

9 класс

Задание 2. Ластик со скрепками

Задание: Определите плотность груза (ластика – резинки). Опишите предпринятые действия, которые привели к увеличению точности результата эксперимента.

Плотность воды $\rho_{\text{в}} = 1000 \text{ кг/м}^3$.

Приборы и оборудование: Неоднородная трубка, нитки, одинаковые скрепки (50 штук), груз, стаканчик с водой, салфетки для поддержания порядка, ножницы по требованию.

Внимание! При выполнении эксперимента оборудование, кроме перечисленного в задании, использовать запрещено.

Рекомендации для организаторов

Надо предусмотреть несколько ножниц на аудиторию для разки ниток, либо изначально выдать каждому участнику 3-4 нитки длиной около 50 см.

Вместо ластика можно использовать любое не намокающее тело, имеющее плотность от 1,5 до 2,5 кг/дм³. Желательно, чтобы формы тела была неправильная и без мелких полостей. Ластик надо выбирать крупный (имеющий массу около 40 г).

Скрепки нужны металлические (можно в оплетке), не самые крупные (длиной 25-30 мм) с суммарной массой равной примерно половине массы ластика (50 штук должны иметь массу около 20 г). Для каждого участника все скрепки должны быть одинаковыми!

Неоднородную трубку можно изготовить из пластиковой (ПВХ) водопроводной трубы $d = 16$ мм, длиной L около 40 см, забив внутрь пластилин так, чтобы центр тяжести трубки оказался примерно на трети ее длины. Важно, чтобы трубка не гнулась под собственным весом и под весом ластика и скрепок. Желательно, чтобы положения центра масс трубок у разных участников отличались незначительно.

Линеек, миллиметровой бумаги и других измерителей плеч рычага у детей быть не должно.

Емкость стакана с водой 0,2 – 0,5 л.



трубка пластиковая $d = 16$ мм
разрезать по $L = 40$ см

скрепки 28 мм (в коробке 100 шт.)

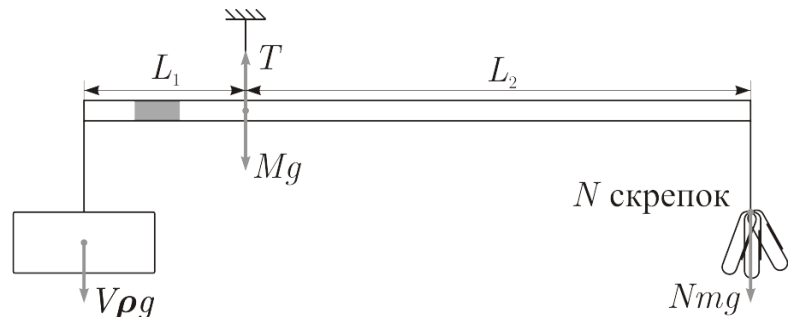
Возможное решение

Замятнин М.

Для определения плотности ластика воспользуемся методом гидростатического взвешивания. Задача осложняется неоднородностью рычага и отсутствием измерителей длин.

Добьемся равновесия неоднородного рычага на нити, и определим положение его центра тяжести. Затем уравновесим на рычаге ластик максимально возможным количеством скрепок. При подвешивании тел надо

стремиться использовать самые большие расстояния от центра тяжести рычага. При этом важно обратить внимание на то, что общая масса всех скрепок примерно вдвое меньше массы ластика. Центр тяжести рычага тоже



находится не посередине, а примерно на трети его длины, поэтому для повышения точности измерений, более тяжелое тело необходимо подвесить к короткому плечу рычага. Пусть для равновесия ластика в воздухе потребовалось N_1 скрепок в воздухе.

По правилу моментов относительно точки подвеса рычага

$$V\rho gL_1 = N_1mgL_2,$$

где m – масса одной скрепки, V – объем ластика.

Не изменяя расстояния между точками крепления нитей, полностью погрузим ластик в воду. Добьемся нового равновесия, уменьшив количество скрепок до N_2 . Новое уравнение будет иметь вид

$$V(\rho - \rho_0)gL_1 = N_2mgL_2.$$

Разделив одно уравнение на другое, получим

$$\rho = \rho_0 \frac{N_1}{N_1 - N_2}.$$

Погрешность плотности ластика определяется погрешностью числа скрепок.

Возможные критерии оценивания

1. Идея гидростатического взвешивания	1 балл
2. Описание метода (используем рычаг, который должен быть сбалансирован; в процессе измерений не изменяем точки подвеса ластика и скрепок)	2 балла
3. Вывод расчётной формулы	3 балла
3. Определение центра масс рычага	1 балл
4. Явное указание на действия, увеличивающие плечи рычага	1 балл
5. Результаты измерений	3 балла
6. Значение плотности	3 балла
узкие ворота $\pm 5\%$	(3 балла)
средние ворота $\pm 10\%$	(2 балла)
широкие ворота $\pm 15\%$	(1 балл)
7. Оценка погрешности	1 балл

9 класс

Задание. Соль (хлорид натрия)

Оборудование: Цилиндр измерительный объемом 100 мл, пробирка, стакан с водой, шприц, 2 комплекта порошка поваренной соли (в комплект входит три порции поваренной соли (NaCl) массой 5г, 10г, 20г.).

Указание: Перед началом работы тщательно продумайте последовательность ваших действий. При выполнении работы описывайте, что вы делали. Для выполнения задания используйте **только один комплект**. Второй комплект вам выдан для проведения пробного эксперимента. Дополнительные порции соли выдаваться не будут.

Плотность воды $\rho_{\text{в}} = 1,0 \text{ г/см}^3$.

1. Определите плотность $\rho_{\text{п}}$ порошка хлорида натрия.
2. Определите соотношение масс соли и воды ($\alpha = M_{\text{с}}/M_{\text{в}}$) в насыщенном растворе поваренной соли при комнатной температуре (известно, что $\alpha < 0,5$).

Примечание: насыщенным раствором называется **жидкость** в которой перестает растворяться соль.

3. Определите плотность $\rho_{\text{к}}$ кристаллов хлорида натрия.
4. Оцените погрешность в определении α , $\rho_{\text{п}}$, $\rho_{\text{к}}$.

Указание для организаторов: рекомендуется использовать соль «экстра» мелкого помола.

Порции соли должны быть отмерены с точностью $\pm 0,1$ г.

Шприц рекомендуем брать объемом 20 мл с ценой деления 1 мл.

Цилиндр измерительный объемом 100 мл, должен быть узким, с ценой деления 1 мл/дел.

Емкость стакана с водой 0,2 – 0,5 л.

Возможное решение

Кармазин С., Чжан М.

1. Для определения плотности порошка соли навеску массой 20 грамм следует высыпать в сухой мерный стакан или в шприц и измерить объем этого количества соли. Организаторам следует заранее определить плотность порошка той партии соли, которая используется в эксперименте. Ориентировочно, $(1100 < \rho < 1200)$ кг/м³.
2. Для определения отношения α масс соли и воды в насыщенном растворе высыпая навеску соли массой 5 грамм в пробирку и добавляем фиксируемые порции воды с помощью шприца. Дискретность (шаг) добавляемых порций воды выбирается участником олимпиады самостоятельно. После каждого добавления воды тщательно перемешиваем раствор. Теоретически процедура должна продолжаться до полного исчезновения кристалликов соли в воде. Однако, в соли может находиться некоторое небольшое количество посторонних нерастворимых примесей. Поэтому добиваться абсолютно полного исчезновения осадка не целесообразно. Эксперимент следует продолжать до тех пор, пока количество кристалликов в осадке не изменится при очередном добавлении 1 мл воды. Табличное значение $\alpha = 0,36$. Практически, удовлетворительным результатом следует считать $0,32 < \alpha < 0,35$.
3. Для определения плотности кристаллов хлорида натрия, находящуюся в измерительном цилиндре порцию соли следует залить небольшим количеством воды. Туда же можно вылить содержимое пробирки. В любом случае, необходимо обеспечить насыщенность раствора в мерном стакане, т.е. наличие в нем достаточного количества нерастворенной соли. В этом состоянии фиксируется объем содержимого в стакане. Затем в мерный стакан высыпается навеска соли массой 20 грамм и снова фиксируется объем содержимого. Необходимо, чтобы уровень воды в мерном цилиндре был выше уровня соли. Так как добавленная соль не может раствориться в насыщенном растворе, ее объем равен разности полученных объемов. Табличное значение плотности NaCl $\rho = 2165$ кг/м³.

Критерии оценивания.

- | | |
|--|-----------------|
| 1. Определена плотность порошка поваренной соли | 3 балла |
| а) обоснование метода | 0,5 балла |
| б) результаты измерений | 0,5 балла |
| в) попадание в узкие ворота (1,1 – 1,2) г/см ³ | 2 балла |
| широкие ворота (1,0 – 1,3) г/см ³ | 1 балл |
| 2. Определено отношение α масс соли и воды в насыщенном растворе NaCl | 5 балла |
| а) обоснование метода | 2 балла |
| б) результаты измерений | 1 балл |
| в) попадание в узкие ворота (0,32 – 0,35) | 2 балла |
| широкие ворота (0,30 – 0,37) | 1 балл |
| 3. Определена плотность кристаллического NaCl | 6 баллов |
| а) обоснование метода | 2 балла |
| б) результаты измерений | 1 балл |
| в) попадание в узкие ворота (2,1 – 2,2) г/см ³ | 3 балла |
| средние ворота (2,0 – 2,3) г/см ³ | 2 балла |
| широкие ворота (1,8 – 2,5) г/см ³ | 1 балл |
| 4. Оценка погрешностей | 1 балл |

Примечание 1: Числовые значения плотности соли зависят от степени очистки соли заводом изготовителем, поэтому организаторам олимпиады необходимо проделать эксперименты самостоятельно и получить **свои** значения.

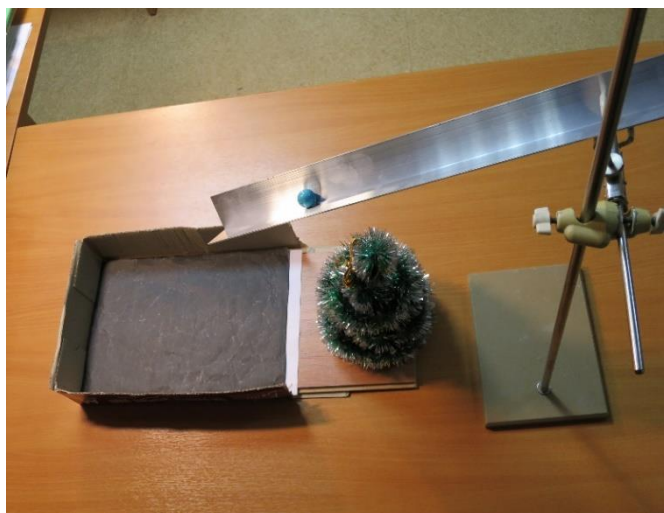
Примечание 2: за отсутствие единиц измерений в ответе на любой вопрос снимается 1 балл.

10 класс

Задание. Качение шарика

Оборудование: алюминиевый желоб (уголок), штатив с лапкой, металлический шарик, лист линованной бумаги, копировальная бумага, миллиметровая бумага, рулетка (или линейка длиной 50 см), крышка от картонной коробки (для ограничения области перемещения шарика по столу), скотч (по требованию).

1) **Задание:** Соберите установку, аналогичную приведенной на фотографии. Отметьте на желобе точку «старта». Установите уголок так, чтобы точка «старта» оказалась над нижним краем желоба на высоте $H \approx 20$ см (рис. 1). Нижний край желоба должен располагаться на расстоянии $h \approx 15 - 20$ см от поверхности стола. Установите шарик в точку «старта». Предоставьте шарiku возможность скатиться по желобу и определите расстояние l по горизонтали, которое шарик пролетел.



2) Проведите аналогичные измерения для 6 – 7 различных значений высоты H при одной и той же точке «старта». Для каждой высоты H проведите несколько измерений и усредните результаты. Полученные данные занесите в таблицу.

3) Обозначьте через $\left(E_x = \frac{mv_x^2}{2}\right)$ ту часть кинетической энергии шарика, которая обусловлена его поступательным движением вдоль горизонтальной оси X в момент отрыва шарика от желоба.

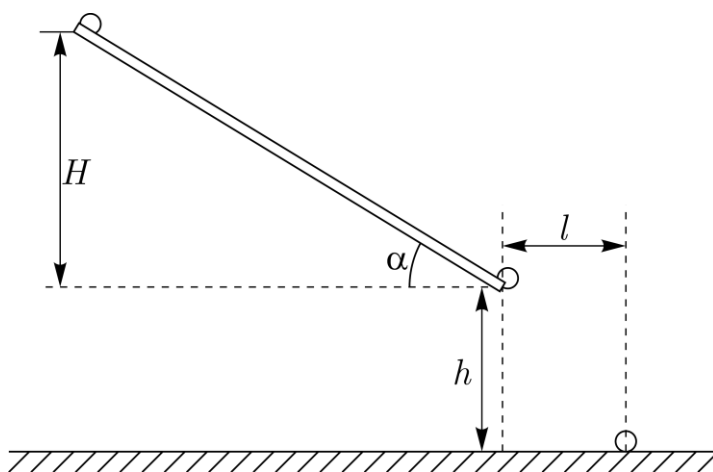


Рис. 1

4) Обозначьте символом $\Delta\Pi$ изменение потенциальной энергии шарика при его скатывании по желобу с высоты H .

5) Введите коэффициент $k = \Delta\Pi / E_x$. Пусть α – угол наклона желоба относительно горизонта.

6) Выразите коэффициент k через параметры установки: $l, h, H, \operatorname{tg}(\alpha)$.

7) Постройте график зависимости $y(x)$, где $y = k \cos^2 \alpha$, а $x = H$. В предположении, что $y = ax + b$, определите коэффициенты a и b , Оцените погрешность полученных значений.

Рекомендации организаторам

- 1) В качестве желоба возьмите алюминиевый уголок 30 мм х 30 мм или 40 мм х 40 мм длиной $L \approx 70$ см.
- 2) Шарик следует брать диаметром 7 – 20 мм. Он может быть как металлическим, так и изготовленным из поделочного камня (бусы).
- 3) Для фиксации на столе места падения шарика, участникам олимпиады следует выдать пластину из ламината или деревянную дощечку примерно того же размера (картон мягкий и для этой цели не годится). На ламинате участники олимпиады скотчем закрепляется лист линованной бумаги поверх которого кладут лист копировальной бумаги (см. фотографию установки). Лист ламината следует поместить в крышку от картонной коробки (например, от коробки для бумаги формата А4). Это нужно для того, чтобы шарик не укатился со стола.

Возможное решение

Слободянин В.

Теоретическая часть. Пусть сразу после отрыва от желоба шарик имел скорость v и упал на стол на расстоянии l от края желоба (рис. 1). Проекция его скорости на горизонтальное направление равна $v_x = v \cos \alpha$, а на вертикальное – $v_y = v \sin \alpha$. Здесь α – угол, который образует желоб с горизонтальной плоскостью. Время свободного падения шарика $t = l / v_x$. В проекции на вертикальную ось движение шарика удовлетворяет уравнению:

$$h = v_y t + \frac{gt^2}{2} = l \frac{v_y}{v_x} + \frac{g}{2} \frac{l^2}{v_x^2} = l \operatorname{tg} \alpha + \frac{g}{2} \frac{l^2}{v_x^2}.$$

Из этого уравнения получаем выражение для кинетической энергии шарика, обусловленное его поступательным движением вдоль оси X :

$$m \frac{v_x^2}{2} = \frac{mgl^2}{4(h - l \operatorname{tg} \alpha)}. \quad (1)$$

Изменение потенциальной энергии шарика при его скатывания по желобу с высоты H : $\Delta\Pi = mgH$.

Отсюда находим искомый коэффициент

$$k = \frac{4H(h - l \operatorname{tg} \alpha)}{l^2}. \quad (2)$$

Экспериментальная часть. Для различных высот H_i снимаем серию измерений и заполняем таблицу.

Таблица 14

H_i , см	20	24	28	32	36	40
l_1						
l_2						
l_3						
l_4						
l_5						
l_6						

График зависимости $y(x)$ должен представлять собой горизонтальную прямую $y \approx 1,8$.

Погрешность не должна превосходить 10%.

Комментарий к результату эксперимента (Для жюри). Момент инерции шарика относительно оси, проходящей через его центр масс равен $J = \frac{2}{5}mR^2$.

Расстояние от горизонтальной оси, проходящей через центр масс шарика до точки касания желоба шариком равно $R/\sqrt{2}$. Скорость центра масс, катящегося шарика, равна $v_c = \omega R/\sqrt{2}$. По теореме Гюйгенса-Штейнера момент инерции шарика, относительно линии AA, проходящей через точки касания желоба шариком, равен $J_{AA} = \frac{2}{5}mR^2 + m(R/\sqrt{2})^2 = \frac{9}{10}mR^2$. Из закона

сохранения энергии $mgH = \frac{J_{AA}\omega^2}{2} = \frac{\omega^2}{2} \frac{9}{10}mR^2 = \frac{9}{5} \frac{mv_c^2}{2}$. Отсюда найдем ту часть кинетической энергии шарика, которая обусловлена его поступательным движением: $K_{\text{пост}} = \frac{1}{2}mv_c^2 = \frac{5}{9}mgH$. Отношение $k \cos^2 \alpha = \frac{\Delta\Pi}{K_x} = \frac{9}{5} = 1,8$. Фактически, из-за наличия трения, кинетическая энергия оказывается несколько меньше теоретического значения, а коэффициент $k \cos^2 \alpha > 1,8$.

Критерии оценивания

Получено выражение (1)	4 балла
Получено выражение (2)	1 балл
Снята серия (5 - 6) измерений и заполнена таблица 1	5 баллов
По 1 баллу за каждое измерение (если измерений больше 5 – то ставим 5 баллов)	
Построен график $k \cos^2 \alpha$ от H	3 балла
Найдено среднее значение коэффициента $k \cos^2 \alpha$	1 балл
Оценена погрешность коэффициента $k \cos^2 \alpha$	1 балл

10 класс

Задание. Соль (хлорид натрия)

Оборудование: Цилиндр измерительный объемом 100 мл, пробирка, стакан с водой, шприц, 2 комплекта порошка поваренной соли (в комплект входит три порции поваренной соли (NaCl) массой 5г, 10г, 20г.), бумажные салфетки.

Указание: Перед началом работы тщательно **продумайте** последовательность ваших действий. При выполнении работы описывайте, что вы делали. Для выполнения задания используйте **только один комплект**. Второй комплект вам выдан для проведения пробного эксперимента. Дополнительные порции соли выдаваться не будут. Плотность воды $\rho_{\text{в}} = 1,0 \text{ г/см}^3$.

1. Определите плотность $\rho_{\text{п}}$ порошка хлорида натрия.
2. Определите соотношение масс соли и воды ($\alpha = M_{\text{с}}/M_{\text{в}}$) в насыщенном растворе поваренной соли при комнатной температуре (известно, что $\alpha < 0,5$).

Примечание 1: насыщенным раствором называется **жидкость** в которой перестает растворяться соль.

3. Определите плотность $\rho_{\text{к}}$ кристаллов хлорида натрия.
4. Чему равно расстояние a между центрами соседних атомов натрия и хлора (приведите расчётную формулу)? Молярная масса натрия 23 г/моль, молярная масса хлора 35 г/моль.
5. Оцените погрешность в определении α , $\rho_{\text{п}}$, $\rho_{\text{к}}$, a .

Примечание 2: 1) На рисунке представлена кристаллическая решетка хлорида натрия, в которой атомы натрия и хлора чередуются по всем направлениям в пространстве.

2) Число Авогадро $N_{\text{А}} = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$.



Указание для организаторов: рекомендуется использовать соль «экстра» мелкого помола.

Порции соли должны быть отмерены с точностью $\pm 0,1$ г.

Шприц рекомендуем брать объемом 20 мл с ценой деления 1 мл.

Цилиндр измерительный объемом 100 мл, должен быть узким, с ценой деления 1 мл/дел.

Емкость стакана с водой 0,2 – 0,5 л.

Возможное решение

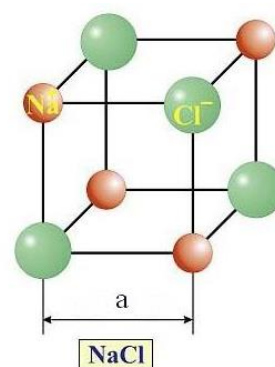
Кармазин С., Чжан М.

1. Для определения плотности порошка соли навеску массой 20 грамм следует высыпать в мерный стакан и измерить объем этого количества соли. Организаторам следует заранее определить плотность порошка той партии соли, которая используется в эксперименте. Ориентировочно, ($1100 < \rho < 1200$) кг/м³.

2. Для определения отношения α масс соли и воды в насыщенном растворе высыпая навеску соли массой 5 грамм в пробирку и добавляем фиксируемые порции воды с помощью шприца. Дискретность (шаг) добавляемых порций воды выбирается участником олимпиады самостоятельно. После каждого добавления воды тщательно перемешиваем раствор. Теоретически процедура должна продолжаться до полного исчезновения кристалликов соли в воде. Однако, в соли может находиться некоторое небольшое количество посторонних нерастворимых примесей. Поэтому добиваться абсолютно полного исчезновения осадка не целесообразно. Эксперимент следует продолжать до тех пор, пока количество кристалликов в осадке не изменится при очередном добавлении 1 мл воды. Табличное значение $\alpha = 0,36$. Практически, удовлетворительным результатом следует считать $0,32 < \alpha < 0,35$.

3. Для определения плотности кристаллов хлорида натрия, находящуюся в мерном стакане порцию соли следует залить небольшим количеством воды. Туда же можно вылить содержимое пробирки. В любом случае, необходимо обеспечить насыщенность раствора в мерном стакане, т.е. наличие в нем достаточного количества нерастворенной соли. В этом состоянии фиксируется объем содержимого в стакане. Затем в мерный стакан высыпается навеска соли массой 20 грамм и снова фиксируется объем содержимого. Необходимо, чтобы уровень воды в мерном цилиндре был выше уровня соли. Так как добавленная соль не может раствориться в насыщенном растворе, ее объем равен разности полученных объемов. Табличное значение плотности NaCl $\rho = 2165$ кг/м³.

4. В ячейку кристалла, ребро которой равно расстоянию между центрами атомов натрия и хлора, входит 4 восьмых части атома хлора и 4 восьмых части



атома натрия (см. рисунок), т.е. в ячейку входит по половине того и другого атома. Таким образом масса этой ячейки равна половине суммы масс атомов натрия и хлора $m = \frac{1}{2}(M_1 + M_2)/N_0$, где M_1 и M_2 – молярные массы натрия и хлора соответственно, а N_0 – число Авогадро. Объем этой ячейки равен кубу ребра a . Плотность равна отношению массы к объему. Используя плотность, полученную в пункте 3, вычисляем значение расстояния a . Табличное значение $a = 0,281$ нм.

Критерии оценивания.

- | | | |
|-----------|--|-----------------|
| 1. | Определена плотность порошка поваренной соли | 2 балла |
| а) | обоснование метода | 0,5 балла |
| б) | результаты измерений | 0,5 балла |
| в) | попадание в узкие ворота (1,1 – 1,2) г/см ³ | 1 балл |
| | широкие ворота (1,0 – 1,3) г/см ³ | 0,5 балла |
| 2. | Определено отношение α масс соли и воды в насыщенном растворе NaCl | 4 балла |
| а) | обоснование метода | 2 балла |
| б) | результаты измерений | 0,5 балла |
| в) | попадание в узкие ворота (0,32 – 0,35) | 1,5 балла |
| | широкие ворота (0,30 – 0,37) | 0,5 балла |
| 3. | Определена плотность кристаллического NaCl | 5 баллов |
| а) | обоснование метода | 1,5 балла |
| б) | результаты измерений | 0,5 балла |
| в) | попадание в узкие ворота (2,1 – 2,2) г/см ³ | 3 балла |
| | средние ворота (2,0 – 2,3) г/см ³ | 2 балла |
| | широкие ворота (1,8 – 2,5) г/см ³ | 1 балл |
| 4. | Определено расстояние между атомами Na и Cl | 3 балла |
| | За правильные теоретические выкладки, позволяющие найти расстояние a ставить | 2 балла |
| 5. | Оценка погрешностей | 1 балл |

Примечание 1: Числовые значения плотности соли зависят от степени очистки соли заводом изготовителем, поэтому организаторам олимпиады необходимо проделать эксперименты самостоятельно и получить **свои** значения.

Примечание 2: за отсутствие единиц измерений в ответе на любой вопрос снимается 1 балл.

11 класс

Задание. Качение шарика

Оборудование: алюминиевый желоб (уголок), штатив с лапкой, металлический шарик, лист линованной бумаги, копировальная бумага, миллиметровая бумага, рулетка (или линейка длиной 50 см), крышка от картонной коробки (для ограничения области перемещения шарика по столу), скотч (по требованию).

1) **Задание:** Соберите установку, аналогичную приведенной на фотографии. Отметьте на желобе точку «старта». Установите уголок так, чтобы точка «старта» оказалась над нижним краем желоба на высоте $H \approx 20$ см (рис. 1). Нижний край желоба должен располагаться на расстоянии $h \approx 15 - 20$ см от поверхности стола. Установите шарик в точку «старта». Предоставьте шарiku возможность скатиться по желобу и определите расстояние l по горизонтали, которое шарик пролетел.



2) Проведите аналогичные измерения для 6 – 7 различных значений высоты H при одной и той же точке «старта». Для каждой высоты H проведите несколько измерений и усредните результаты.

Полученные данные занесите в таблицу.

3) Обозначьте через $\left(E_x = \frac{mv_x^2}{2}\right)$ ту

часть кинетической энергии шарика, которая обусловлена его поступательным движением вдоль горизонтальной оси X в момент отрыва шарика от желоба.

4) Обозначьте символом $\Delta\Pi$ изменение потенциальной энергии шарика при его скатывании по желобу с высоты H .

5) Введите коэффициент $k = \Delta\Pi / E_x$. Пусть α – угол наклона желоба относительно горизонта.

6) Выразите коэффициент k через параметры установки: $l, h, H, \operatorname{tg}(\alpha)$.

7) Постройте график зависимости $y(x)$, где $y = k \cos^2 \alpha$, а $x = H$. В предположении, что $y = ax + b$, определите коэффициенты a и b , Оцените погрешность полученных значений.

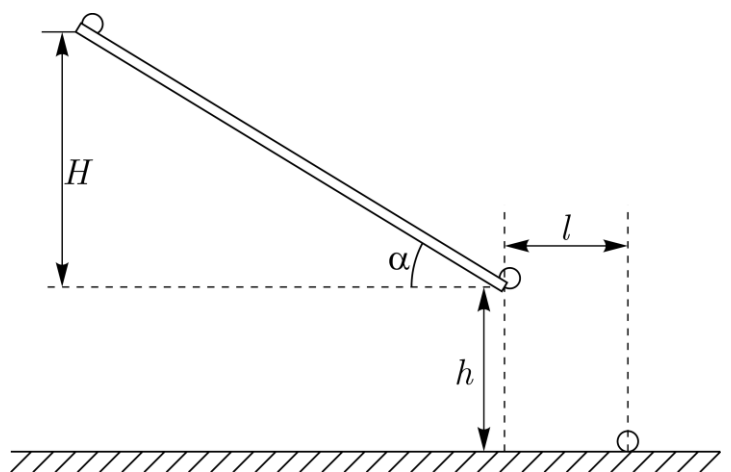


Рис. 1

Рекомендации организаторам

- 1) В качестве желоба возьмите алюминиевый уголок 30 мм х 30 мм или 40 мм х 40 мм длиной $L \approx 70$ см.
- 2) Шарик следует брать диаметром 7 – 20 мм. Он может быть как металлическим, так и изготовленным из поделочного камня (бусы).
- 3) Для фиксации на столе места падения шарика, участникам олимпиады следует выдать пластину из ламината или деревянную дощечку примерно того же размера (картон мягкий и для этой цели не годится). На ламинате участники олимпиады скотчем закрепляется лист линованной бумаги поверх которого кладут лист копировальной бумаги (см. фотографию установки). Лист ламината следует поместить в крышку от картонной коробки (например, от коробки для бумаги формата А4). Это нужно для того, чтобы шарик не укатился со стола.

Возможное решение

Слободянин В.

Теоретическая часть. Пусть сразу после отрыва от желоба шарик имел скорость v и упал на стол на расстоянии l от края желоба (рис. 1). Проекция его скорости на горизонтальное направление равна $v_x = v \cos \alpha$, а на вертикальное – $v_y = v \sin \alpha$. Здесь α – угол, который образует желоб с горизонтальной плоскостью. Время свободного падения шарика $t = l / v_x$. В проекции на вертикальную ось движение шарика удовлетворяет уравнению:

$$h = v_y t + \frac{gt^2}{2} = l \frac{v_y}{v_x} + \frac{g}{2} \frac{l^2}{v_x^2} = l \operatorname{tg} \alpha + \frac{g}{2} \frac{l^2}{v_x^2}.$$

Из этого уравнения получаем выражение для кинетической энергии шарика, обусловленное его поступательным движением вдоль оси X :

$$m \frac{v_x^2}{2} = \frac{mgl^2}{4(h - l \operatorname{tg} \alpha)}. \quad (1)$$

Изменение потенциальной энергии шарика при его скатывания по желобу с высоты H : $\Delta\Pi = mgH$.

Отсюда находим искомый коэффициент

$$k = \frac{4H(h - l \operatorname{tg} \alpha)}{l^2}. \quad (2)$$

Экспериментальная часть. Для различных высот H_i снимаем серию измерений и заполняем таблицу.

Таблица 14

H_i , см	20	24	28	32	36	40
l_1						
l_2						
l_3						
l_4						
l_5						
l_6						

График зависимости $y(x)$ должен представлять собой горизонтальную прямую $y \approx 1,8$.

Погрешность не должна превосходить 10%.

Комментарий к результату эксперимента (Для жюри). Момент инерции шарика относительно оси, проходящей через его центр масс равен $J = \frac{2}{5}mR^2$.

Расстояние от горизонтальной оси, проходящей через центр масс шарика до точки касания желоба шариком равно $R/\sqrt{2}$. Скорость центра масс, катящегося шарика, равна $v_c = \omega R/\sqrt{2}$. По теореме Гюйгенса-Штейнера

момент инерции шарика, относительно линии AA, проходящей через точки касания желоба шариком, равен $J_{AA} = \frac{2}{5}mR^2 + m(R/\sqrt{2})^2 = \frac{9}{10}mR^2$. Из закона

сохранения энергии $mgH = \frac{J_{AA}\omega^2}{2} = \frac{\omega^2}{2} \frac{9}{10}mR^2 = \frac{9}{5} \frac{mv_c^2}{2}$. Отсюда найдем ту часть

кинетической энергии шарика, которая обусловлена его поступательным движением: $K_{\text{пост}} = \frac{1}{2}mv_c^2 = \frac{5}{9}mgH$. Отношение $k \cos^2 \alpha = \frac{\Delta\Pi}{K_x} = \frac{9}{5} = 1,8$. Фактически,

из-за наличия трения, кинетическая энергия оказывается несколько меньше теоретического значения, а коэффициент $k \cos^2 \alpha > 1,8$.

Критерии оценивания

Получено выражение (1)	4 балла
Получено выражение (2)	1 балл
Снята серия (5 - 6) измерений и заполнена таблица 1	5 баллов
По 1 баллу за каждое измерение (если измерений больше 5 – то ставим 5 баллов)	
Построен график $k \cos^2 \alpha$ от H	3 балла
Найдено среднее значение коэффициента $k \cos^2 \alpha$	1 балл
Оценена погрешность коэффициента $k \cos^2 \alpha$	1 балл

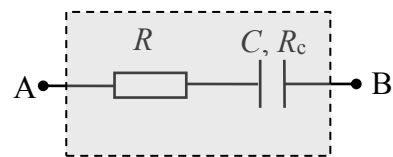
11 класс

Задание. Конденсатор с утечкой

Оборудование: «серый ящик», мультиметр, секундомер.

Схема «серого ящика» приведена на рисунке.

Резистор R , последовательно соединённый с «полупробитым» конденсатором ёмкостью C и сопротивлением утечки R_c .



Задание:

Определить значения R , R_c и C элементов серого ящика. Оцените погрешность полученных значений.

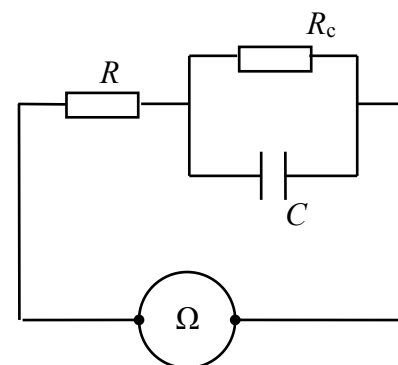
Указание 1: в мультиметре имеется встроенная батарейка с фиксированной ЭДС. В режиме омметра прибор измеряет падение напряжения U_x на неизвестном резисторе R_x и на дисплее отображает значение $R_x \sim U_x$. Все измерения омметром рекомендуется проводить в одном диапазоне «2М» (два мегаОма).

Указание 2: внутреннее сопротивление мультиметра в режиме амперметра много меньше сопротивлений R и R_c , а в режиме вольтметра – может быть сравнимо по порядку величины с сопротивлением утечки.

Рекомендации организаторам

Содержимое серого «ящика» не должно быть видно участникам тура. Номиналы элементов следует закрасить или стереть. Резисторы с конденсатором можно поместить в пластмассовую коробку (например, мыльницу или, в крайнем случае, коробок из-под спичек, который нужно тщательно заклеить со всех сторон). Желательно, на коробке разместить выходные клеммы.

1. Сопротивление резистора $R \sim 50 - 100$ кОм.
2. Сопротивление утечки моделируется резистором $R_C \sim 400 - 500$ кОм, подключенным параллельно конденсатору.



3. Емкость конденсатора $C \sim 350 - 400$ мкФ (используйте электролитический конденсатор, так как обычный конденсатор такой ёмкости, как правило, имеет внушительные размеры и стоит дороже).
4. Секундомер – желательна модель с памятью промежуточных этапов.
5. Мультиметр (у которого не должно быть режима измерения ёмкости, модель типа М-830В).

Эквивалентная схема «серого ящика» (конденсатор с утечкой + резистор R), подключенного к омметру « Ω » показана на рисунке.

Возможное решение

Метод № 1 (По скорости заряда конденсатора)

1. Эквивалентная схема «серого ящика» (конденсатор с утечкой + резистор R), подключенного к омметру « Ω » показана на рисунке.

2. Снимаем зависимость $R(t)$ показаний омметра от времени (см. таблицу).

В начальный момент времени $U_c = 0$ и омметр показывает сопротивление $R(0) = R$.

При малых временах, когда напряжение на конденсаторе мало, практически весь ток омметра идёт через конденсатор:

$$I_c \approx I_0 \quad (I_R \ll I_c),$$

При этом напряжение на конденсаторе изменяется по закону:

$$U_c = q/C \approx tI_0/C.$$

Начальный участок зависимости $R(t)$ показаний омметра от времени имеет вид:

$$R(t) = R + t/C.$$

По начальному участку зависимости $R(t)$ (см. график) определяем R и C , а также их погрешности.

Примечание. Емкость электролитического конденсатора зависит от частоты и принимает максимальное значение на низких частотах. В связи с этим измеренное в работе значение емкости конденсатора может отличаться в большую сторону от значения, указанного на корпусе.

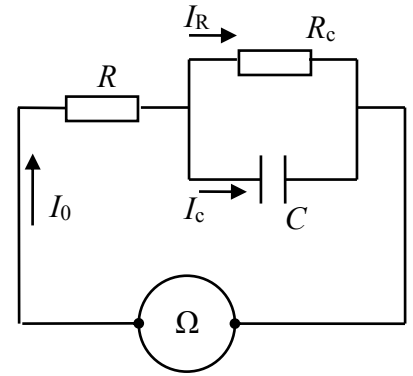
При больших временах конденсатор полностью заряжен, и весь ток идёт через сопротивление R_c , а показания омметра стремятся к константе (см. график)

$$R(\infty) = R + R_c.$$

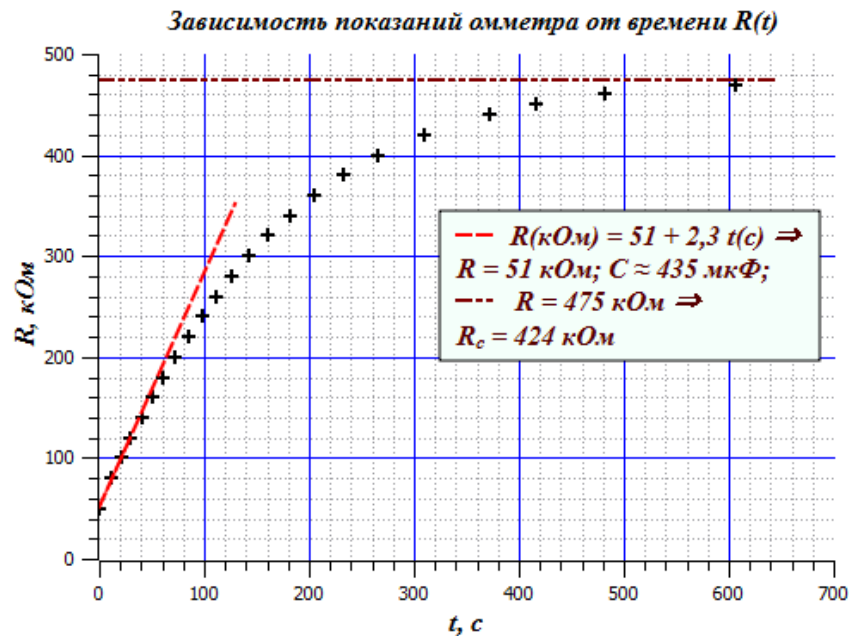
Следовательно, сопротивление утечки:

$$R_c = R(\infty) - R.$$

Гуденко А.



Показания омметра от времени $R(t)$	
R , кОм	t , с
50	0
80	12
100	20,7
120	30,3
140	40,3
160	50,2
180	61,2
200	72,5
220	84,8
240	97,6
260	111,6
280	126,6
300	142,7
320	161,0
340	181,5
360	204,8
380	233,1
400	266,3
420	310,1
440	371,5
460	482,0
470	606,1
475	∞



Метод № 2 (По скорости разряда конденсатора)

1. Эквивалентная схема «серого ящика» (конденсатор с утечкой R_C + резистор R), подключенного к омметру « Ω » показана на рисунке.

2. Перед измерениями разряжаем конденсатор. Для этого замыкаем выходы «серого ящика» мультиметром в режиме амперметра и дожидаемся нулевых показаний прибора.

3. Переходим в режим омметра и измеряем сопротивление в начальный момент времени $R(0) = R$. По истечении времени $T \sim 10$ минут, когда показания омметра практически перестают изменяться (конденсатор полностью заряжен) измеряем $R(\infty) = R + R_C$. Сопротивление R_C находим по формуле: $R_C = R(\infty) - R(0)$.

4. Переключаем мультиметр в режим амперметра и снимаем зависимость показаний амперметра от времени $I(t)$. Начальный участок этой зависимости имеет вид

$$I(t) = I_0(1 - t/R_{II}C), \text{ где } 1/R_{II} = 1/R + 1/R_C.$$

Касательная к начальному участку зависимости $I(t)$ отсекает на оси абсцисс (ось t) величину $\tau = R_{II}C \rightarrow C = \tau/R_{II}$.

Система оценивания:

1. Предложен метод определения искомых величин (теория) **2 балла**
2. Заполнена таблица $R(t)$ **3 балла**
3. Построен график $R(t)$ – оформлены оси, правильно выбран масштаб, правильно нанесены экспериментальные точки и проведена гладкая кривая **3 балла**
4. Определено значение R **2 балла**
 - а) числовое значение попало в 10% ворота 2 балла
 - б) числовое значение попало в 20% ворота 1 балл
5. Определено значение C **2 балла**
 - а) числовое значение попало в 10% ворота 2 балла
 - б) числовое значение попало в 20% ворота 1 балл
6. Определено значение R_C **2 балла**
 - а) числовое значение попало в 10% ворота 2 балла
 - б) числовое значение попало в 20% ворота 1 балл
7. Корректно оценена погрешность R , R_C и C **1 балл**