



Всероссийская олимпиада по физике
имени Дж. К. Максвелла

Заключительный этап
Экспериментальный тур

Сочи, Сириус, 2017

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

Авторы задач

7 класс

1. Замятнин М.
2. Замятнин М.

8 класс

1. Замятнин М.
2. Кармазин С.

Общая редакция — Ерофеев И., Замятнин М.,
Кармазин С., Слободянин В.
Вёрстка — Ерофеев И., Корепанов Г., Утешев И.

354349, Краснодарский край, г. Сочи
Образовательный центр «Сириус»

7 класс

Задача 1. Скрытая масса

Оборудование. Закрытая трубка со стальным шариком внутри, магнит, линейка, электронные весы, две опоры (канцелярские клипсы), миллиметровая бумага формата А5 для построения графиков.

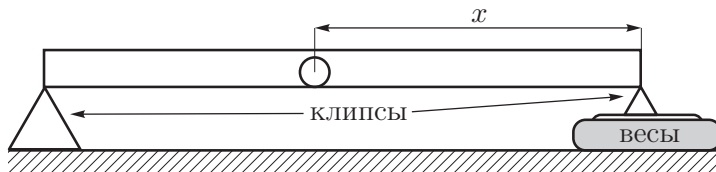


Рис. 1

1. Определите массу магнита m_M .
2. Соберите установку (рис. 1) и получите зависимость показаний m весов от расстояния x между шариком и опорой, расположенной на весах.
3. Постройте на миллиметровой бумаге график зависимости $m(x)$.
4. Используя график и, если необходимо, проведя дополнительные измерения, определите массу трубки m_T и массу шарика $m_{ш}$.

ВНИМАНИЕ. Не забудьте записать номер выданной трубки! Результаты могут существенно различаться на разных установках.

Примечание. Имейте в виду, что магнит, находящийся на расстоянии менее 5 см от весов, может существенно исказить их показания! Будьте аккуратны с магнитом: от сильных ударов он может расколоться!

Задача 2. Пустота

Коэффициентом пустотности сыпучих веществ β называют отношение объёма воздушных полостей к общему объёму вещества.

1. Оцените массу стакана и массу линейки.
2. Определите коэффициент пустотности β неутрамбованного (насыпного) песка.
3. Найдите плотность ρ песчинок (плотность самого вещества крупинок песка без учёта воздушных полостей).

Плотность воды $\rho_0 = 1,00 \text{ г/см}^3$.

Примечание. Дополнительно песок выдаваться не будет!

Оборудование. Поднос, деревянная линейка 40 см, два пластиковых стакана с неградуированными рисками, стакан с водой, стакан с сухим песком, шприц 20 мл, ложечка, салфетки для поддержания порядка, карандаш, скотч. Ножницы по требованию.

8 класс

Задача 1. Серые массы

Оборудование. Закрытая однородная трубка с однородным цилиндром и стальным шариком внутри, магнит, линейка 50 см, электронные весы, две опоры (канцелярские клипсы), миллиметровая бумага формата А5 для построения графиков.

1. Определите массу магнита m_M .
2. Определите массы трубки m_T , шарика $m_{ш}$ и цилиндра m_C .

ВНИМАНИЕ. Не забудьте записать номер выданной трубки! Результаты могут существенно различаться на разных установках.

Примечание. Имейте в виду, что магнит, находящийся на расстоянии менее 5 см от весов, может существенно искажать их показания! Будьте аккуратны с магнитом: от сильных ударов он может расколоться!

Задача 2. Гексагон

Исследуемая электрическая цепь состоит из шести резисторов с двумя возможными номиналами сопротивлений: R_1 и R_2 , соединённых последовательно в кольцо (рис. 2).

1. Определите значения сопротивлений резисторов R_1 и R_2 .
2. Нарисуйте схему цепи, отметьте узлы A – F и укажите на схеме сопротивления резисторов.
3. Исследуйте зависимость показаний мультиметра, включённого в режиме вольтметра (диапазон 20 В), от нагрузочного сопротивления R_H в цепи (рис. 3) для всех его возможных значений.
4. Постройте график полученной зависимости в координатах, в которых эта зависимость линейна.

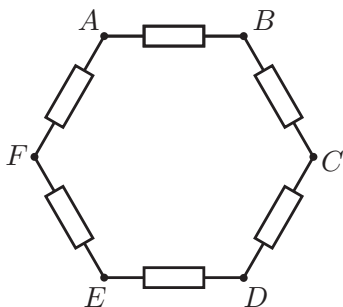


Рис. 2

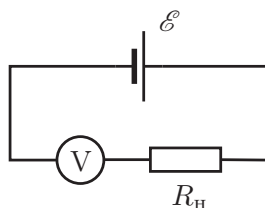


Рис. 3

5. По графику определите величину внутреннего сопротивления вольтметра.
6. Оцените погрешность полученного результата.

Сопротивлением батарейки можно пренебречь.

Оборудование. Кольцо резисторов, мультиметр (*режим амперметра отключён!*), батарейка «крона», провод, два зажима типа «крокодил», два листа миллиметровой бумаги формата А5.

Возможные решения

7 класс

На различных установках численные значения приведенных в авторских решениях величин могут *существенно* отличаться.

Задача 1. Скрытая масса

Поскольку магнит вблизи весов искажает их показания, невозможно определить его массу прямым взвешиванием. Положив трубку на весы, обнулیم их показания кнопкой «TARE». Прикрепим магнит к концу трубки со стальным шариком и определим его массу:

$$m_{\text{м}} = 13,17 \pm 0,03 \text{ г.}$$

Установим трубку на клипсы-опоры. Измерим расстояние между ними:

$$L = 50,0 \pm 0,1 \text{ см.}$$

С помощью магнита будем фиксировать положение шарика внутри трубки и снимать показания весов для системы с магнитом $m_1(x)$ (таб. 1).

Запишем правило моментов относительно опоры, находящейся на столе, для систем с магнитом и без:

$$m_1(x)gL = (m_{\text{ш}} + m_{\text{м}})g(L - x) + m_{\text{т}}gL/2, \quad (1)$$

$$m(x)gL = m_{\text{ш}}g(L - x) + m_{\text{т}}gL/2. \quad (2)$$

Вычитая из уравнения (1) уравнение (2), получим искомую зависимость:

x , см	m_1 , г	m , г
11,0	65,47	55,2
15,0	61,52	52,3
19,0	58,17	50,0
23,0	54,41	47,3
27,0	51,06	45,0
31,0	47,30	42,3
35,0	43,45	39,5
39,0	40,10	37,2
43,0	36,04	34,2
47,0	32,69	31,9

Таблица 1

$$m(x) = m_1(x) - m_{\text{м}} \frac{L - x}{L}.$$

Показания весов m и m_1 отличаются на известную величину, что позволяет нам пересчитать значения в таблице 1.

Теоретическая зависимость, полученная из уравнения (2), имеет вид:

$$m(x) = -\frac{m_{\text{ш}}}{L}x + \left(m_{\text{ш}} + \frac{m_{\text{т}}}{2}\right).$$

Построив график $m(x)$, определим массу шарика по угловому коэффициенту наклона k (рис. 4):

$$m_{\text{ш}} = -kL = 32,3 \pm 0,5 \text{ г.}$$

Масса трубки с шариком составляет $m_{\text{т}} + m_{\text{ш}} = 82,18 \pm 0,03$ г, откуда масса трубки:

$$m_{\text{т}} = 59,9 \pm 0,5 \text{ г.}$$

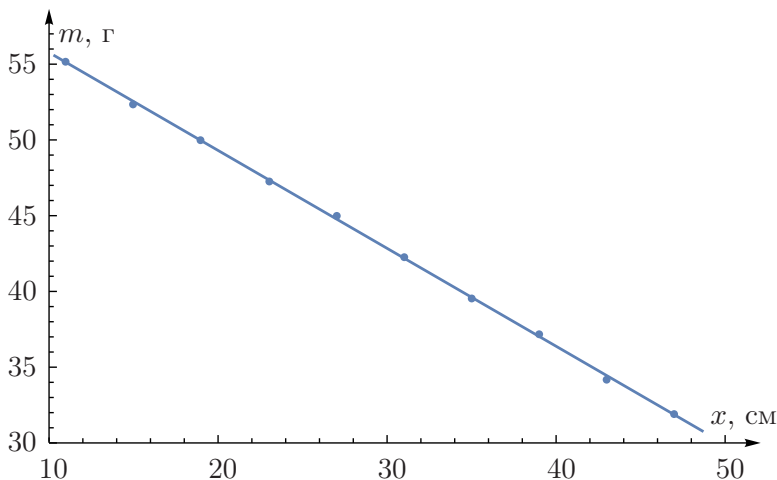


Рис. 4

Задача 2. Пустота

Будем использовать карандаш в качестве опоры для рычага из линейки.

1. Оценим массу линейки. Зафиксируем длины плеч линейки примерно в отношении 1 : 3, расположим стаканы на равных расстояниях ($l_{\text{ст}} = 8$ см) от опоры (стаканы будут уравнивать друг друга). В стакан на краю линейки будем доливать воду до тех пор, пока система не

придёт в равновесие. Объём налитой воды $V_B = 19$ мл. Из правила моментов получим:

$$\rho_0 V_B l_{\text{ст}} = m_{\text{л}} l_{\text{цм}},$$

где $l_{\text{цм}} = 10,2$ см — расстояние от центра масс линейки до карандаша, получим массу линейки $m_{\text{л}} \approx 15$ г.

2. Для оценки массы стакана расположим пустой стакан на краю линейки. Сдвигая линейку относительно опоры, найдем положение равновесия (при длинах плеч $l_1 = 18,8$ см и $l_2 = 22,2$ см). Центр стакана находится на расстоянии $l = 16$ см от точки опоры. Записав правило моментов:

$$m_{\text{л}} \frac{l_1}{L} \cdot \frac{l_1}{2} + m_{\text{ст}} \cdot l = m_{\text{л}} \frac{l_2}{L} \cdot \frac{l_2}{2},$$

найдем $m_{\text{ст}} \approx 2$ г.

3. Насыпем песок в пустой стакан до определённой риски. С помощью шприца нальём в другой стакан такой же объём воды V .

Дольём в стакан с песком воду до выравнивания её уровня с уровнем поверхности песка. Определим объём полостей в песке $V_{\text{п}}$ и рассчитаем коэффициент пустотности:

$$\beta = \frac{V_{\text{п}}}{V} = 0,38 \pm 0,03.$$

4. Для определения плотности песка используем сухой песок известного объёма V . Уравновесим на концах линейки два стакана — один с песком, другой с необходимым для равновесия объёмом воды V_0 . Масса воды будет равна массе песка, откуда искомая плотность:

$$\rho = \frac{m}{V - V_{\text{п}}} = \frac{\rho_0 V_0}{V(1 - \beta)} = 2,55 \pm 0,15 \text{ г/см}^3.$$

8 класс

На различных установках численные значения приведенных в авторских решениях величин могут *существенно* отличаться.

Задача 1. Серые массы

Поскольку магнит вблизи весов искажает их показания, невозможно определить его массу прямым взвешиванием. Положив трубку на весы, обнулим их показания кнопкой «TARE». Прикрепим магнит к концу трубки со стальным шариком и определим его массу:

$$m_m = 13,36 \pm 0,05 \text{ г.}$$

Будем перемещать шарик магнитом в сторону цилиндра, пока на некотором расстоянии $l_{кр}$ от конца трубки магнит не «отщёлкнется» от шарика (на этом расстоянии шарик упрется в цилиндр). Длина цилиндра равна:

$$l = l_{кр} - R = 18,5 - 1,0 = 17,5 \pm 0,5 \text{ см,}$$

где $R = 1,0 \pm 0,3$ см — оценочное значение радиуса шарика.

x , см	m , г
11,0	58,23
13,0	56,64
15,0	54,46
17,0	52,87
19,0	51,16
21,0	49,30
23,0	47,35
25,0	45,15
27,0	43,59
29,0	41,89
31,0	39,93

Таблица 2

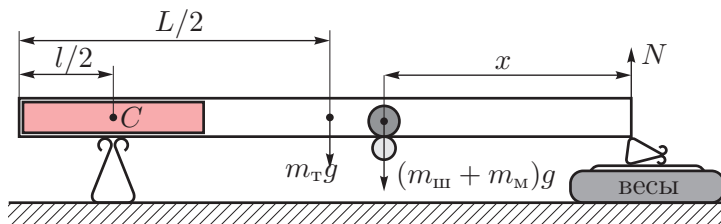


Рис. 5

Переместив цилиндр в конец трубки, установим большую клипсу под его центром тяжести C . Малую клипсу поставим на весы и установим на неё другой конец трубки. В такой системе цилиндр не вносит вклад в показания весов.

Снимем зависимость показаний весов m от расстояния x от правого конца трубки до шарика с магнитом.

Запишем правило моментов относительно точки C :

$$N \left(L - \frac{l}{2} \right) = mg \left(L - \frac{l}{2} \right) = m_{\text{Т}} g \frac{L-l}{2} + (m_{\text{Ш}} + m_{\text{М}}) g \left(L - \frac{l}{2} - x \right),$$

где $L = 50,0 \pm 0,1$ см — длина трубки.

Показания весов линейно зависят от x :

$$m(x) = \left(\frac{L-l}{2L-l} m_{\text{Т}} + m_{\text{Ш}} + m_{\text{М}} \right) - \frac{m_{\text{Ш}} + m_{\text{М}}}{L-l/2} x,$$

По угловом коэффициенту наклона $k = 0,60 \pm 0,01$ г/см графика $m(x)$ определим массу шарика $m_{\text{Ш}}$ (рис. 6):

$$m_{\text{Ш}} = k(L - l/2) - m_{\text{М}} = 27,8 \pm 0,5 \text{ г.}$$

Отметим, что длину $L - l/2$ мы можем получить прямым измерением расстояния между точками опоры.

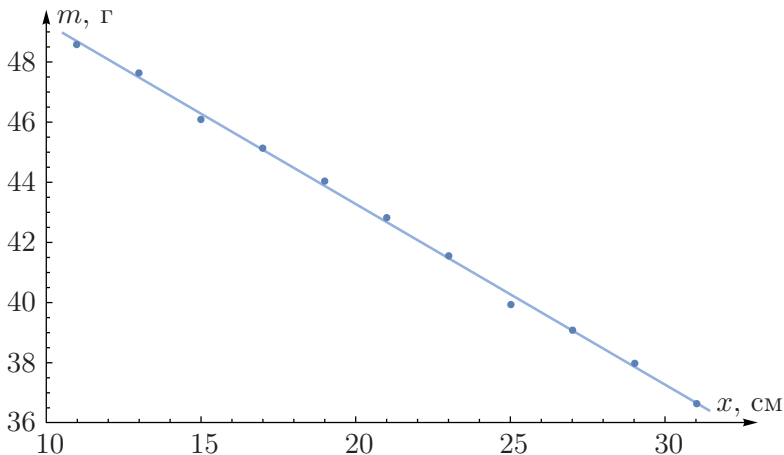


Рис. 6

Массу трубки $m_{\text{Т}}$ найдём из графика. Например, при $x = 25$ см:

$$m_{\text{Т}} = \frac{m(x)(2L-l) - (m_{\text{Ш}} + m_{\text{М}})(2L-l-2x)}{L-l} = 77 \pm 2 \text{ г.}$$

Окончательно, масса цилиндра $m_{\text{ц}}$ определяется как разность между полной массой трубки с цилиндром $m_{\text{тц}}$, измеряемой напрямую, и массой трубки $m_{\text{т}}$:

$$m_{\text{ц}} = m_{\text{тц}} - m_{\text{т}} = 19 \pm 2 \text{ г.}$$

Задача 2. Гексагон

Измерим сопротивления между парами противоположных выводов ($A-D$, $B-E$, $C-F$) гексагона. Они равны друг другу: $R_d = 910$ кОм. Следовательно, в схеме есть три резистора R_1 и три резистора R_2 .

Измерив сопротивление R_d между парами соседних выводов, убедимся, что, начиная при обходе гексагона по часовой стрелке от точки A , величины резисторов образуют последовательность $\{R_1, R_1, R_2, R_1, R_2, R_2\}$.

Измерим сопротивление между выводами B и D :

$$R_{BD} = \frac{2}{3}(R_1 + R_2) = 813 \text{ кОм.}$$

Закоротив выводы B и D проводом с зажимами типа «крокодил», измерим сопротивление между выводами C и D :

$$R_{CD} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 289 \text{ кОм.}$$

Решая полученную систему уравнений, находим $R_1 = 750$ кОм и $R_2 = 470$ кОм.

Соберём цепь, схема которой изображена на рис. 3. Для этого, сняв «крокодил» с одного конца провода, подключим этот провод к вольтметру, а оставшийся на проводе зажим «крокодил» — к батарейке. Второй «крокодил» наденем на штекер провода от вольтметра и подключим ко второму контакту батарейки. Подключая щупы к различным выводам гексагона, измерим показания вольтметра (таб. 3):

$$U = \frac{R_V}{R_{\text{н}} + R_V} U_0,$$

где $U_0 = 9,4$ В — напряжение батарейки, измеряемое вольтметром непосредственно, R_V — искомое сопротивление вольтметра.

Полученную зависимость преобразуем к виду:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_0} + \frac{R_{\text{н}}}{R_V U_0}.$$

Контакты	R_H , кОм	U , В	U^{-1} , В ⁻¹
AB	593	5,75	0,174
AC	892	4,84	0,207
AD	921	4,77	0,210
CD	421	6,44	0,155
BD	826	5,02	0,199
AE	708	5,36	0,187
без R	0	9,16	0,109

Таблица 3

Строим график зависимости $U^{-1}(R_H)$ (рис. 7), по угловому коэффициенту k определяем сопротивление вольтметра:

$$R_V = \frac{1}{kU_0} = 970 \text{ кОм.}$$

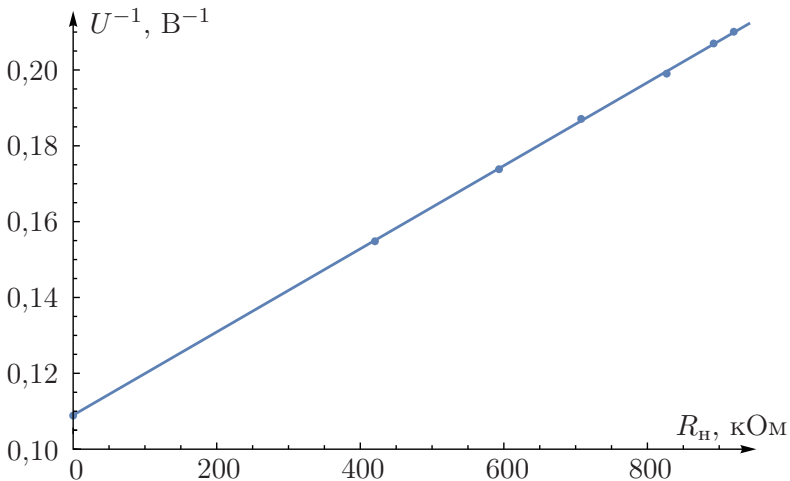


Рис. 7