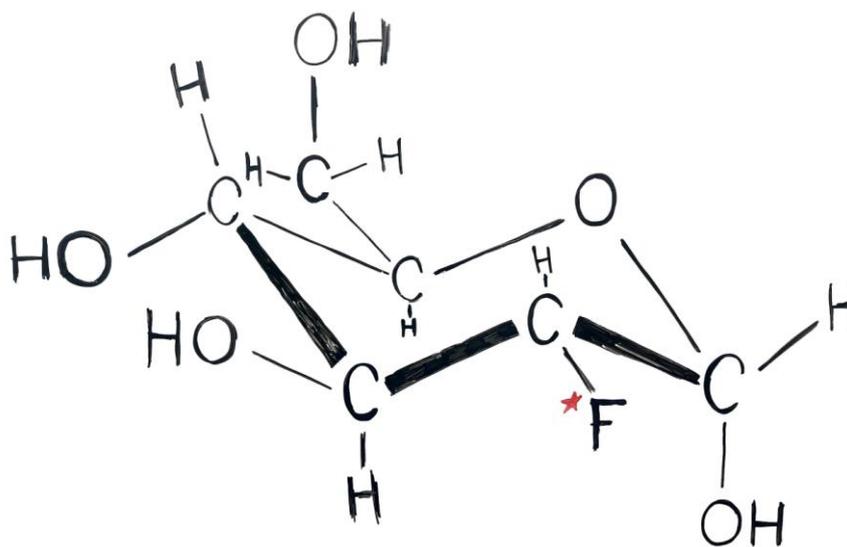


## Задания и решения первого заочного отборочного тура Химической олимпиады имени Германа Гесса 2024.

**Методическое указание для первого тура:** при расчетах используйте значения стандартных атомных масс из приведенной таблицы Менделеева, округленные до десятых.

### Задача 1. Наскальная химопись – 2

Одним из интересных использований радиоактивных атомов является производство на их основе радиофармацевтических препаратов. На рисунке приведена структурная формула одного из таких препаратов, который используется в позитронно-эмиссионной томографии для исследования внутренних органов человеческого тела. В приведенной ниже молекуле атом фтора является необычным; это радиоактивный изотоп фтор-18, который подвергается  $\beta^+$ -распаду, что и обуславливает его применение в ПЭТ.



1. Определите молярную массу приведенного соединения.
2. Определите суммарное количество протонов в этой молекуле.
3. Определите суммарное количество нейтронов в данной молекуле.

В качестве ответа приведите молярную массу с точностью до десятых и количество протонов и нейтронов в виде натуральных чисел. Пример: 123,4; 13; 15

### Решение

На рисунке изображена структурная формула фтордезоксиглюкозы —  $C_6H_{11}O_5^{18}F$ .

Молярная масса составляет:  $M_{\text{фтордезоксиглюкозы}} = 6 \cdot 12,0 + 11 \cdot 1,0 + 5 \cdot 16,0 + 18,0 = 181,0$

Количество протонов:  $N_p = 6 \cdot 6 + 11 \cdot 1 + 5 \cdot 8 + 1 \cdot 9 = 96$

Количество нейтронов:  $N_n = 181 - 96 = 85$

**Ответ:** 181,0; 96; 85

### Задача 2. Диета Барби

Вас отправили в магазин с четким указанием принести творог с 5% жирности (то есть 5% по массе такого творога — жиры). Однако в магазине был лишь 9% творог и обезжиренный, 0% творог. Хорошо, что у вас дома есть весы! Сколько надо взять 9% и обезжиренного творога, чтобы получить 450 г творога с 5% жирности?

В ответе приведите массы в граммах 9% и обезжиренного творога соответственно с точностью до целых. Пример: 123; 322

#### Решение

Добавление обезжиренного творога к 9% приводит к его «разбавлению». Осталось понять, во сколько раз надо разбавить 9% творог, чтобы он превратился в 5%.

$$450 \cdot 0,05 = x \cdot 0,09 \quad (\text{где } x \text{ — масса 9\% творога, который надо взять})$$

$$x = 450 \cdot 5 / 9 = 250$$

Тогда масса обезжиренного творога равна  $450 - 250 = 200$ .

**Ответ:** 250; 200

### Задача 3. Сложить, но не встряхивать

Каждый, кто собирал рюкзак, знает о том, что чем аккуратнее упакуешь вещи — тем больше поместится. Давайте сравним аккуратность упаковки калия в двух соединениях — в металлическом калии и во фториде калия. Плотность фторида калия —  $2,46 \text{ г/см}^3$ , плотность металлического калия —  $0,86 \text{ г/см}^3$ . Во сколько раз количество атомов калия в  $1 \text{ см}^3$  фторида калия отличается от количества атомов в  $1 \text{ см}^3$  металлического калия?

В ответе приведите соотношение  $\frac{\text{количество атомов калия во фториде калия}}{\text{количество атомов калия в металлическом калии}}$  с точностью до десятых.

Пример: 5,8

#### Решение

Посчитаем массы веществ в  $1 \text{ см}^3$  вещества, затем переведем в количества (моли).

$$m_{KF} = \rho_{KF} \cdot V = 2,46 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} \cdot 1 \text{ см}^3 = 2,46 \text{ г}; \quad \nu_{KF} = \frac{2,46}{39,1 + 19} = \frac{2,46}{58,1} = 0,04234 \text{ моль}$$

$$m_K = \rho_K \cdot V = 0,86 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} \cdot 1 \text{ см}^3 = 0,86 \text{ г}; \quad \nu_K = \frac{0,86}{39,1} = 0,02199 \text{ моль}$$

На один моль фторида приходится 1 моль атомов калия, поэтому сопоставлять количество атомов калия можно напрямую поделив количества вещества друг на друга.

$$k = \frac{0,04234}{0,02199} = 1,925 \approx 1,9$$

**Ответ:** 1,9

#### Задача 4. Задача — и точка

Нобелевскую премию по химии в 2023 году вручили за «открытие и синтез квантовых точек» — настолько маленьких кристаллических частиц, что их свойства определяются не столько свойствами вещества, сколько самим размером частиц.

Первые квантовые точки представляли собой невероятно маленькие частицы хлорида меди (I) в матрице силикатного стекла. Мы предлагаем вам рассчитать количество атомов в одной квантовой точке, если она имеет форму шара диаметром 50 Å, а плотность хлорида меди (I) составляет 4,2 г/см<sup>3</sup>.

*Справочная информация:*

Объем шара может быть вычислен по формуле:  $V = \frac{\pi d^3}{6}$ ;

1 Å = 10<sup>-10</sup> м; число Авогадро  $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup>;  $\pi = 3,14159$ .

Для получения корректного ответа выведите формулу количества атомов в общем виде и только затем подставляйте в нее переменные. Ответ приведите в виде целого числа. Пример: 75329

#### Решение

Для того, чтобы посчитать число атомов, надо найти количество вещества CuCl, умножить его на два (два атома в одной структурной единице) и затем умножить на постоянную Авогадро. Количество вещества может быть вычислено через массу и молярную массу CuCl, а масса в свою очередь из данных по размеру частицы и плотности вещества.

$$m_{\text{КТ}} = \rho_{\text{CuCl}} \cdot V_{\text{КТ}} = \frac{\rho_{\text{CuCl}} \pi d^3}{6}$$

Перевод из массы в моли

$$v_{\text{CuCl в одной КТ}} = \frac{\rho_{\text{CuCl}} \pi d^3}{6M_{\text{CuCl}}}$$

Количество атомов в одной квантовой точке:

$$\begin{aligned} N_{\text{атомов в одной КТ}} &= \frac{\rho_{\text{CuCl}} \pi d^3}{6M_{\text{CuCl}}} \cdot 2 N_A = \frac{\rho_{\text{CuCl}} N_A \pi d^3}{3M_{\text{CuCl}}} \\ &= \frac{4,2 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} \cdot 3,14159 \cdot (50 \cdot 10^{-8})^3 \text{ см}^3}{3 \cdot (63,5 + 35,5) \frac{\text{г}}{\text{моль}}} = 3344,21 \approx 3344 \end{aligned}$$

Ответ: 3344

### Задача 5. Подняли полимеры

Вы проводите практическую работу по разделению смеси железа и шариков из оргстекла с помощью метода флотации. Известно, что плотность железа  $7,87 \text{ г/см}^3$ , а плотность оргстекла —  $1,20 \text{ г/см}^3$ .

Вы поместили смесь в 1 литр дистиллированной воды и небольшими порциями при перемешивании досыпаете в воду нитрат аммония, который в ней хорошо растворяется. Когда вы растворили в воде 818 г нитрата аммония, полимерные шарики (оргстекло) всплыли. Какова масса нитрата аммония в 1 литре полученного раствора?

Ответ приведите в граммах с точностью до десятых. Пример: 123,4

### Решение

При добавлении 818 г нитрата аммония в 1 л воды масса раствора стала 1818 г, а вот про объем раствора ничего без расчетов сказать нельзя, поскольку он изменяется при смешивании веществ. Нам известно, что оргстекло в этом растворе всплыло, а это происходит в тот момент, когда плотность материала и жидкости оказываются равны друг другу. Таким образом, можно считать, что у нас есть 1818 г раствора с плотностью  $1,20 \text{ г/см}^3$ . Следовательно, его объем равен:

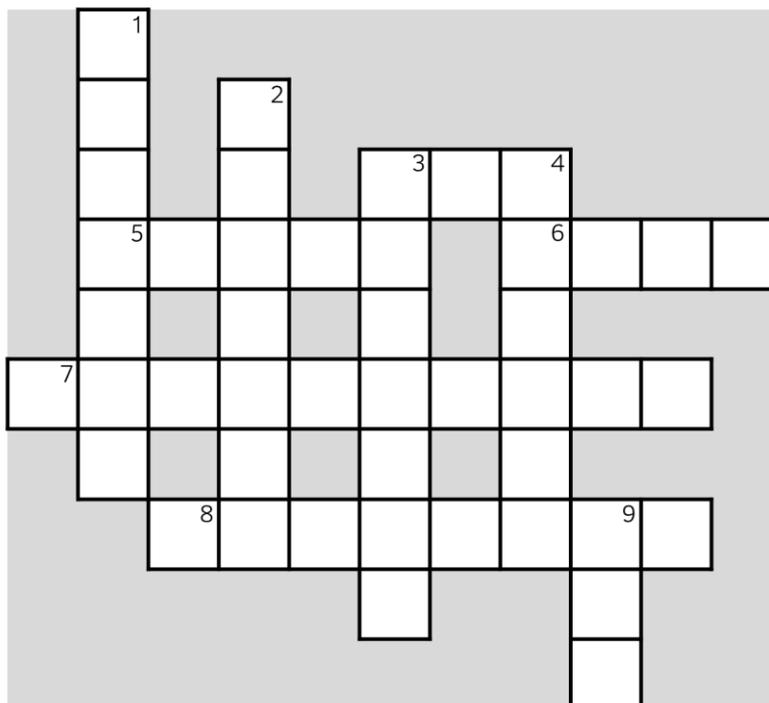
$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{1818 \text{ г}}{1,20 \text{ г/см}^3} = 1515 \text{ см}^3 = 1515 \text{ мл}$$

Получается, что в 1,515 л раствора содержится 818 г нитрата аммония. Остается только посчитать, сколько нитрата аммония содержится в одном литре:

$$818 / 1,515 = 539,934 \text{ г} \approx 539,9 \text{ г}$$

**Ответ:** 539,9

### Задача 6. Классический кроссворд



Вопросы:

- Интересно, что и  $mg=F$  и  $MgF_2$  являются примерами ЕЁ.
- ЭТОТ КЛАСС ВЕЩЕСТВ является достаточно распространённым в химической лаборатории. Но и дома можно найти представителей ЭТОГО КЛАССА ВЕЩЕСТВ: например, в бутылке с уксусом.
- (по горизонтали) Про ЭТОТ ЭЛЕМЕНТ в Интернете можно найти сразу несколько «забавных» определений: это и Милла Йовович, и лес.
- (по вертикали) В химии объёмы жидкостей чаще всего измеряют в миллилитрах или литрах. Но для нефти более распространена именно ЭТА ЕДИНИЦА ИЗМЕРЕНИЯ.
- Радиоактивное ядро за время своего существования может претерпевать несколько ИХ. И разных типов, которые часто обозначаются греческими буквами.
- Тут самый неинтересный вопрос: ЭТО – мера инертности тела.
- ЭТО – химически неделимая электронейтральная частица.
- Графит и алмаз – это пример проявления ЕЁ. Другими примерами являются, например белый и красный фосфор.
- ЭТОТ ЭЛЕМЕНТ был назван в честь одного из самых больших астероидов из главного пояса астероидов.
- ЭТОТ термин самый «блуждающий» среди химических.

Независимо от вопроса, все итоговые ответы находятся в именительном падеже, единственном числе

Решение

1 — формула

2 — кислота

3 по горизонтали — бор

3 по вертикали — баррель

4 — распад

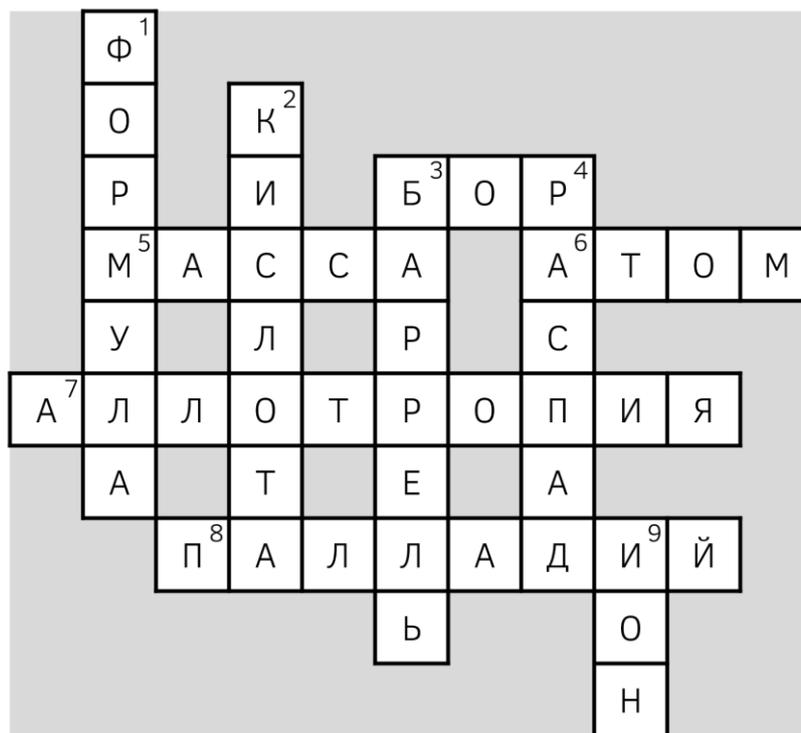
5 — масса

6 — атом

7 — аллотропия

8 — палладий

9 — ион



### Задача 7. Сложные расчеты

Совсем Юный Химик решил поэкспериментировать в домашней лаборатории. Он взял большой поллитровый химический стакан и начал добавлять туда реактивы. Вначале он отмерил с помощью мерного цилиндра 100 мл дистиллированной воды и перелил ее в стакан, затем взвесил на весах 5,0 г медного купороса (пятиводного сульфата меди), высыпал синие кристаллы в стакан и перемешивал до полного растворения. Раствор при этом приобрел синий цвет, что ни капли не удивило Совсем Юного Химика. Затем к полученной смеси он добавил 80 г 2% раствора гидроксида натрия, при этом в растворе образовался голубой осадок, что невероятно образовало молодого экспериментатора. Он отставил стакан с реакционной смесью в сторону и начал замешивать вторую смесь.

Во втором стакане он смешал 100 г 5% раствора азотной кислоты и 8,0 г светло-фиолетового порошка нонагидрата нитрата железа  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9 \text{H}_2\text{O}$ . Порошок растворился в кислоте без остатка, раствор при этом окрасился в желтый цвет.

Напоследок Химик перелил целиком содержимое второго стакан в первый стакан. При этом синий осадок в стакане растворился полностью, а конечный раствор к большому удивлению экспериментатора приобрел лазурно-зеленый цвет.

Определите массу полученного Самым Юным Химиком раствора. Ответ приведите в граммах с точностью до десятых. Пример: 217,2

### Решение

Задача звучит сложно, но на самом деле ее решение довольно простое. Судя по описанию всех протекающих реакций у нас конечный раствор содержит в себе избыток кислоты, который растворяет весь осадок. Дополнительные осадки не образуются, никакие газы не выделяются, а сам вопрос задачи формулируется как «определите массу всего суммарного раствора». Ее легко посчитать, используя закон сохранения массы:  $100 + 5,0 + 80 + 100 + 8,0 = 293,0$  г.

Пояснение всех протекающих реакций и наблюдаемых явлений.

$$v(\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}) = 5,0 / (63,5 + 32,1 + 4 \cdot 16 + 5 \cdot 18) = 5,0 / 249,6 \approx 0,02 \text{ моль}$$

$$v(\text{NaOH}) = 0,02 \cdot 80 / (23 + 16 + 1) = 1,6 / 40 = 0,04 \text{ моль}$$

$$v(\text{HNO}_3) = 0,05 \cdot 100 / (1 + 14 + 3 \cdot 16) = 5 / 63 \approx 0,08 \text{ моль}$$

$$v(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9 \text{H}_2\text{O}) = 8,0 / (55,8 + 3 \cdot (14 + 3 \cdot 16) + 9 \cdot 18) = 8,0 / 403,8 \approx 0,02 \text{ моль}$$



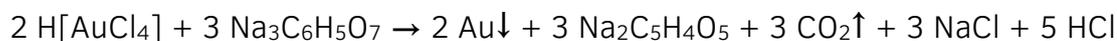
Водные растворы солей  $\text{Cu}^{2+}$  имеют синюю окраску, а при добавлении в них щелочей выпадает синий осадок гидроксида меди.

Кристаллогидрат нитрата железа (III) имеет светло-фиолетовую окраску, а при растворении в воде образует желтые растворы. Добавление к синему осадку гидроксида меди избытка кислоты приводит к растворению этого самого осадка; смешение цветов железа и меди приводит к «позеленению» раствора.

**Ответ:** 293,0

### Задача 8. Позолоти ручку

В середине 1850-х Майкл Фарадей получил интересные растворы, состоящие из золотых наночастиц, которые обладали необычными оптическими свойствами и крайне высокой стабильностью. Среди современных методов получения коллоидного золота есть метод Туркевича — восстановление тетрахлораурат-анионов с помощью цитрат-анионов. Уравнение протекающей при этом реакции выглядит следующим образом:



Обычно тетрахлорзолотоводородная кислота продается в виде тетрагидрата ( $\text{H}[\text{AuCl}_4] \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ ). Вычислите, какую массу наночастиц золота можно получить по этой реакции, если взять 330 мг четырехводной кислоты, и добавить к ее раствору 100 мл 0,05 М раствора цитрата натрия.

Приведите ответ в миллиграммах с точностью до десятых. Пример: 123,4

### Решение

Молярная масса  $\text{H}[\text{AuCl}_4] \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$  составляет:

$$M_{\text{H}[\text{AuCl}_4] \cdot 4 \text{H}_2\text{O}} = 1 + 197 + 4 \cdot 35,5 + 4 \cdot (2 \cdot 1 + 16) = 412 \text{ г/моль}$$

$$\text{Количество вещества } \text{H}[\text{AuCl}_4] \cdot 4 \text{H}_2\text{O} \text{ составляет: } \frac{330 \text{ мг}}{412 \text{ г/моль}} = 0,801 \text{ ммоль}$$

$$\text{Количество цитрата натрия составляет: } \nu_{\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7} = c \cdot V = 0,05 \frac{\text{моль}}{\text{л}} \cdot 0,1 \text{ л} = 5 \text{ ммоль}$$

По стехиометрии из уравнения получается, что цитрат натрия в избытке. Тогда считаем массу золота через недостаток тетрахлорзолотоводородной кислоты:  $m_{\text{Au}} = 197 \cdot 0,801 = 157,797 \text{ мг}$ .

**Ответ:** 157,8

### Задача 9. Запрещенная энергия

Энергетическая ценность запрещенного в ЗИМОВО шоколадного батончика Сникерс составляет 495 ккал (килокалорий) на 100 г. Рассчитайте, какая масса углерода необходима, чтобы достичь такого же количества энергии, как и у батончика массой 80 г, по реакции сгорания (коэффициенты совпадают с количеством вещества):



Подобная запись обозначает, что при реакции 1 моль углерода и 1 моль кислорода с образованием 1 моль  $\text{CO}_2$  выделяется 393,5 кДж тепла.

Примите, что 1 кал = 4,2 Дж.

Приведите ответ в граммах с точностью до десятых. Пример: 393,5

### Решение

Один батончик массой 80 г обеспечивает нас следующей энергией:

$$\frac{80 \text{ г}}{100 \text{ г}} \cdot 495 \text{ 000 кал} \cdot 4,2 \frac{\text{Дж}}{\text{кал}} = 1 \text{ 663 200 Дж} = 1 \text{ 663,2 кДж}$$

При сжигании 1 моль углерода выделяется 393,5 кДж тепла. 1 моль углерода имеет молярную массу 12,0 г/моль. Получается, что на 1 г углерода приходится  $\frac{393,5 \text{ кДж/моль}}{12 \text{ г/моль}}$  тепла. Остается только разделить количество теплоты, которое необходимо получить, на то количество теплоты, которое выделяется при сжигании одного грамма углерода:

$$\frac{1 \text{ 663,2 кДж}}{\frac{393,5 \text{ кДж/моль}}{12 \text{ г/моль}}} = \frac{1 \text{ 663,2 кДж} \cdot 12 \text{ г/моль}}{393,5 \text{ кДж/моль}} = 50,72 \text{ г} \approx 50,7 \text{ г}$$

Ответ: 50,7

### Задача 10. Название съела собака

Элемент К образует потрясающее многообразие соединений с другими элементами таблицы Менделеева и трудно переоценить его значимость для современной промышленности. В этой задаче мы поговорим о соединениях К с кислородом. Все они — ядовитые газы!

При нормальных условиях простое вещество элемента К можно найти в виде прозрачного бесцветного кристалла. Нагревом его в кислороде может быть получено бинарное соединение  $O_1$ . Кстати, первого химика, осуществившего этот процесс, гильотинировали. Для получения вещества  $O_2$  достаточно взять  $O_1$  и очень сильно его нагреть.

Но самый интересное соединение,  $O_3$ , не может быть получено прямой реакцией К и кислорода. Зато, если погреть 1 литр  $O_3$  с 2 литрами кислорода, то вы легко получите в качестве единственного продукта в точности 3 литра  $O_1$ .

Определите молекулярную формулу соединения  $O_3$ .

В качестве ответа запишите формулу вещества с элементами и индексами без пробелов. Пример: U3O8

#### Решение:

Вещество К представляет собой углерод. Это единственный элемент, который при нормальных условиях может представлять собой прозрачный бесцветный кристалл (алмаз). Горение алмаза в кислороде приводит к образованию углекислого газа  $CO_2$  (газ  $O_1$ ). При высоких температурах диоксид углерода может разлагаться с образованием кислорода и угарного газа  $CO$  (газ  $O_2$ ).

Запишем уравнение реакции 1 литра  $O_3$  с 2 литрами кислорода. По условию оно приводит к образованию 3 частей  $CO_2$ .



Справа 3 атома углерода и 6 атомов кислорода. Слева 4 атома кислорода относятся к 2 литрам кислорода. Значит остальные атомы углерода и кислорода в  $O_3$ . А значит формула оксида  $C_3O_2$ .

**Ответ:** C3O2