



В данной задаче требуется оценка погрешностей!

Задание

1. Прикрепите динамометр к концу лески, выходящей из черного ящика (далее – ЧЯ). Потяните за динамометр. Измерьте зависимость перемещения конца лески x относительно своего начального положения от силы F , прикладываемой к ней. Постройте график измеренной зависимости.
2. Витки одной из пружин в ЧЯ в нерастянутом состоянии прижимаются друг к другу. Это объясняет поведение графика на участке $F < 1$ Н. Определите силу, действующую на леску, при которой витки этой пружины размыкаются друг с другом.
3. Какими математическими функциями можно описать построенный график в пределах сил $1 \text{ Н} < F < 5 \text{ Н}$? Укажите их вид, количество и соответствующие численные значения угловых коэффициентов.
4. Предположите схему ЧЯ, подходящую под его поведение. В схеме используйте пружины и различные ограничители. Укажите связь параметров вашей схемы (жесткостей пружин и выбор положений ограничителей), с численными коэффициентами графика.

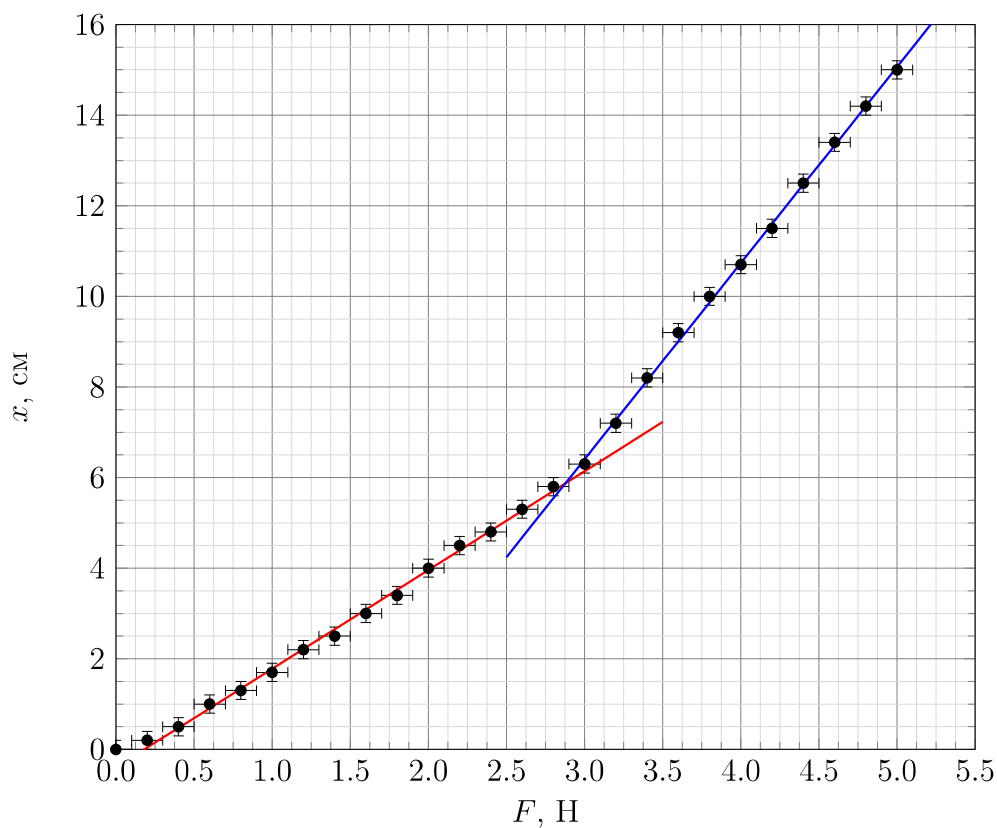
Оборудование. Черный ящик, динамометр, линейка, струбцина.

Решение

Измерим зависимость перемещения конца лески, от силы прикладываемой к нему. Силы мы будем измерять с помощью динамометра (погрешность $\sigma_F = 0.1$ Н), перемещение будем измерять по линейке (погрешность $\sigma_x = 2$ мм). Результаты измерений приведены в Таблице 1. Построим график зависимости $x(F)$ (Рис. 1).

Таблица 1: Результаты измерений.

F , Н	x , мм	F , Н	x , мм	F , Н	x , мм
0	0	2.0	40	4.0	107
0.2	2	2.2	45	4.2	115
0.4	5	2.4	48	4.4	125
0.6	10	2.6	53	4.6	134
0.8	13	2.8	58	4.8	142
1.0	17	3.0	63	5.0	150
1.2	22	3.2	72		
1.4	25	3.4	82		
1.6	30	3.6	92		
1.8	34	3.8	100		

Рис. 1: График зависимости $x(F)$.

На графике можно видеть, что экспериментальные точки хорошо аппроксимируются

двумя прямыми с разными угловыми коэффициентами. Касательная к графику в области малых сил не проходит через точку $(0,0)$. Это объясняется тем, что витки одной из пружин в ЧЯ в нерастянутом состоянии прижимаются друг к другу с некоторой силой F_0 . По графику:

$$F_0 = 0.2 \pm 0.1 \text{ Н.}$$

В пределах изменения силы от 1 Н до 5 Н график описывается двумя линейными функциями $F = \alpha x + \beta$:

$$\alpha_1 = 2.18 \pm 0.14 \text{ см/Н,}$$

$$\alpha_2 = 4.33 \pm 0.56 \text{ см/Н.}$$

Касательные к линейным участкам пересекаются в значении силы $F_1 = 2.9 \pm 0.1 \text{ Н}$. Это соответствует перемещению $x_1 = 5.7 \pm 0.1 \text{ см}$. Из математического описания графика можно сказать, что коэффициент жесткости системы уменьшается после достижения растягивающей силы равной F_1 . Можно предположить, что последовательно исходной пружине подключается еще одна. Причем вторая пружина работает лишь в области сил растяжения от F_1 до 5 Н. Значит некоторый ограничитель не должен позволять второй пружине менять свою длину при силах величиной менее F_1 . Все вышесказанное позволяет сделать предположение о внутреннем устройстве ЧЯ, которое схематично изображено на Рис. 2.

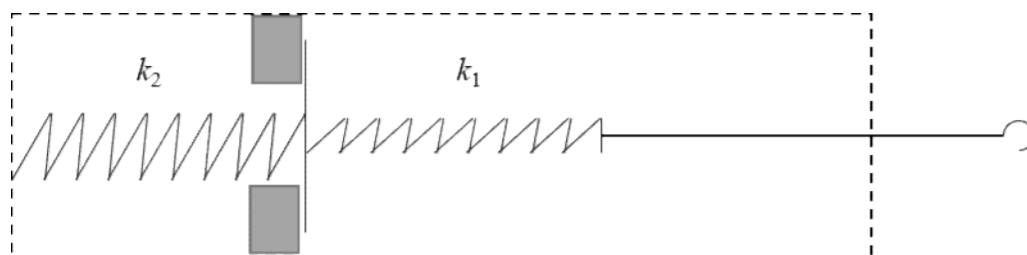


Рис. 2: Внутреннее устройство ЧЯ.

Коэффициент жесткости первой пружины:

$$k_1 = \frac{1}{\alpha_1} = 0.46 \pm 0.03 \text{ Н/см.} \quad (1)$$

Коэффициент α_2 характеризует эффективную жёсткость цепочки из двух пружин с жёсткостью k_1 и k_2 :

$$\alpha_2 = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}. \quad (2)$$

Отсюда:

$$k_2 = \frac{k_1}{\alpha_2 k_1 - 1} = 0.46 \pm 0.12 \text{ Н/см.} \quad (3)$$

Положение упора подобрано так, чтобы пружина жёсткостью k_2 начала растягиваться при силе натяжения в пружинах равной F_1 .