

Задача 11.1. Гук или не Гук?

Подготовка установки

Соберите установку, как показано на рис. 1. Для этого закрепите два канцелярских зажима на расстоянии $L_1 = 40$ см друг от друга. Соберите цепочку из пяти резинок. Воспользуйтесь узлом «схватик» (рис. 2) для соединения резинок между собой (затяните полученные узлы). Снимите верхние дужки с зажимов и проденьте крайние резинки через дужки. Установите дужки на место.

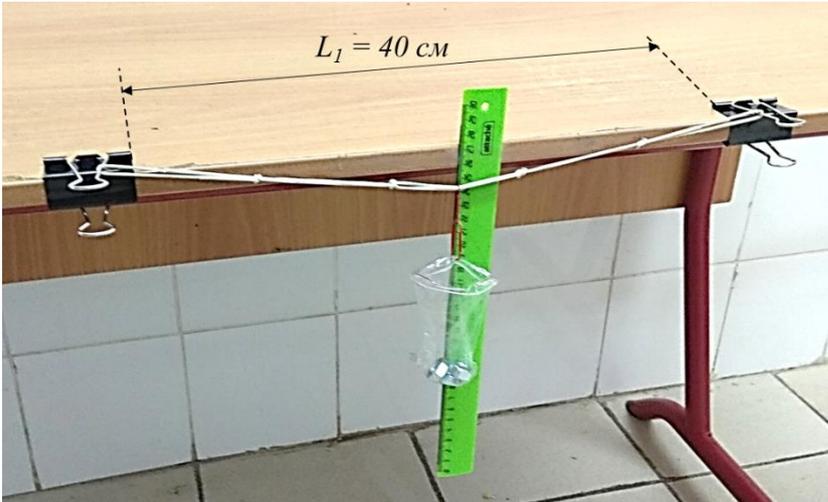


Рис. 1. Сборка экспериментальной установки.

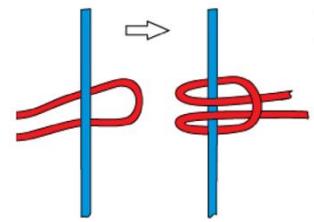


Рис. 2. Узел «схватик».

Пять банковских резинок соединены последовательно друг с другом в цепочку, которая натянута силой T_0 до длины $2L$. Если к середине цепочки приложить поперечную силу F , то точка приложения этой силы сместится на некоторое расстояние h , называемое стрелой прогиба (рис. 3).

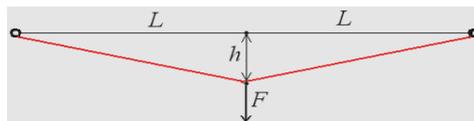


Рис. 3.

- 1) Снимите зависимость h от F .
- 2) На основе полученных данных графическим методом определите коэффициент жёсткости k цепочки и силу T_0 её начального натяжения.

Оборудование: банковские резинки; два канцелярских зажима; две скрепки массой 0,4 г каждая, зип-лок пакет массой 0,5 г; линейка; кусочек скотча (по требованию); шесть одинаковых грузов (гаек) массой $(10,0 \pm 0,1)$ г.

Возможное решение.

1. а) Соберем установку, изображенную на рисунке в условии.
 б) Проведем измерения стрелы прогиба во всём доступном диапазоне значений F . Результаты занесём в столбцы Таблицы 1.

в) Найдём удлинение половины цепочки: $x = \sqrt{L^2 + h^2} - L \approx \frac{h^2}{2L}$.

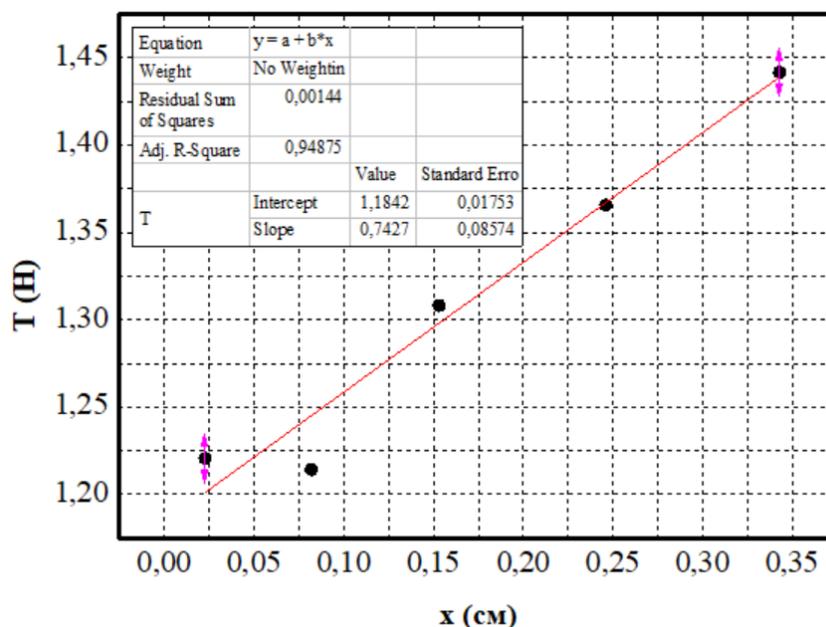
г) Получим выражение для силы T натяжения резинок цепочки. На половину цепочки действует вниз растягивающая сила $F/2$. Так как $\frac{(F/2)}{T} = \frac{h}{\sqrt{L^2 + h^2}} \approx \frac{h}{L}$, то $T \approx \frac{FL}{2h}$.

У нас максимальная стрела прогиба $h = 44$ мм при $L = 220$ мм, поэтому приближенная формула при определении T даёт точность не хуже 3%.

д) Рассчитаем значения T и x и внесём их в Таблицу 1.

Таблица 1

N	h , см	F , Н	x , см	T , Н
1	1,0	0,111	0,023	1,22
2	1,9	0,209	0,082	1,21
3	2,6	0,307	0,153	1,31
4	3,3	0,405	0,246	1,37
5	3,9	0,503	0,343	1,44
6	4,4	0,601	0,436	1,53



ж) Строим график зависимости силы натяжения T от x . Он получается линейным. Экстраполяция графика к значениям $x = 0$ позволяет найти значение T_0 : $T_0 = 1,2 \pm 0,1$ Н.

По угловому коэффициенту графика найдём коэффициент жёсткости $k_{0,5}$ половины цепочки: $k_{0,5} = 74 \pm 8$ Н/м.

Коэффициент жёсткости всей цепочки в два раза меньше: $k = 37 \pm 4$ Н/м.

Основной вклад в погрешность измерений вносит измерение h (5%). Погрешность измерений конечных значений оценим из полученного графика анализируя «разброс» точек.

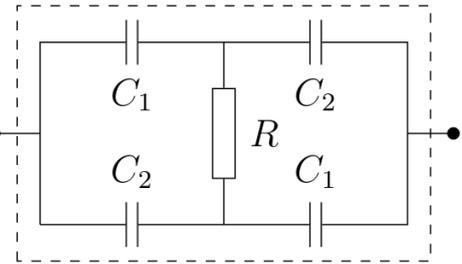
ЛШ Всероссийская олимпиада школьников по физике. Региональный этап.
Экспериментальный тур. 23 января 2019 г.

Критерии оценивания (15 баллов)

1	Описание методики проведения эксперимента (конструкции установки: крепление планки, мерной ленты, грузов) (1 балл). Измерено расстояние $2L$ (0,5 балла); Учтена масса скрепок и пакета (0,5 балла).	2 балла
2	Таблица измерений h от F	1 балл
3	Повторное измерение зависимости h от F	1 балл
4	Аналитическое выражение, связывающее удлинения цепочки x со стрелой прогиба h	2 балла
5	Аналитическое выражение, связывающее силу T натяжения цепочки с силой F	2 балла
6	График зависимости $T(x)$: а) отложены единицы измерения по осям (0,5 балла) б) выбран рациональный масштаб по осям (0,5 балла) в) нанесены шкалы на оси (0,5 балла) г) соответствие нанесённых точек табличным значениям (0,5 балла) д) проведена аппроксимирующая прямая $T(x)$ (1 балл)	3 балла
7	Вычислен коэффициент k (если в ответе дано $k_{0,5}$, то ставить 1 балл)	2 балла
8	Найдена сила натяжения T_0	1 балл
9	Оценена погрешность измерений	1 балл

Задание 11.2. «Серый» ящик с конденсаторами.

В выданном вам «сером ящике» находятся резистор сопротивлением R и четыре конденсатора емкостями C_1 и C_2 , соединенные так, как показано на схеме. Определите значения емкостей C_1 и C_2 .



Приборы и оборудование: «серый» ящик, эталонный конденсатор емкостью $C_0 = (1,0 \pm 0,2)$ мФ, батарейка «Крона», мультиметр, зажим типа «крокодил», два соединительных провода.

Примечания.

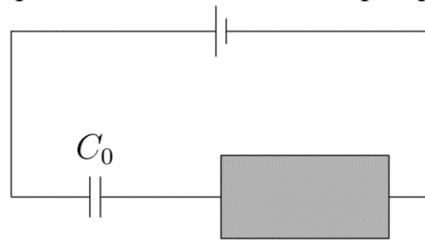
Соблюдайте полярность при подключении батарейки к «серому ящику» и к конденсатору.

Положительный и отрицательный контакты ящика помечены на корпусе.

Длинная ножка эталонного конденсатора – его «положительный» электрод.

Шестиугольный контакт батарейки – отрицательный контакт, круглый – положительный.

Возможное решение. Соединим последовательно «серый» ящик, эталонный конденсатор C_0 и батарейку, напряжение на выводах которой равно U_0 .



1) Сразу после замыкания цепи измерим напряжение U_1 на «сером» ящике или U_{01} на эталонном конденсаторе. Измерения нужно производить достаточно быстро, так как после подключения батарейки внутри «серого» ящика начинается процесс перераспределения зарядов между конденсаторами.

2) Время от времени контролируем напряжение на «сером» ящике или на эталонном конденсаторе до тех пор, пока оно не перестанет изменяться. Обозначим установившееся на «сером» ящике напряжение U_2 (или U_{02} на эталонном конденсаторе).

Для случая 1) запишем:

$$U_1 = U_0 \left(\frac{C_0}{C_0 + \frac{2C_1C_2}{C_1 + C_2}} \right) \text{ или } \frac{U_0}{U_1} = 1 + \frac{1}{C_0} \frac{2C_1C_2}{C_1 + C_2}. \quad (1)$$

Здесь конденсаторы C_1 и C_2 верхней ветви «серого» ящика, как и конденсаторы C_1 и C_2 нижней ветви, зарядились, но выравнивания их потенциалов через резистор R ещё не началось.

В случае 2) выводы резистора оказываются с одним и тем же потенциалом, а напряжение

$$U_2 = U_0 \left(\frac{C_0}{C_0 + \frac{C_1 + C_2}{2}} \right) \text{ или } \frac{U_0}{U_2} = 1 + \frac{C_1 + C_2}{2C_0}. \quad (2)$$

Решая систему уравнений (1) и (2) получим:

$$C_1C_2 = C_0^2 \left(\frac{U_0}{U_1} - 1 \right) \left(\frac{U_0}{U_2} - 1 \right) = A. \quad (3)$$

$$C_1 + C_2 = 2C_0 \left(\frac{U_0}{U_2} - 1 \right) = B. \quad (4)$$

Из системы уравнений (3) и (4) найдём интересующие нас ёмкости C_1 и C_2 .

$$C_{1,2} = \frac{B}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{B}{2} \right)^2 - A}.$$

Систему уравнений, аналогичную (1) – (4), можно получить и для напряжений U_{01} и U_{02} .

В нашем случае $U_0 = 9,88$ В, $U_1 = 3,71$ В, $U_2 = 3,24$ В, $C_0 = 1,0$ мФ.

Тогда $C_1 = 2,9$ мФ, $C_2 = 1,2$ мФ.

ЛШ Всероссийская олимпиада школьников по физике. Региональный этап.
Экспериментальный тур. 23 января 2019 г.

Критерии оценивания (15 баллов)

1	Указано, что конденсаторы были разряжены или выполнена их разрядка	1 балл
2	Измерено U_1 (1 балл) и описана последовательность его измерения	2 балла
3	Измерено U_2 (1 балл) и описана последовательность его измерения (указано, что необходимо убедиться в окончании процесса перезарядки)	2 балла
4	Проведены повторные измерения величин, указанных в пунктах 2) и 3)	1 балл
5	Получен (теоретически) один из вариантов формулы (1)	2 балла
6	Получен (теоретически) одна из вариантов формулы (2)	2 балла
7	Решена система уравнений и записана формула (3) или ее аналог (засчитывается, если решена система исходных уравнений)	1 балл
8	Решена система уравнений и записана формула (4) или ее аналог (засчитывается, если решена система исходных уравнений)	1 балл
9	Найдена ёмкость C_1 – в пределах [2,2; 3,3] мФ	1 балл
10	Найдена ёмкость C_2 – в пределах [1,0; 1,4] мФ	1 балл
11	Оценена погрешность измерения емкостей	1 балл