

--	--	--	--	--	--	--	--

Региональный тур олимпиады по химии 2025/26 уч.г.

9 класс

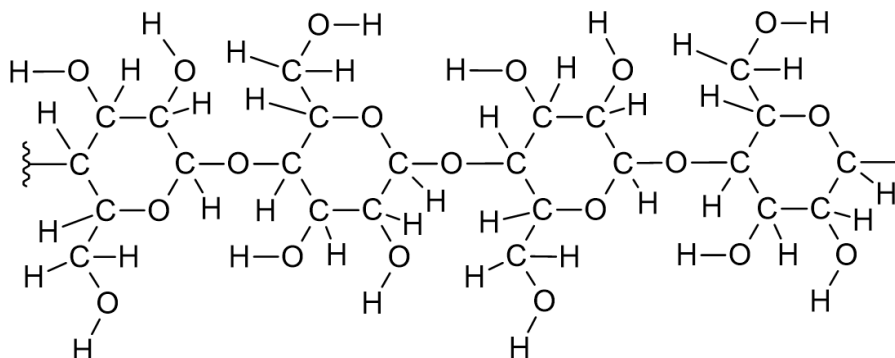
Гран-при: 6-ая задача

Устроим взрыв! (20 б)

Вероятно почти у каждого учителя химии спрашивали, можно ли будет что-то взорвать. Когда к одному учителю в очередной раз обратились с этим вопросом, он решил приготовить для взрыва нитровату, которая состоит из нитроцеллюлозы (нитрата целлюлозы).

Нитроцеллюлоза - это быстро сгорающий материал, который входит в состав пиротехнических смесей и бездымного пороха. В виде нитроваты этот материал популярен в представлениях научных театров, различных опытах и, помимо всего прочего, замечательно подходит для взрывов.

Для изготовления нитроваты хлопок обрабатывается нитрующей смесью, которая обычно состоит из концентрированных азотной и серной кислот. Хлопок состоит из целлюлозы, которая является природным полимером (содержит повторяющиеся структурные единицы - мономерные звенья). Ниже представлена часть структурной формулы молекулы целлюлозы.



Часть структуры молекулы целлюлозы.

- а) Определи коэффициенты x , y и z мономерного звена, если формула целлюлозы $(C_xH_yO_z)_n$, где n это количество мономерных звеньев. (1,5)

$x = \dots\dots\dots y = \dots\dots\dots z = \dots\dots\dots$

В ходе реакции нитрования гидроксильные группы ($-OH$) целлюлозы превращаются в нитратные группы ($-ONO_2$). В зависимости от условий реакции (например концентрации кислот, температуры, времени реакции) получают продукты разного качества. Чем больше гидроксильных групп превратилось в нитратные группы, тем быстрее горит продукт.

Сначала учитель попробовал изготовить нитроцеллюлозу из двух косметических ватных дисков. Он держал их всю ночь в охлажденной смеси 98%-ной серной кислоты и 65%-ной азотной кислоты, затем промыл их и высушил. Для определения успеха реакции нитрования он взвесил

--	--	--	--	--	--	--	--

ватные диски до и после нитрования.

- б)** Сколько гидроксильных групп в одном мономерном звене в среднем превратилось в нитратные группы, если масса хлопка была 1,1019 г и масса полученной из этого хлопка нитроцеллюлозы была 1,740 г? (2)

Предположи, что изменение массы обусловлено только заменой гидроксильных групп на нитратные группы, при очистке не было потерь и побочных реакций не протекало.

Количество нитратных групп ($-\text{ONO}_2$) в одном мономерном звене:

Пиротехнические смеси и взрывчатые вещества очень быстро сгорают, поскольку и топливо (восстановитель), и окислитель входят в состав горючего материала и для горения нужно мало кислорода (либо не нужно вообще). Каждый компонент пиротехнической смеси можно рассматривать как богатый кислородом компонент или богатый топливом компонент. Часто в смесях стараются достигнуть баланса между богатыми топливом компонентами и богатыми кислородом компонентами.

Пировалентный метод (англ. *pyro valence method*) - это простой способ определить богатство кислородом или топливом. В рамках метода предполагается, что в ходе пиротехнической реакции все элементы обладают конкретной степенью окисления, которая соответствует стабильным продуктам сгорания (см. Примеры в таблице ниже).

	Элементы IA группы	Элементы IIA группы	Al, Fe	C, S	N	O	Элементы VIIA группы
Пировалентность	+1	+2	+3	+4	0	-2	-1

Если умножить пировалентность каждого элемента на количество атомов этого элемента в молекуле и полученные числа сложить, то сумма помогает определить, является ли вещество богатым кислородом или топливом. Например полностью нитрованная целлюлоза $(\text{C}_6\text{H}_7\text{N}_3\text{O}_{11})_n$ богата топливом (бедна кислородом), потому что для одного мономерного звена:

$$\text{пировалентность} = 6(+4) + 7(+1) + 3(0) + 11(-2) = +9$$

--	--	--	--	--	--	--	--

- с) Напиши уравнение реакции горения (разложения) мономерного звена полностью нитрованной целлюлозы $C_6H_7N_3O_{11}$ в закрытой системе и расставь коэффициенты. Предположи, что из-за нехватки кислорода часть углерода окисляется до степени окисления II, не IV, а в остальных продуктах степени окисления элементов соответствуют пировалентности. (1,5)

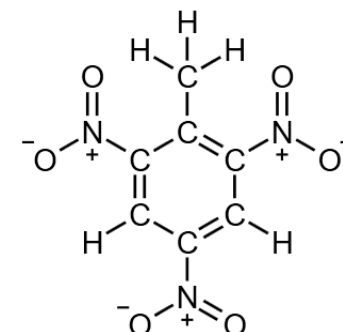
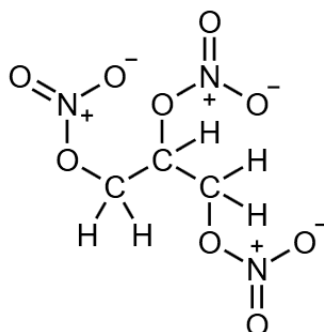
--

- д) Являются ли следующие компоненты пиротехнических смесей и взрывчатые вещества богатыми кислородом или топливом? Определи для каждого вещества (i–iv), богато ли оно кислородом (Н) или топливом (К) и поставь в ячейку для ответа соответствующую букву и значение пировалентности вещества. (2)

i) $Sr(NO_3)_2$

iii) Нитроглицерин

iv) TNT

ii) $CH_3NH_3ClO_4$ 

--

i)

--

ii)

--

iii)

--

iv)

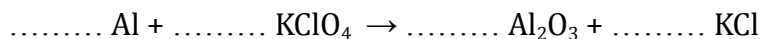
--

С помощью метода пировалентности можно уравнивать уравнения реакций горения пиротехнических смесей, при условии, что образуются стабильные продукты горения. Для этого нужно найти наименьшее общее кратное пировалентностей восстановителя и окислителя и разделить абсолютное значение найденного наименьшего общего кратного на пировалентность восстановителя и окислителя. В результате в уравнении реакции получают коэффициенты восстановителя и окислителя соответственно.

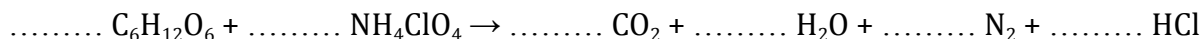
--	--	--	--	--	--	--	--

е) Уравняй следующие уравнения реакций с помощью метода пировалентности. (1,5)

1.



2.



Если умножить пировалентность вещества на его количество (число молей) и сложить соответствующие разным компонентам пиротехнической смеси произведения, можно получить суммарную пировалентность смеси. Пировалентность пиротехнической смеси была бы равна 0, если бы восстановитель и окислитель реагировали между собой полностью. Поэтому с помощью метода пировалентности можно оценить, сколько восстановителя или окислителя нужно смешать для получения пиротехнической смеси, даже не зная коэффициентов в уравнении реакции.

Помимо изготовления нитроваты, учитель, в виду приближающегося Нового Года, попробовал также сделать ракету. Для этого он планировал смешать нитрат калия (KNO_3) и измельченный сахар ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) в пиротехническую смесь, которую используют для так называемых сахарных ракет.

ф) i) У учителя было 150 г нитрата калия. Определи с помощью метода пировалентности, сколько грамм сахара нужно добавить к нитрату калия, чтобы получить ракетную смесь, пировалентность которой равна 0. (1,5)

Ответ: г

--	--	--	--	--	--	--	--

- ii) Напиши уравнение реакции горения смеси для сахарной ракеты и расставь в нём коэффициенты. (1,5)

Предположи, что степень окисления каждого элемента соответствует методу пировалентности и единственным твёрдым продуктом реакции является соль.

Горение ракетного топлива зависит от многих факторов, поэтому метод пировалентности не даёт точных результатов при определении лучшего состава для ракетного топлива. На самом деле в стандартной сахарной ракете используется смесь, где на 1 моль $C_{12}H_{22}O_{11}$ приходится 6,29 моль KNO_3 .

- g) Посчитай, сколько грамм сахара $C_{12}H_{22}O_{11}$ учитель должен смешать с 150 г нитрата калия, чтобы получить стандартную смесь для сахарной ракеты. (0,5)

Ответ: г

Для опыта учитель решил взорвать на улице пол-литровую ($0,50 \text{ дм}^3$) пластмассовую бутылку. Для безопасного взрыва он изготовил систему зажигания из проволоки сопротивления, проводов и 9 В батарейки. Нитровата (1,740 г) была прикреплена к проволоке, вместе с проволокой засунута в бутылку, а сама бутылка была плотно закрыта. Однако перед опытом учитель начал переживать, что нитроваты не хватит для взрыва бутылки.

- h) Оцени, хватит ли нитроваты для взрыва бутылки.

- i) Посчитай, сколько моль газообразных веществ находится в бутылке после сгорания 1,740 г нитроваты. (2)

Предположи, что имеешь дело с полностью нитрированной целлюлозой, при сгорании 1 моль мономерных звеньев $C_6H_7N_3O_{11}$ которой выделяется 11 моль газов. До сгорания нитроваты молярный объем газа в данных условиях $V_m = 24,5 \text{ дм}^3/\text{моль}$ и воздух содержит 20% кислорода по числу молей.

--	--	--	--	--	--	--	--

Ответ: моль

- ii) Насколько высоко под действием высвобождающейся энергии может подняться температура газов в бутылке (объемом $0,50 \text{ дм}^3$) сразу после сгорания нитроваты, предположив, что горение происходит настолько быстро, что тепло не успевает передаться бутылке? Насколько реалистично полученное значение температуры при этом предположении? (1,5)

До реакции температура газов в бутылке 25°C . Предположи, что при сгорании 1 г нитроваты выделяется $10,9 \text{ кДж}$ тепла и вся теплота Q идёт на повышение температуры газа согласно уравнению $Q = nC_V\Delta T$. Для упрощения можешь взять среднее значение C_V для газов равное $20 \text{ Дж}/(\text{моль}\cdot^\circ\text{C})$.

--	--	--	--	--	--	--	--

Ответ: °C

Реалистично ли рассчитанное значение температуры?

- iii) Оцени с помощью уравнения идеального газа, сможет ли горение нитроваты внутри бутылки сломать бутылку. (2)

Давление в бутылке зависит от температуры согласно уравнению идеального газа $pV = nRT$, где p это давление, V это объем, n это количество газообразных веществ, T это температура в кельвинах ($T = 273,15 K + t (^{\circ}C)$) и универсальная газовая постоянная $R = 0,08206 \text{ атм}\cdot\text{дм}^3/(\text{моль}\cdot\text{K})$. Чтобы сломать бутылку необходимо внутреннее давление в 10 атм, до поджигания нитроваты газы в бутылке находятся под давлением $p_0 = 1 \text{ атм}$.

Может ли горение нитроваты сломать бутылку?

--	--	--	--	--	--	--	--

Воодушевленный успехом первого синтеза нитроваты, учитель синтезировал большее количество нитроваты. Часть он хранил в закрытом пакете, часть оставил в открытой стеклянной банке. Когда спустя пару месяцев учитель вновь захотел сделать опыт с нитроватой, он заметил, что нитровата, оставленная в пакете, стала мокрой и очень плохо горела, оставляя за собой твердые остатки. Оставленная в банке нитровата горела достаточно хорошо, но находящийся недалеко от банки железный замок от шкафа с химикатами начал быстро ржаветь.

Учитель не знал, что нестабилизированная нитроцеллюлоза разлагается, образуя в течение времени газ **A** ($w_x = 30,45\%$), причем высокое содержание **A** в окружающей среде ускоряет дальнейшее разложение нитроцеллюлозы. Газ **A** реагирует с водой, при низкой температуре образуются продукты **B** и **C**. **C** стабилен только в разбавленном растворе и степень окисления элемента **X** в этом продукте на два меньше, чем в продукте **B**. При высокой температуре **C** нестабилен и при реагировании **A** с водой образуются **B** и газ **D** ($w_x = 46,68\%$).

- i) Напиши формулы газов **A** и **D**. (1)

Формула газа **A**:

Формула газа **D**:

- j) Напиши уравнение реакции газа **A** с водой и расставь в нём коэффициенты **i)** при низкой температуре, **ii)** при высокой температуре. (1,5)

i)

ii)

--	--	--	--	--	--	--	--