



I Всероссийская олимпиада по физике
имени Дж. К. Максвелла

Заключительный этап
Экспериментальный тур

Сочи, 2016

Комплект задач подготовлен Центральной предметно-методической комиссией по физике Всероссийской олимпиады школьников

Авторы задач

7 класс

1. Кармазин С.
2. Замятнин М.

8 класс

1. Кармазин С.
2. Замятнин М.

Общая редакция — Ерофеев И., Замятнин М.,
Кармазин С., Слободянин В.

Вёрстка — Биктаиров Ю., Ерофеев И.

141700, Московская область, г. Долгопрудный
Московский физико-технический институт

Экспериментальный тур

7 класс

Задача 1. Тяните резину! (Кармазин С.В.)

1. Экспериментально исследуйте зависимость удлинения x резинового кольца (банковской резинки) от величины растягивающей силы F (рис. 1).
2. Постройте график полученной зависимости $x(F)$.
3. По графику определите диапазон значений силы F , в котором исследуемая зависимость линейна.
4. В указанном диапазоне найдите значение коэффициента жёсткости k_0 резинового кольца ($k_0 = \Delta F / \Delta x$).
5. Рассчитайте (не прибегая к непосредственным измерениям) значение коэффициента жёсткости k_1 одинарной резинки (разрезанного кольца) длиной $L_1 = 40$ см.

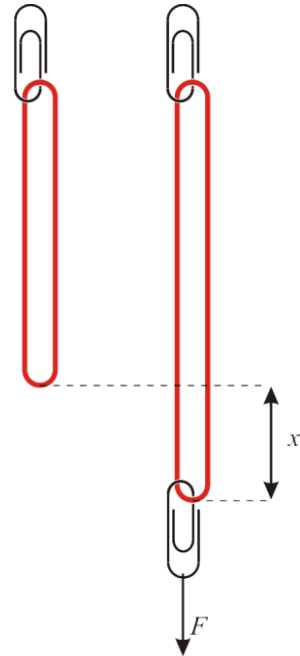


Рис. 1

Оборудование: банковская резинка, шестигранный карандаш, скотч, ножницы, нитка, скрепки – 3 шт., пустая пластиковая бутылка массой $m_b = 23$ г, шприц со шкалой, линейка, стакан с водой, миллиметровая бумага для построения графиков.

Примечание. Если вы испортили резинку, вы можете попросить её заменить, но имейте в виду, что резинки не идентичны.

Возможное решение

Параметры установки, использованной в авторском решении, могут отличаться от параметров установки, выданной участнику олимпиады.

Закрепим карандаш на столе с помощью полосок скотча таким образом, чтобы он выступал за край стола на 10-20 мм. На выступающий конец карандаша, используя скрепку №1, повесим резиновое кольцо. К нижнему краю резинового кольца через скрепку №2 с помощью нити подвесим пустую пластиковую бутылку. Из скрепки №3 сделаем указатель в виде горизонтальной стрелки и закрепим его на скрепке №2. К торцу стола с помощью скотча прикрепим линейку в вертикальном положении таким об-

разом, чтобы стрелка указателя могла свободно перемещаться вдоль шкалы линейки (рис. 2).

Добавляем в бутылку воду с помощью шприца порциями по 20 мл и после каждого добавления воды измеряем удлинение x резинового кольца.

m , г	x , мм	F , Н
0	0,0	0,22
20	2,5	0,41
40	3,5	0,61
60	5,5	0,80
80	7,0	1,00
100	8,5	1,20
120	10,5	1,39
140	12,0	1,59
160	14,0	1,78
180	16,0	1,98
200	17,5	2,18
220	20,0	2,37
240	22,5	2,57
260	25,0	2,73
280	28,0	2,96
300	32,5	3,16
320	35,5	3,35
340	39,0	3,55
360	45,0	3,74
380	53,0	3,94



Рис. 2

Таб. 1

Погрешность измерения удлинения x равна цене деления линейки: 1 мм. Запишем в таблицу 1 не менее 11 точек измерений: удлинение резинки x , массу воды в бутылке m , а также силу растяжения резинки:

$$F = (m + m_0)g.$$

Строим график зависимости $x(F)$ с учётом погрешности (рис.3).

Из графика видно, что отклонение от линейности начинается при силе растяжения F порядка 2,5 Н. По отношению $\Delta F/\Delta x$ на линейном участке графика определяем коэффициент жесткости k_0 резинового кольца. В приведенном примере он оказывается равным $k_0 = 118 \pm 18$ Н/м.

Измеряем длину полуокружности L_0 резинового кольца, вытянув без усилия кольцо в прямую линию. Получаем $L_0 = 9$ см. Коэффициент жесткости одинарной резинки длиной L_0 равен $k_0/2 = 59$ Н/м.

Известно, что коэффициент жесткости пружины или резинки обратно пропорционален ее длине. Следовательно, искомое значение k_1 при длине одинарной резинки L_1 определим по формуле

$$k_1 = \frac{k_0 L_0}{2L_1}.$$

Численное значение $k_1 = 13 \text{ Н/м}$.

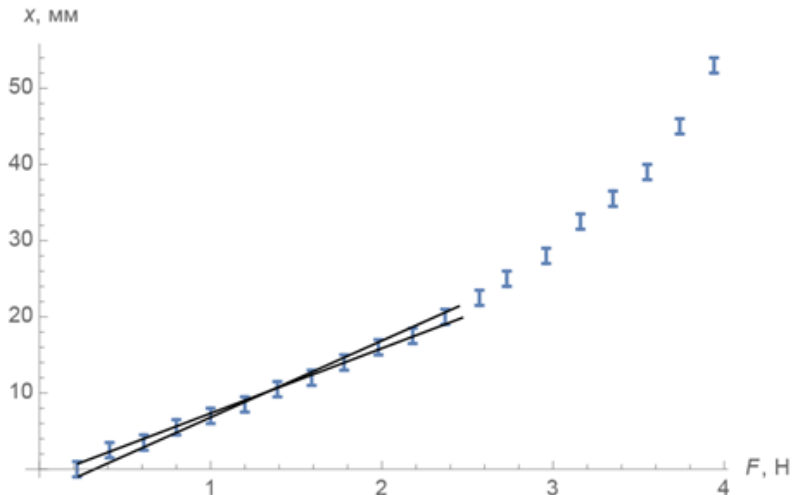


Рис. 3

Задача 2. Поверхностная плотность (Замятнин М.Ю.)

Определите поверхностную плотность σ выданного листа миллиметровой бумаги и массу $m_{\text{ш}}$ пустого шприца. Плотность воды $\rho = 1,00 \text{ г/см}^3$.

Указание. Поверхностной плотностью плоских тел называют отношение массы тела к его площади: $\sigma = m/S [\text{кг/м}^2]$.

Оборудование: лист исследуемой миллиметровой бумаги, шприц, стакан с водой, нитки, скотч, ножницы, шестигранный карандаш, салфетки для поддержания чистоты на рабочем месте.

Возможное решение

Параметры установки, использованной в авторском решении, могут отличаться от параметров установки, выданной участнику олимпиады.

По клеточкам определяем площадь миллиметровой бумаги $S = 580 \text{ см}^2$, после чего, свернув лист в плотную трубку круглого или треугольного сечения (зафиксировав по краям небольшими кусочками скотча), делаем из миллиметровой бумаги рычаг.

Определяем и отмечаем центр тяжести рычага, подвесив его на нити к карандашу, закрепленному скотчем на краю стола в качестве штатива.

Подвешиваем к одному концу рычага пустой шприц, смещая положение точки подвеса, добиваемся равновесия системы. Измеряем расстояния от точки подвеса рычага до точки подвеса шприца $l_1 = 6,4$ см и до центра тяжести рычага $l_3 = 7,6$ см. После чего набираем в шприц 5 мл ($m = 5$ г) воды и повторяем измерения расстояний от точки подвеса рычага до точки подвеса заполненного шприца $l_2 = 3,8$ см и до центра тяжести $l_4 = 10,1$ см. Дважды применяя правило моментов относительно точки подвеса рычага, получаем систему уравнений:

$$\begin{aligned}m_{\text{л}} g l_3 &= m_{\text{ш}} g l_1, \\m_{\text{л}} g l_4 &= (m + m_{\text{ш}}) g l_2,\end{aligned}$$

где $m_{\text{л}}$ – масса листа, $m_{\text{ш}}$ – масса шприца, m – масса воды.

Решая систему относительно массы листа, получаем:

$$m_{\text{л}} = m \left(\frac{l_4}{l_2} - \frac{l_3}{l_1} \right)^{-1} = 3,4 \text{ г} \quad \text{и} \quad \sigma = 59 \text{ г/м}^2.$$

По найденной массе листа определяем массу шприца: $m_{\text{ш}} = m_{\text{л}} l_3 / l_1 = 4,0$ г.

8 класс

Задача 1. Тяните резину! (Кармазин С.В.)

1. Экспериментально исследуйте зависимость удлинения x резинового кольца (банковской резинки) от величины растягивающей силы F (рис. 4).
2. Постройте график полученной зависимости $x(F)$.
3. По графику определите диапазон значений силы F , в котором исследуемая зависимость линейна.
4. В указанном диапазоне найдите значение коэффициента жёсткости k_0 резинового кольца ($k_0 = \Delta F / \Delta x$).
5. Рассчитайте (не прибегая к непосредственным измерениям) значение коэффициента жёсткости k_1 одинарной резинки (разрезанного кольца) длиной $L_1 = 40$ см.

Оборудование: банковская резинка, три скрепки, две линейки, одна из которых известной массы, стальной брусок, лист миллиметровой бумаги для построения графиков.

Примечание. Если вы испортили резинку, вы можете попросить её заменить, но имейте ввиду, что резинки не идентичны.

Возможное решение

Параметры установки, использованной в авторском решении, могут отличаться от параметров установки, выданной участнику олимпиады.

Определим положение центра масс линейки, используя в качестве оси вращения вторую линейку. Определим массу m_6 стального бруска. Используя ребро второй линейки в качестве оси вращения, добьемся равновесия.

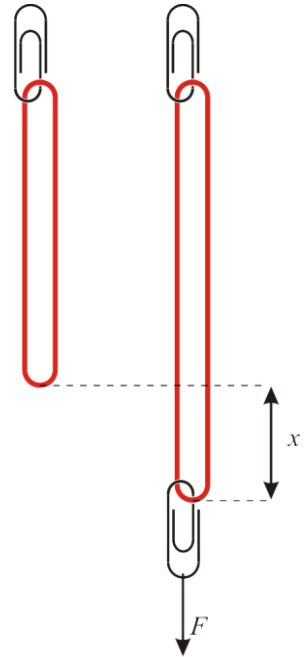


Рис. 4

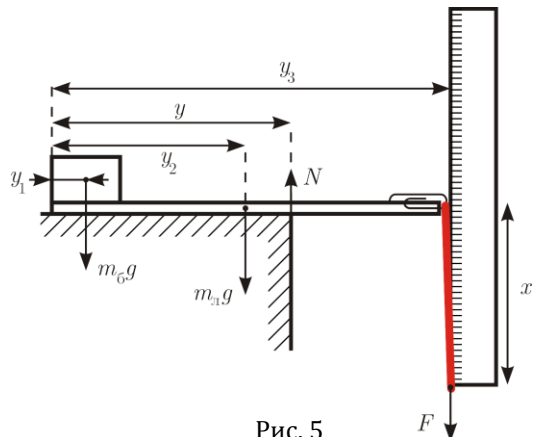


Рис. 5

Измерив расстояния от центра масс бруска и от центра масс линейки до оси вращения в положении равновесия, рассчитаем массу бруска, используя правило моментов. Масса бруска составляет $m_6 = 66 \pm 3$ г. Относительная погрешность около 5%.

Измерения проводим с помощью конструкции, изображенной на рис. 5.

Растягиваем резинку с помощью второй линейки, прикладывая к ней силу F . Фиксируем момент отрыва первой линейки с грузом от стола и измеряем расстояние y от края линейки до края стола.

По правилу моментов:

$$m_6(y - y_1)g + m_n(y - y_2)g = F(y_3 - y), \quad (1)$$

где положение центра масс бруска $y_1 = 20$ мм, центра масс линейки $y_2 = 206$ мм, длина линейки $y_3 = 410$ мм. С помощью уравнения (1) определяем растягивающую силу F , соответствующую моменту отрыва линейки от стола.

Измеряем удлинение резинки x с помощью второй линейки. Оформляем таблицу измерений (не менее 11 точек) и строим график зависимости $x(F)$.

у, см	х, см	F, Н
23,0	0,5	0,73
24,0	0,7	0,81
25,0	0,8	0,91
26,0	1,0	1,02
27,0	1,2	1,14
28,0	1,4	1,29
29,0	1,7	1,46
30,0	2,2	1,65
31,0	2,7	1,89
32,0	3,1	2,18
33,0	4,2	2,55
34,0	5,7	3,01
35,0	8,7	3,64
35,5	11,3	4,03
36,0	15,0	4,51
36,5	18,4	5,09

Таб. 2

Из графика (рис. 6) видно, что отклонение от линейности начинается при силе растяжения F около 2,5 Н. По отношению $\Delta F/\Delta x$ на линейном участке графика определяем коэффициент жесткости k_0 резинового кольца. В приведенном примере он оказывается равным $k_0 = 50$ Н/м.

Измеряем длину полуокружности L_0 резинового кольца, вытянув без усилия кольцо в прямую линию. Получаем $L_0 = 9$ см. Коэффициент жесткости одинарной резинки длиной L_0 равен $k_0/2 = 25$ Н/м.

Известно, что коэффициент жесткости пружины или резинки обратно пропорционален ее длине. Следовательно, искомое значение k_1 при длине одинарной резинки L_1 определим по формуле

$$k_1 = \frac{k_0 L_0}{2L_1}.$$

Численное значение $k_1 = 5,6$ Н/м.

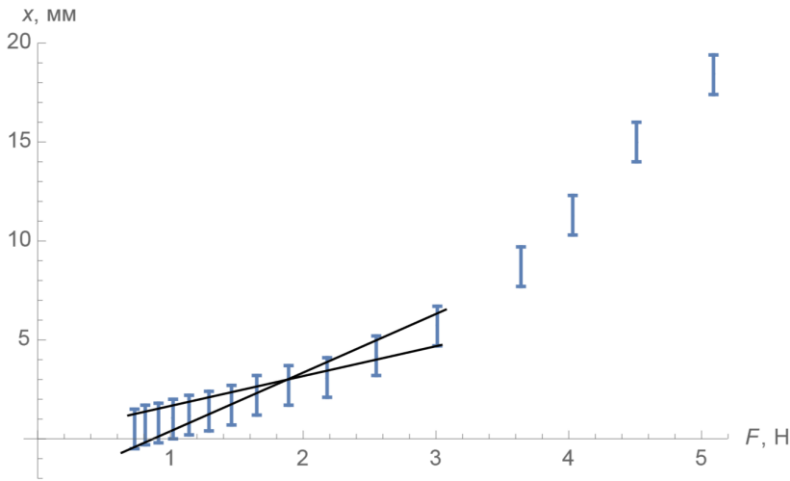


Рис. 6

Оценка погрешности. В линейном диапазоне растяжение кольца составляет 30-40 мм. Абсолютная погрешность равна цене деления линейки. Так как удлинение кольца вычисляется как разность двух координат, то абсолютная погрешность разности равна 2 мм. А относительная — 6%. В том же диапазоне растягивающая сила равна 1-2 Н. Это означает, что при массе бруска 0,066 кг, плечи $(y - y_1)$ и $(y_2 - y)$ равны примерно 300 мм и 100 мм соответственно. Абсолютная погрешность измерения этих величин также составляет 2 мм, а относительная в сумме около 3%. С учётом погрешности измерения массы бруска, равной 5%, итоговая погрешность определения коэффициента жесткости резинового кольца будет примерно 10%.

Задача 2. Таинственный футляр (Замятнин М.Ю.)

Внутри футляра находятся три резистора и кнопка (на крышке футляра), соединённые между собой. Контакты от трёх точек электрической цепи выведены на крышку футляра и обозначены буквами A, B, C .

1. Проведите необходимые измерения и нарисуйте схему соединения элементов футляра с указанием выводов A, B, C .
2. Найдите значения сопротивлений резисторов R_1, R_2, R_3 и оцените их погрешность.
3. Определите, какому положению (нажатому или ненажатому) кнопки K соответствует её разомкнутое состояние.
4. Какое напряжение может показать идеальный вольтметр, подключённый к выводам A и C , если к выводам A и B подключить батарейку напряжением $9,0\text{ В}$?

Погрешность мультиметра в режиме омметра 2%.

Вскрывать футляр запрещается!

Оборудование: таинственный футляр, мультиметр с проводами.

Возможное решение

Параметры установки, использованной в авторском решении, могут отличаться от параметров установки, выданной участнику олимпиады.

С помощью мультиметра, используемого в режиме омметра, определяем сопротивления между выходами для двух положений кнопки и составляем таблицу результатов измерений (в кОм).

	A	B	C	Положение ключа
A		1,33	0,83	не нажата
		2,00	5,00	нажата
B			1,50	не нажата
			3,00	нажата

Таб. 3

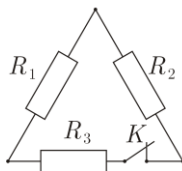


Рис. 7

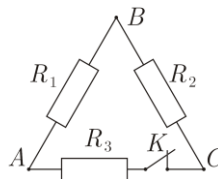


Рис. 8

Нетрудно заметить, что для не нажатого положения кнопки значения сопротивлений меньше, значит, в этом положении кнопка замкнута. Причем, сопротивление между входами изменяется для всех трёх пар. Следова-

тельно, резисторы соединены треугольником. Так как коротких замыканий нет, кнопка соединена последовательно с одним из резисторов. Таким образом, предварительно, схема футляра может быть представлена в виде, показанном на рис. 7.

В случае разомкнутой кнопки (кнопка нажата), максимальное сопротивление должно быть между узлами, к которым подсоединен резистор с кнопкой. Это реализуется для узлов А и С. Из чего делаем вывод, что кнопка расположена между ними. Тогда, сопротивление, измеренное между узлами А и В, соответствует сопротивлению резистора $R_1=2$ кОм, а сопротивление между узлами В и С – сопротивлению резистора $R_2=3$ кОм. Это согласуется с измеренным сопротивлением между узлами А и В:

$$R_A=R_1+R_2=5 \text{ кОм.}$$

Сопротивление R_3 можно рассчитать, например, с помощью значения сопротивления, измеренного между узлами А и С, при замкнутой кнопке.

$$\frac{1}{R_{AC}} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_1 + R_2},$$

откуда получаем $R_3=1$ кОм.

Рассчитывая сопротивление схемы между оставшимися парами узлов для замкнутой кнопки, и сравнивая их с результатами эксперимента, убеждаемся в правильности наших предположений. Окончательная схема футляра представлена на рис. 8.

Погрешность сопротивлений резисторов определяется приборной погрешностью омметра, которая по условию составляет 2%, следовательно, сопротивления резисторов R_1 и R_2 измерены с точностью 2%. Значение сопротивления резистора R_3 не измеряется непосредственно, а рассчитывается, поэтому по формуле переноса ошибок составляет примерно 6%.

При подключении батарейки к выводам А и В вольтметр, подключённый к выводам А и С, покажет $U = 9$ В при нажатой кнопке и $U/4 = 2,25$ В при ненажатой кнопке.