

10 класс

Задание 1. 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.

Решение

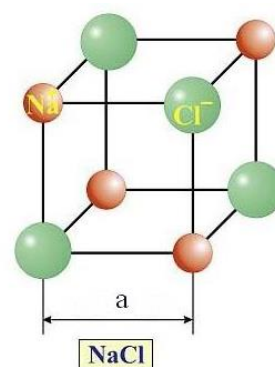
Кармазин С., Чжан М.

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 |

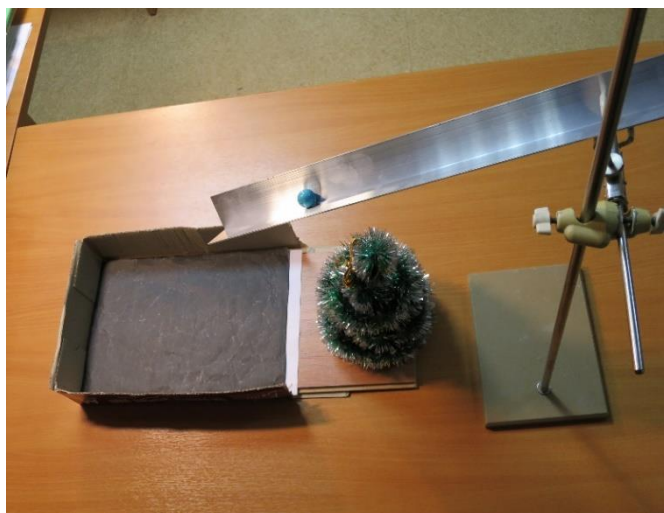
Примечание: за отсутствие единиц измерений **в ответе** на любой вопрос снимается 1 балл.

10 класс

Задание 2. 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.

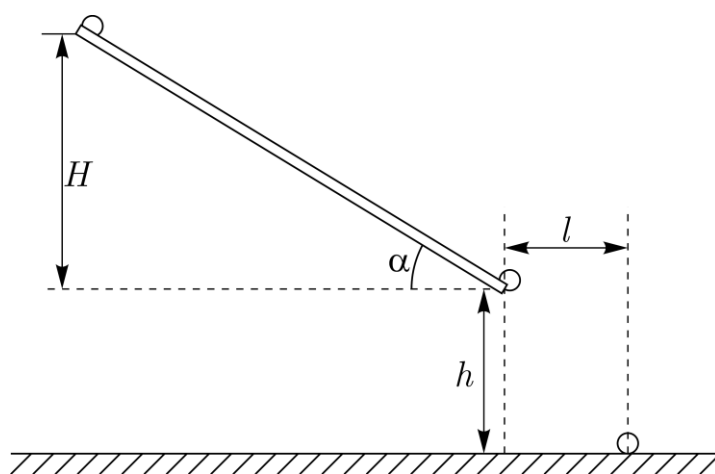


Рис. 1

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 |
|---------------------|----|----|----|----|----|----|
| h_1 | | | | | | |
| h_2 | | | | | | |
| h_3 | | | | | | |
| h_4 | | | | | | |
| h_5 | | | | | | |
| h_6 | | | | | | |
| $H_{\text{средн.}}$ | | | | | | |

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 $k \cos^2 \alpha > 1,8$.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ТУР

Критерии оценивания

| | |
|--|-----------------|
| Получено выражение (1) | 4 балла |
| Получено выражение (2) | 1 балл |
| Снята серия (5 - 6) измерений и заполнена таблица 1 По 1 баллу за каждое измерение (если измерений больше 5 – то ставим 5 баллов) | 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 |