



Всероссийская олимпиада по физике
имени Дж. Кл. Максвелла

Заключительный этап
Экспериментальный тур

2023

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

Авторы задач

7 класс

1. Кармазин С.
Слободянин В.
2. Кармазин С.
Слободянин В.

8 класс

1. Кармазин С.
2. Кармазин С.
Слободянин В.

Общая редакция — Слободянин В., Заяц А., Киреев А.,
Порошин О., Порошина Е., Сеитов А.

Иллюстрации — Клепиков М.

Вёрстка — Васенин Е.

7 класс

Задача 7.1 Странная пружина и тяжёлый ромб

Оборудование: механическая конструкция, зажимы для крепления системы на столе, линейка 40 см, бутылка пластиковая 0,5 л массой 20 г, шприц 20 мл, стакан с водой 0,4 л или 2-3 стакана по 150-200 мл, нитки, две скрепки, миллиметровая бумага А4 для построения графиков.

Примечание: разбирать механическую систему, кроме отсоединения нижнего конца пружины, категорически ЗАПРЕЩЕНО!

Некоторые пружины, используемые в технических устройствах, имеют начальное сжатие, которое называется предварительной деформацией. Качественная зависимость длины такой пружины l от приложенной к ней силы растяжения F представлена на рис. 1. Если силу постепенно увеличивать от нуля, то некоторое время пружина будет сохранять свою первоначальную длину l_1 , а после превышения силой значения F_1 длина пружины начнёт изменяться по линейному закону (рис. 1). На этом участке деформацию пружины можно описать, используя формулу закона Гука: $F = k|l - l_0|$, где l_0 — начальная длина «гуковской» пружины, эквивалентной данной.

Вам предстоит исследовать механические свойства конструкции, которая схематически изображена на рис. 2 и состоит из ромба на шарнирах и предварительно деформированной пружины. К середине каждой стороны ромба прикреплены грузы одинаковой массы. Массой пружины по сравнению с массой ромба можно пренебречь.

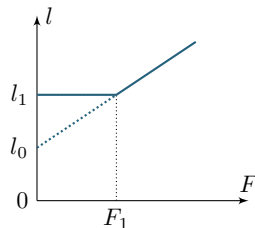


Рис. 1

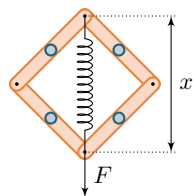


Рис. 2

В процессе выполнения работы и её описания используйте следующие обозначения:

x — расстояние между верхним и нижним шарнирами ромба;

k — жёсткость пружины;

l_0 — введённая выше длина гуковской пружины;

m_0 — масса всей подвижной части конструкции (масса ромба);

F — сила, приложенная вертикально вниз к нижнему шарниру.



Рис. 3

Задание:

1. Запишите нечётный номер, расположенный в верхней части направляющих вашей конструкции.
2. Закрепите конструкцию на столе с помощью канцелярских клипс, зажимов или струбцин, как показано на рис. 3.
3. Отсоедините пружину от нижнего шарнира, оставив её висеть на верхнем шарнире. В этом опыте ромб не используется. Снимите зависимость длины пружины l (между крайними точками петель крепления) от растягивающей силы F .
4. Постройте график зависимости $l(F)$. С его помощью найдите значение l_0 для вашей пружины.
5. Соедините пружиной верхний и нижний шарниры. Обязательно **зафиксируйте пружину на нижнем шарнире** шайбой и гайкой. Снимите зависимость $x(F)$. Постройте график этой зависимости.
6. Теоретический расчёт зависимости $x(F)$ приводит к следующему результату:

$$x = \frac{F}{k} + \frac{m_0 g}{2k} + l_0.$$

С помощью графика зависимости $x(F)$ и теоретического выражения определите значение массы ромба m_0 и жёсткость пружины k . Считайте, что $g = 9,8$ Н/кг.

Задача 7.2 Мастер-ломастер

Оборудование: рулетка, гайка с проволокой суммарной массой $m_0 = 10$ г, карандаш для фиксации полотна рулетки на столе, миллиметровая бумага для построения графика.

Описание явления:

В вашем распоряжении находится обычная строительная рулетка, в составе которой есть измерительная лента. Лента — это металлическое полотно постоянной линейной плотности λ . Массой стопора на конце полотна можно пренебречь. Назовём изломом полотна рулетки явление, показанное на фотографии справа.



Экспериментаторы, многократно «ломавшие» ленту рулетки в разных местах, утверждают, что для излома нужен всегда один и тот же суммарный момент сил.

Ход эксперимента:

При помощи проволоки закрепите гайку на полотне рулетки. После этого аккуратно выдвигайте полотно за край стола до момента его излома. Для чистоты эксперимента слегка прижимайте полотно карандашом, как показано на фото слева.

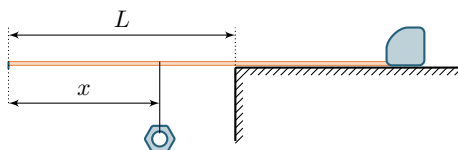


Рис. 4

Задание:

1. Проведите измерение величины L , при которой полотно ломается, для разных значений x (рис. 4). Результаты измерений представьте в виде таблицы.
2. Постройте график зависимости $(L - x)$ от L^2 на выданной вам миллиметровой бумаге.
3. Получите теоретическую формулу для суммарного момента сил, вызывающего излом полотна рулетки, содержащую величины λ , L , x , m_0 и g .
4. С помощью графика найдите линейную плотность λ полотна рулетки.
5. С помощью графика найдите величину суммарного момента сил, вызывающего излом полотна рулетки.

8 класс

Задача 8.1 Горячий резистор

Оборудование: резистор сопротивлением $R = 10$ Ом в керамическом корпусе, мультиметр с термопарой, деревянная накладка с углублениями для термопары, соединительные провода, канцелярский зажим, источник питания с регулируемым напряжением, миллиметровая бумага для построения графиков.

В данной работе оценивать погрешности не требуется.

Согласно закону Ньютона-Рихмана, мощность теплообмена между телом и окружающей средой прямо пропорциональна модулю разности их температур:

$$P = \alpha |t_{\text{тела}} - t_{\text{среды}}|,$$

где α — коэффициент пропорциональности.

Вам предстоит исследовать тепловые свойства керамического резистора сопротивлением $R = 10$ Ом. Измерения температуры в данной работе проводятся с помощью мультиметра с термопарой. Для постоянного механического контакта чувствительного элемента термопары с корпусом резистора используется деревянная накладка с углублениями. Она фиксируется канцелярским зажимом (см. рис. 5–7). Такая же деревянная накладка приклеена с противоположной стороны резистора для теплоизоляции последнего от металлического зажима. Всю конструкцию в сборе будем называть нагревательным элементом. Сборка нагревательного элемента производится в следующей последовательности:

- расположите спай («шарик») термопары в нужном месте на поверхности той грани резистора, которая противоположна приклеенной деревянной накладке (рис. 5);
- прижмите термопару так, чтобы её чувствительный элемент попал в соответствующее углубление деревянной накладки (рис. 6);
- зажмите получившуюся сборку канцелярским зажимом по всей длине, расположив её параллельно краю зажима (рис. 7);
- подключите резистор к выключенному источнику питания.

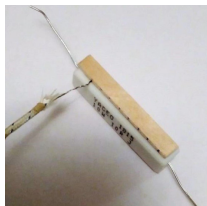


Рис. 5

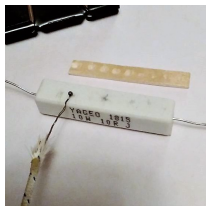


Рис. 6

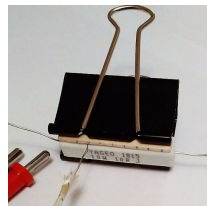


Рис. 7

Задание:

1. Исследуйте зависимость установившейся температуры t_0 в середине нагревательного элемента от поданного на него напряжения U . Проведите измерения не менее чем для пяти различных значений напряжения. **Внимание! Не подавайте на резистор напряжение выше 5 В! Не прикасайтесь к горячим частям нагревательного элемента!** Результаты проведённых измерений представьте в виде таблицы.
2. Используя известные Вам физические законы, получите теоретическую зависимость температуры нагревательного элемента t_0 от величины поданного на него напряжения U .
3. Постройте график экспериментальной зависимости $t_0(U)$, откладывая по осям координат такие величины, для которых полученная в п. 2 функция является линейной.
4. Используя полученный график, определите коэффициент пропорциональности α_c для середины нагревательного элемента.
5. Исследуйте распределение температуры нагревательного элемента по его длине при одинаковом напряжении источника $U = 3,5$ В. Постройте график этого распределения. По горизонтальной оси откладывайте координату термопары в долях длины резистора L . Считайте, что периодичность углублений в деревянной накладке составляет $L/8$, а координата крайнего углубления равна нулю.
6. Используя результаты, полученные в п. 5 задания, определите, во сколько раз коэффициент пропорциональности $\alpha_{кр}$ на краю нагревательного элемента отличается от коэффициента α_c в его середине. Считайте, что электрическая мощность по длине резистора распределена равномерно.

Задача 8.2 Мастер-ломастер

Оборудование: рулетка, гайка с проволокой суммарной массой $m_0 = 10$ г, карандаш для фиксации полотна рулетки на столе, миллиметровая бумага для построения графика.

В данной работе оценивать погрешности не требуется.

Описание явления:

В вашем распоряжении находится обычная строительная рулетка, в составе которой есть измерительная лента. Лента — это металлическое полотно постоянной линейной плотности λ . Массой стопора на конце полотна можно пренебречь. Назовём изломом полотна рулетки явление, показанное на фотографии справа.



Экспериментаторы, многократно «ломавшие» ленту рулетки в разных местах, утверждают, что для излома нужен всегда один и тот же суммарный момент сил.

Ход эксперимента:

При помощи проволоки закрепите гайку на полотне рулетки. После этого аккуратно выдвигайте полотно за край стола до момента его излома. Для чистоты эксперимента слегка прижимайте полотно карандашом, как показано на фото слева.

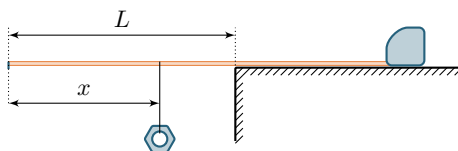


Рис. 8

Задание:

1. Проведите измерение величины L , при которой полотно ломается, для разных значений x (рис. 8). Результаты измерений представьте в виде таблицы.
2. Получите теоретическую формулу для суммарного момента сил, вызывающего излом полотна рулетки, содержащую величины λ , L , x , m_0 и g .
3. Постройте график исследуемой зависимости, откладывая по осям координат такие величины, для которых полученная в п. 2 функция является линейной.
4. С помощью графика найдите линейную плотность λ полотна рулетки.
5. С помощью графика найдите величину суммарного момента сил, вызывающего излом полотна рулетки.

7 класс. Возможные решения

Задача 7.1 Странная пружина и тяжёлый ромб

1. Закреплённая конструкция изображена на фотографии в условии задачи. Жажимы, клипсы или струбцины используются в зависимости от толщины стола. Обязательно использование двух зажимов.
2. Отвинчиваем гайку М3 на нижнем шарнире и отсоединяем пружину. Осторожно опускаем шарнир в нижнее положение. Пружина остаётся висеть на верхнем шарнире. Измеряем длину пружины без нагрузки. Подвешиваем бутылку с помощью нити к нижней петле крепления пружины. Шприцем добавляем в бутылку воду известного объёма (не забывая, что пустая бутылка имеет массу 20 г), для каждой величины силы тяжести бутылки измеряем длину пружины. Занесение в таблицу результата прямого измерения (объёма или, в крайнем случае, массы воды) является обязательным. Результаты измерений представлены в табл. 1 и на рис. 9:

$m_{гр}, \text{ г}$	$F, \text{ Н}$	$l, \text{ мм}$
0	0,00	111
20	0,20	111
60	0,59	112
100	0,98	117
140	1,37	132
180	1,76	147
220	2,16	163
260	2,55	178
280	2,74	185
320	3,14	199

Табл. 1

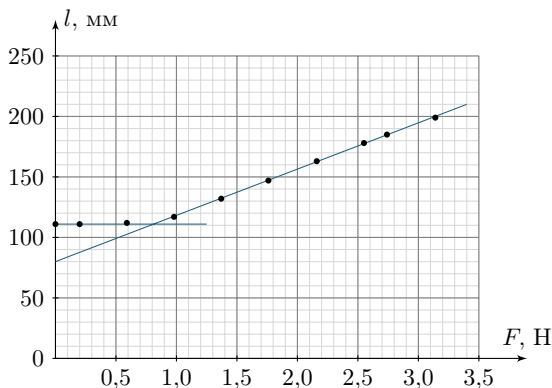


Рис. 9

Из графика видно, что $l_0 = 80$ мм.

3. Надеваем нижнюю петлю крепления пружины на нижний шарнир и фиксируем её с помощью шайбы и гайки. Снимаем зависимость $x(F)$ (табл. 2) и строим график этой зависимости (рис. 10). Находим жёсткость пружины $k = \frac{\Delta F}{\Delta x} = 25$ Н/м. Из теоретической формулы и графика следует, что при $F = 1,3$ Н и $x = 200$ мм $\Rightarrow m_0 = 347$ г.

$m_{гр}, \text{ г}$	$F, \text{ Н}$	$x, \text{ мм}$
0	0,00	147
20	0,20	156
40	0,39	163
60	0,59	172
100	0,98	187
140	1,37	203
180	1,76	218
200	1,96	227
240	2,35	242
280	2,74	258

Табл. 2

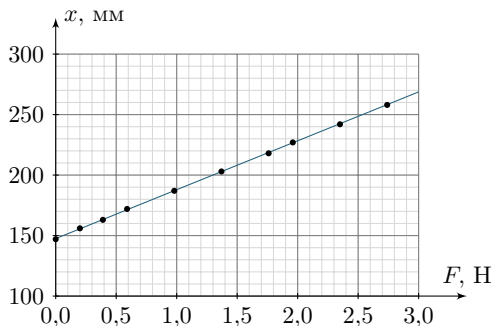


Рис. 10

Задача 7.2 Мастер-ломастер

Зафиксируем гайку на ленте с помощью проволоки и начнем плавно выдвигать получившуюся конструкцию за край стола. Важно добиться отсутствия колебаний свисающей части полотна. В момент, когда происходит излом — фиксируем значение длины L . Делаем серию опытов, увеличивая расстояние x каждый раз на 5 см, и заносим параметры L , x , $L - x$ в таблицу.

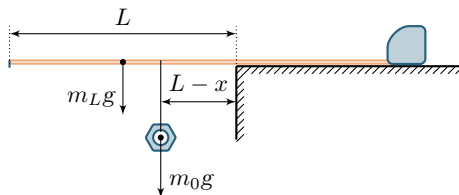


Рис. 11

Авторские данные приведены в таблице 3:

$x, \text{ м}$	0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35
$L, \text{ м}$	0,930	0,940	0,975	1,010	1,015	1,040	1,070	1,090
$L - x, \text{ м}$	0,930	0,890	0,875	0,850	0,815	0,790	0,770	0,740
$L^2, \text{ м}^2$	0,865	0,884	0,951	1,020	1,030	1,082	1,145	1,188
$x, \text{ м}$	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	
$L, \text{ м}$	1,090	1,115	1,140	1,155	1,175	1,195	1,215	
$L - x, \text{ м}$	0,690	0,665	0,640	0,605	0,575	0,545	0,515	
$L^2, \text{ м}^2$	1,188	1,243	1,300	1,334	1,381	1,428	1,476	

Табл. 3

Преобразуем данные для построения графика в необходимых координатах: добавляем строку L^2 в таблицу 3. График по авторским данным приведён на рис. 12:

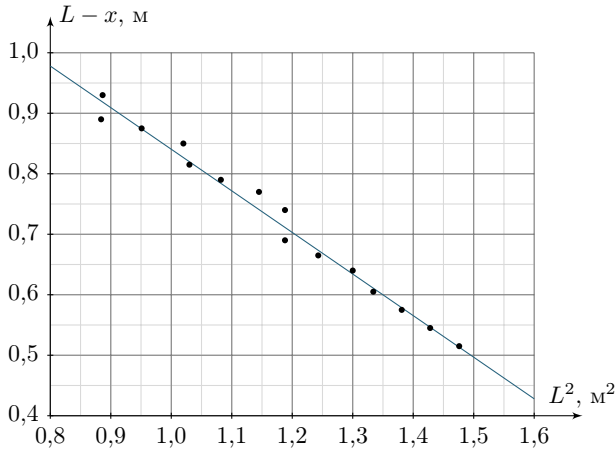


Рис. 12

Запишем результирующий момент всех сил, действующих на выдвинутую за край стола часть полотна рулетки. Для этого расставим силы, действующие на систему, выступающую за край стола (рис. 1). $m_L g$ — сила тяжести, действующая на выдвинутую часть полотна, приложена к середине выдвинутой части, $m_0 g$ — сила тяжести гайки с проволокой. Получаем формулу момента:

$$M = m_L g \frac{L}{2} + m_0 g (L - x).$$

Массу выдвинутого участка полотна можно представить через длину этого участка L и линейную плотность λ :

$$m_L = \lambda L.$$

Подставим полученное выражение в формулу момента и получим:

$$M = \frac{\lambda g}{2} L^2 + m_0 g (L - x).$$

Если теперь выразить $(L - x)$, то мы получим рабочую формулу:

$$(L - x) = \frac{M}{m_0 g} - \frac{\lambda}{2m_0} L^2.$$

Видим, что зависимость $(L-x)$ от (L^2) линейная. На построенном графике определяем модуль углового коэффициента $k = \frac{\lambda}{2m_0}$ и находим линейную плотность полотна линейки:

$$\lambda = 2km_0.$$

Момент сил можно найти следующим способом: необходимо взять любую точку на проведённой прямой, которая находится на пересечении линий координатной сетки и подставить её координаты в уравнение $M = kmgL^2 + mg(L-x)$. Находим из графика угловой коэффициент $k = 0,67 \text{ м}^{-1}$, откуда получаем ответы:

$$\lambda = 0,013 \text{ кг/м}, \quad M = 0,15 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

8 класс. Возможные решения

Задача 8.1 Горячий резистор

- Измеряем температуру в аудитории. Собираем нагревательный элемент с термопарой в центре и подключаем его к источнику питания. Выставляем и фиксируем напряжение на вольтметре источника и ждём максимально возможного показания термометра. Проводим измерение при разных напряжениях и заполняем таблицу:

U , В	0,0	2,0	3,0	3,7	4,4	4,9
t_0 , °C	24	34	45	56	71	81
U^2 , В ²	0,00	4,00	9,00	13,69	19,36	24,01

Табл. 4

- Согласно закону сохранения энергии, при установившейся температуре нагревательного элемента модуль мощности тепловых потерь равен мощности электрического тока:

$$P = \alpha |t_0 - t_{\text{среды}}| = \frac{U^2}{8R},$$

$$t_0 = \frac{U^2}{8\alpha R} + t_{\text{среды}},$$

где коэффициент $1/8$ в формуле мощности электрического тока взят, исходя из равномерности распределения мощности и разбиения длины резистора на части в п. 5 условия задачи.

- Полученная зависимость будет линейной, если на горизонтальной оси откладывать квадрат напряжения:

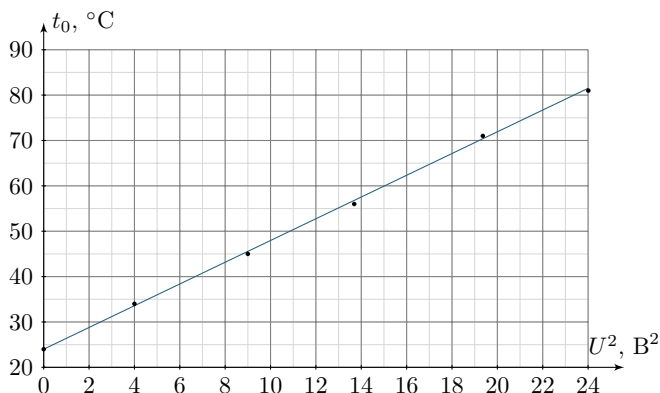


Рис. 13

4. Коэффициент пропорциональности α_c для середины нагревательного элемента находим через угол наклона графика $t_0 (U^2)$:

$$\frac{1}{8\alpha_c R} = \frac{\Delta t_0}{\Delta(U^2)} \Rightarrow \alpha_c = 0,006 \text{ Вт/}^\circ\text{С}.$$

5. Результаты измерения распределения температуры по длине представлены в таблице:

x/L	0,000	0,125	0,250	0,375	0,500	0,675	0,750	0,875	1,000
$t, ^\circ\text{С}$	37	44	49	52	53	51	47	43	38

Табл. 5

6. Отношение коэффициентов найдём из равномерного распределения мощности:

$$P = \alpha_{кр}(t_{края} - t_{среды}) = \alpha_c(t_c - t_{среды}) \Rightarrow \frac{\alpha_{кр}}{\alpha_c} = 1,8.$$

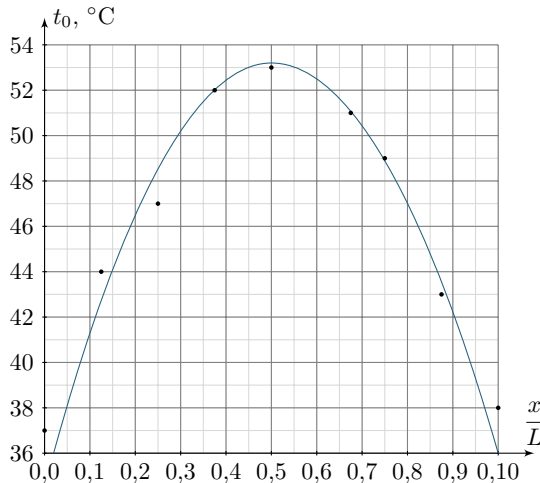


Рис. 14

Задача 8.2 Мастер-ломастер

Смотрите решение задачи 7.2.

