \pm 0,1)\text{см}$. Длина отрезка $h = H - a$, $h = (32,0 \pm 0,2)\text{см}$.

2. Расстояние l измерялось мерной лентой с точностью до 0,5см. При движении бруска визуально более точно определить положение бруска в момент отрыва не возможно. Результаты представлены в таблице ниже.

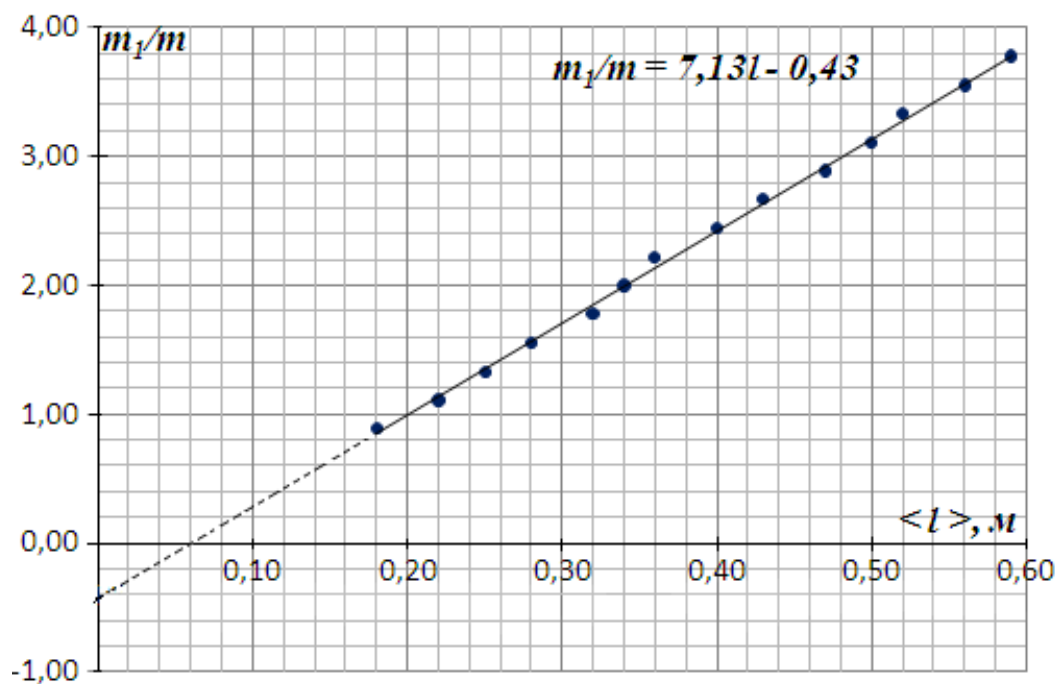
Таблица. Экспериментальные результаты

m_1 , кг	Повторные измерения					$\langle l \rangle$, м	m_1/m
	l_1 , м	l_2 , м	l_3 , м	l_4 , м	l_5 , м		
0,200	0,175	0,190	0,195	0,170	0,175	0,181	0,89
0,250	0,225	0,220	0,220	0,230	0,225	0,224	1,11
0,300	0,245	0,260	0,255	0,250	0,255	0,253	1,33
0,350	0,295	0,290	0,280	0,275	0,280	0,284	1,56
0,400	0,310	0,315	0,330	0,325	0,325	0,321	1,78
0,450	0,330	0,345	0,345	0,340	0,345	0,341	2,00
0,500	0,365	0,365	0,360	0,350	0,355	0,359	2,22
0,550	0,395	0,400	0,405	0,405	0,400	0,401	2,44
0,600	0,410	0,440	0,435	0,420	0,435	0,428	2,67
0,650	0,475	0,470	0,480	0,470	0,465	0,472	2,89
0,700	0,490	0,500	0,500	0,495	0,505	0,498	3,11
0,750	0,535	0,515	0,510	0,515	0,515	0,518	3,33
0,800	0,555	0,565	0,565	0,550	0,550	0,557	3,56
0,850	0,595	0,595	0,580	0,580	0,585	0,587	3,78

Для выполнения п.4 более удобно пользоваться графической зависимостью не $m_1(l)$ а зависимостью $\frac{m_1}{m}(l)$, график и уравнение, которой представлены ниже.

**График. Зависимость $\frac{m_1}{m}(l)$. **

$$h = H - a, \quad h = (32,0 \pm 0,2)\text{см}$$



4. Приведём уравнение (14) к виду:

$$\frac{m_1}{m} = \frac{c - b}{b + \mu a} + \frac{c + \mu a}{\mu h(b + \mu a)} l. \quad (17)$$

Сравнивая уравнение (17) и уравнение усредняющей прямой

$$\frac{m_1}{m} = 7,13l - 0,43, \quad (18)$$

получим:

$$\frac{c - b}{b + \mu a} = -0,43 \quad (19)$$

и

$$\frac{c + \mu a}{\mu h(b + \mu a)} = 7,13 \text{ м}^{-1}. \quad (20)$$

Подставляя в уравнения (19) и (20) значения отрезков a , b и h , решая данную систему уравнений, получим:

$$\mu = 0,25 \quad \text{и} \quad c = 0,047 \text{ м} = 4,7 \text{ см.}$$

При нахождении μ получаем квадратное уравнение, из корней которого выбираем положительный.

5. Если, прикладывая к брускам горизонтальную силу с помощью динамометра, перемещать их равномерно по горизонтальной поверхности, то коэффициент трения может быть определён посредством уравнения

$$\mu = \frac{F_{\text{упр}}}{P} \quad (21)$$

где, $F_{\text{упр}}$ - сила, которую показывает динамометр, P - вес брусков с грузами. Однако однократное измерение не позволяет минимизировать погрешность.

Минимизировать погрешность позволяет многократное измерение силы упругости динамометра при различных значениях веса брусков с грузами и построение графика зависимости $F_{\text{упр}}(P) = \mu P$. Коэффициент трения находится как тангенс угла наклона прямой данной зависимости. Абсолютная погрешность μ определяется с использованием МНК или простым графическим способом.

$$\frac{m_1}{m} = \frac{c - b}{b + \mu a} + \frac{c + \mu a}{\mu h(b + \mu a)} l \quad (17).$$

$$\frac{m_1}{m} = 7,13l - 0,43 \quad (18),$$

$$\frac{c - b}{b + \mu a} = -0,43 \quad (19)$$

$$\frac{c + \mu a}{\mu h(b + \mu a)} = 7,13 \text{ м}^{-1} \quad (20).$$

$$\mu = 0,25$$

$$c = 0,047 \text{ м} = 4,7 \text{ см}$$

$$\mu = \frac{F_{\text{упр}}}{P} \quad (21)$$

$$F_{\text{упр}}(P) = \mu P$$