

**Решения заданий заключительного этапа
Олимпиады «Ломоносов» по инженерным наукам 2018/2019
10-11 классы**

Задача 1.3 (25 баллов)



Рисунок 1

В упрощенном виде схему рефрактометра можно представить так, как показано на рисунках (рис. 1 и 2). Свет от источника, находящегося на левой грани призмы, через призму, изготовленную из стекла с показателем преломления $n_{ст} = 2$, попадает на поверхность исследуемого раствора и, в зависимости от того, достигнут ли угол полного внутреннего отражения или нет, либо полностью отражается от поверхности, либо частично попадает в

раствор. Положение границы света и тени зависит от показателя преломления раствора.

В качестве исследуемого раствора взяли раствор, содержащий 56,8 г воды и 14,2 г хлорида кальция, и зафиксировали положение границы света и тени. Затем в раствор добавили гексагидрат хлорида кальция, содержащий 0,53 г водорода. Оцените, на какое расстояние сместится граница света и тени. Зависимость показателя преломления водного раствора хлорида кальция от его концентрации представлена на графике (рис. 3).

Данные, необходимые для решения задачи, указаны на рисунке 2: $a = 3$ см, $b = 4$ см, $\alpha = 45^\circ$.

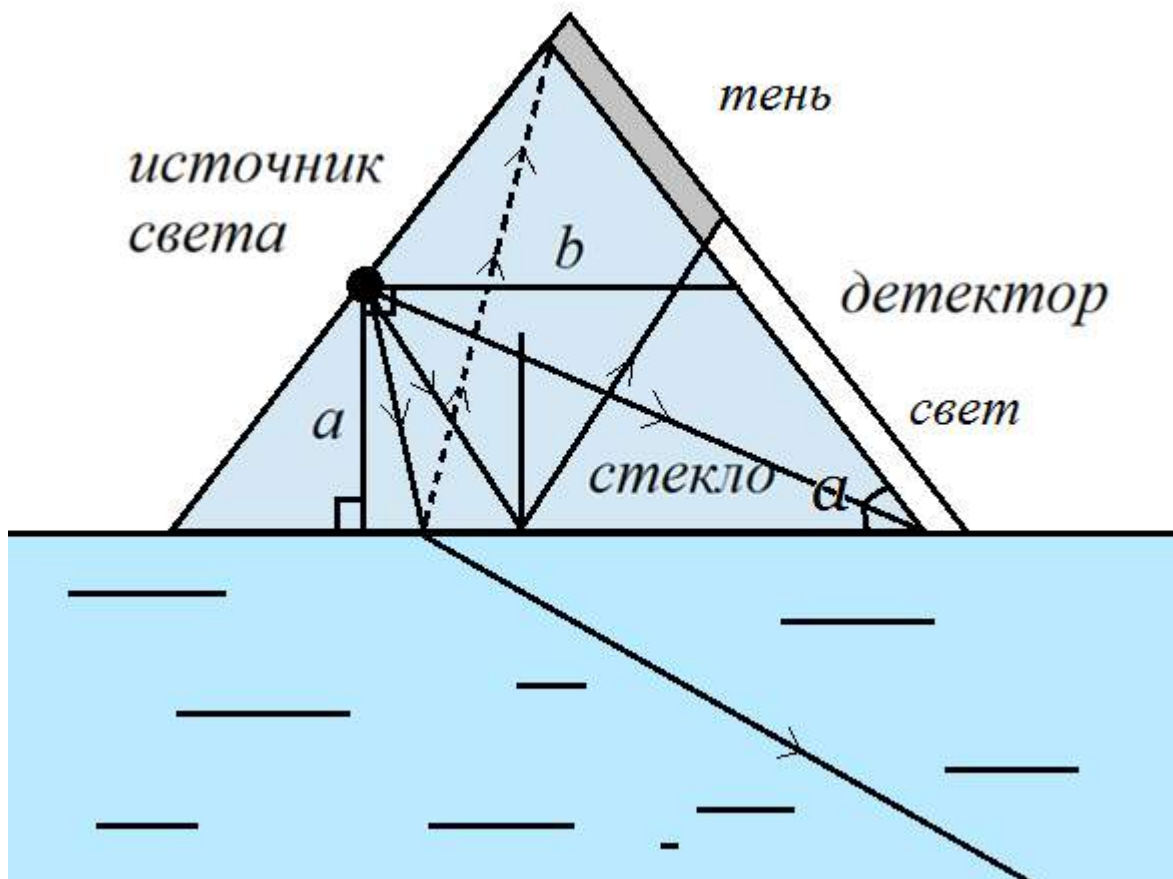


Рисунок 2

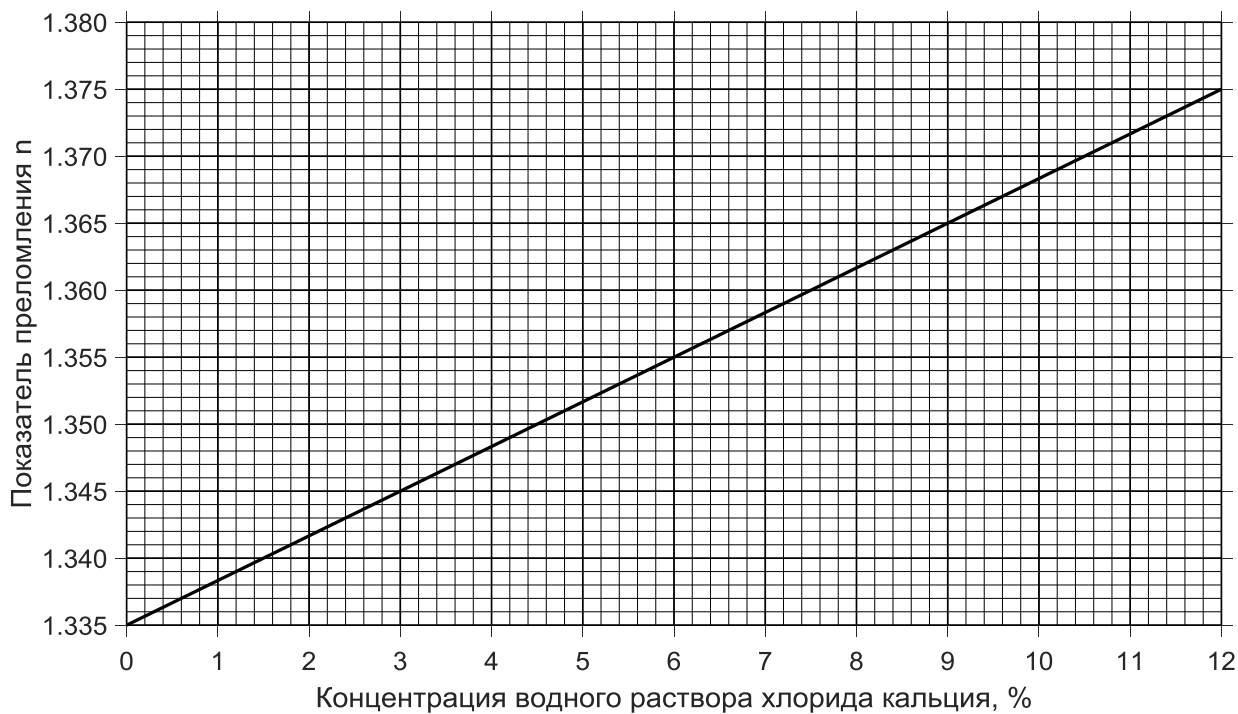
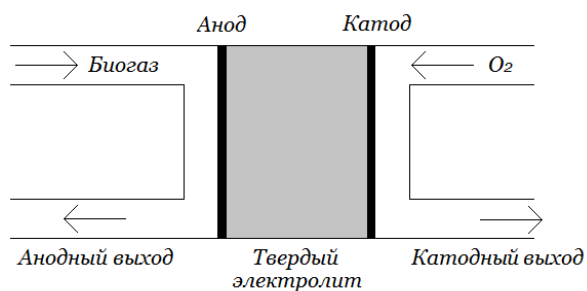


Рисунок 3

Задача 2.1 (25 баллов)

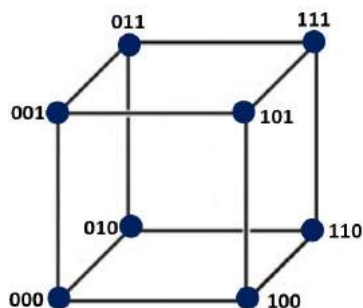


При работе твердооксидного топливного элемента в нем происходит процесс полного окисления биогаза (87% метана и 13% углекислого газа по массе). Средняя рабочая температура топливного элемента составляет $800\text{ }^{\circ}\text{C}$. Реакции в твердооксидном топливном элементе идут на пористых электродах (аноде и катоде), разделенных слоем твердого электролита,

через который могут проходить только двухвалентные ионы кислорода. На анод поступает биогаз, а на катод – кислород. Выход реакции на аноде составляет 85%. Запишите уравнение реакции, которая идет в топливном элементе. Запишите уравнения процессов, протекающих на аноде и катоде. Определите состав газовой смеси на анодном выходе топливного элемента.

Задача 3.1 (25 баллов)

Кристаллические вещества состоят из правильно уложенных в пространстве одинаковых параллелепипедов, называемых элементарными ячейками. Все элементарные ячейки устроены абсолютно одинаково: каждая из них содержит одинаковое число одинаково расположенных атомов (ионов) каждого вида и может быть получена из какой-либо одной элементарной ячейки путём некоторого набора параллельных переносов вдоль трёх направлений, задаваемых сторонами параллелепипеда, на расстояния, кратные длинам этих сторон. Совокупность всех точек, в которых находятся атомы кристалла, называется кристаллической решёткой данного вещества. Будем называть кристаллы, у которых элементарная ячейка имеет форму куба, кубическими. Для таких кристаллов удобно выбрать систему прямоугольных координат с началом в вершине одного из кубов, представляющих элементарную ячейку, и взять в качестве единицы длины сторону a куба. Тогда описывать положение того или иного атома кристалла можно с помощью трёх безразмерных координат (x, y, z) атома. Ясно, что получить полное представление об атомной структуре кристалла можно, указав положения всех атомов, входящих в одну из элементарных ячеек, например, всех атомов с координатами, удовлетворяющими условиям $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, $0 \leq z \leq 1$. Элементарная ячейка простейшего кубического кристалла, содержащего один атом на элементарную ячейку, приведена на рисунке: атомы находятся в вершинах куба и для каждой вершины указаны её координаты. В такую структуру кристаллизуется полоний. Если условно представлять себе атомы как шары, то внутри куба лежит одна восьмая часть каждого из шаров, расположенных во всех восьми вершинах куба, как показано на рисунке.



Пусть вещество X является кубическим кристаллом, состав элементарной ячейки которого описывается формулой ABO_2 , где A и B – атомы металлов со степенями окисления +1 и +3 соответственно, а O – кислород. Допустим, что атомы в кристаллической решётке X имеют следующие координаты: A : $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2})$, B : $(0, 0, 0)$; $O(1)$: $(\frac{1}{2}, 0, 0)$; $O(2)$: $(0, \frac{1}{2}, 0)$

(здесь O(1) и O(2) – атомы кислорода, занимающие два различных положения внутри элементарной ячейки).

- Изобразите графически элементарную ячейку кристаллической решётки вещества X.
- Определите расстояния A–O, A–B, если известно, что расстояние B–O = $2 \cdot 10^{-10}$ м.
- Какое координационное число (количество ближайших атомов кислорода, окружающих атом металла) будет иметь металл B? Какую геометрию (форму) будет иметь это окружение?
- Какую степень окисления будет иметь металл B, если 5% атомов кислорода в X заменить на фторид-анион F⁻ (считать, что степень окисления A неизменна).

Задача 4.2 (25 баллов)

Акробаты Роман и Элина показывают трюк на качелях. В начальный момент времени Элина стоит правом конце качелей, касающемся земли в точке B, а Роман заходит на качели в точке A с длинного помоста, расположенного на той же высоте, что и левый конец качелей (см. рисунок). После этого конец A качелей опускается и ударяется о землю, Элину при этом подбрасывает в воздух, после чего она приземляется на помосте, с которого сошел Роман. При каком начальном значении угла наклона качелей Элина приземлится на наибольшем расстоянии от точки отрыва от качелей? Длину качелей считайте фиксированной, массой качелей пренебрегите, $|AO| = |OB|$.