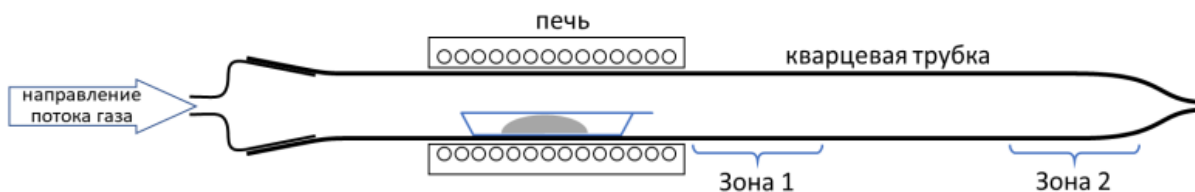


Задача 10-3



С твердым бесцветным кристаллическим веществом **X** провели ряд опытов. Для этого навески этого вещества помещали в лодочку внутри трубчатой печи (см. рисунок), в которой постепенно повышали температуру, доводя ее до указанной. Затем печь охлаждали в инертной атмосфере, лодочку вынимали и фиксировали изменение массы. В ходе описанных опытов материал лодочки никак не изменяется. Было проведено 6 опытов, отличающихся газовой атмосферой внутри печи и максимальной температурой нагрева. В **опыте 4** в печь в токе нагретого инертного газа подавали пары серы. Результаты опытов сведены в таблицу:

№ опыта	условия	изменение массы, %	Наблюдения		
			остаток в лодочке	Зона 1	Зона 2
	C	-100	—	коричневые кристаллы	оранжевые кристаллы
	O		черный	—	тёмно-серые кристаллы
	H	-88.2	серый	—	тёмно-серые кристаллы
	Ar	-81.4	черный	—	тёмно-серые и жёлтые кристаллы
	HF, 800°C		белый	—	тёмно-серые кристаллы
	Ar, 200°C	-34.6	белый*	—	—

* при сгорании в кислороде газа на выходе из реактора образуется смесь веществ, часть из которых поглощается раствором $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Вопросы:

1. Определите состав соединений, остающихся в лодочке после проведения опытов 2 – 6, состав коричневых кристаллов в опыте 1, а также вещество **X**. Ответ подтвердите расчётами.
2. Запишите уравнения реакций, протекающих в опытах 1 – 6.
3. Запишите уравнения реакций, последовательно происходящих в водном растворе вещества **X** при постепенном добавлении хлорной воды. Какова будет окраска конечного раствора?

Решение задачи 10-3

1. Проанализируем условие задачи. Вещество **X** при реакции с водородом (опыт 3) дает твердое вещество (обозначим его **Y**), а при реакции в парах серы (опыт 4) – твердое вещество **Z**. Из 100 г **X** образуется 11.8 г **Y** и 18.6 г **Z**. Разумно предположить, что вещество **Y** – это металл, а **Z** – его сульфид. Причем количество вещества металла **M** в этих порциях **Y** и **Z** равны. Таким образом, представив формулу сульфида как $MS_{n/2}$, запишем

$m(M)/m(MS_{n/2}) = (100 - 88.2)/(100 - 81.4) = M/(M + 16 \cdot n/2)$, где M – молярная масса металла **M**.

Получаем $M = (27.8 \pm 0.4) \cdot n$. Погрешность 0.4 получается из потери массы, округленной до третьей значащей цифры (по данным условия).

$$n = 1, M = 27.4 \div 28.2 \text{ г/моль}$$

$$n = 2, M = 54.8 \div 56.4 \text{ г/моль (M – Mn или Fe)}$$

$$n = 3, M = 82.2 \div 84.6 \text{ г/моль (M – Kr)}$$

$$n = 4, M = 109.6 \div 112.8 \text{ г/моль (M – Cd)}$$

Kr и Cd не подходят. Можно рассмотреть Mn и Fe, при хлорировании (*опыт 1*) образуется летучий хлорид, что характерно для железа ($FeCl_3$), но не характерно для марганца.

Y – Fe, **Z** – FeS

Можно предположить, что в опыте 6 при небольшом нагревании в инертной атмосфере **X** разлагается на координированный растворитель и твердый остаток. Найдем количество вещества железа, полученного в опыте 3 из 100 г **X**: $n(Fe) = 11.8 / 56 = 0.211$ моль.

$$M(X) = 100 / 0.211 = 474.6 \pm 2 \text{ г/моль}$$

Тогда молярная масса остатка в опыте 6 равна:

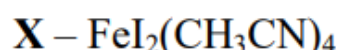
$$M(\text{остатка}) = 474.6 \cdot (100 - 34.6) / 100 = 310.4 \pm 1.2 \text{ г/моль.}$$

$(310 - 56) / 2 = 127$ г/моль, что соответствует йоду. Остаток в опыте 6 – это иодид железа(II). При нагревании в атмосфере аргона при низкой температуре можно ожидать отщепления молекул растворителя, входящих в состав сольвата. Предполагая, что при этом образуется иодид железа(II) рассчитаем молярную массу n отщепившихся молекул растворителя (**L**):

$$n \cdot M(L) = \frac{\omega}{100-\omega} M(FeI_2) = \frac{34.6}{100-34.6} 309.7 = 163.8 \text{ г/моль}$$

<i>n</i>	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>M(L)</i> , г/моль	81.9	54.6	41.0	32.8	27.3	23.4	20.5	18.2
<i>M(L)</i> – 14 – 12	55.9	28.6	15.0	6.8	1.3			

Согласно условию при сгорании **L** образуется смесь газов, только часть из которых поглощается раствором Ca(OH)₂. Это позволяет отбросить воду (*n* = 9), и предположить наличие атомов азота и углерода в молекуле **L**. После вычитания молярной массы углерода и азота при *n* = 4 остаётся целое число соответствующее CH₃. Соответственно, **L** – это ацетонитрил CH₃CN.



Молярная масса продукта в опыте 2 на 1 железо: $474 \cdot (1 - 0.837) = 77.26$ г/моль.

$$77.26 - 56 = 21.26$$

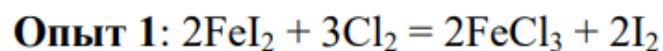
$$21.26 / 16 = 1.33$$

$$n(Fe) : n(O) = 1 : 1.33 = 3 : 4$$

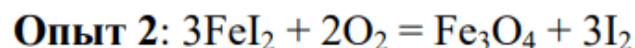
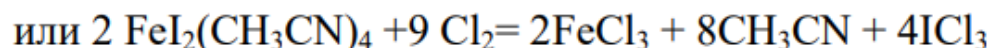
Остаток в опыте 2 – это оксид железа(II, III) Fe₃O₄.

Аналогично в опыте 5 получаем фторид железа(II) FeF₂.

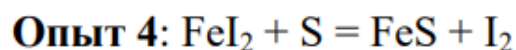
2. Во всех опытах на первой стадии происходит разложение комплекса, которое можно выделить в отдельную реакцию:



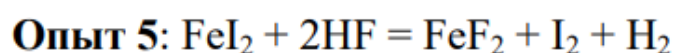
в холодной части прибора избыток хлора реагирует с иодом: $3Cl_2 + I_2 = 2ICl_3$



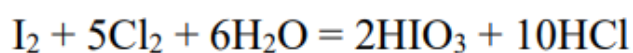
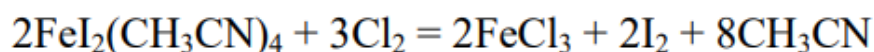
Опыт 3: $FeI_2 + H_2 = Fe + 2HI$. При данных условиях HI частично разлагается. В этом случае уравнение записывается в виде: $FeI_2 = Fe + I_2$.
(оцениваются оба варианта записи уравнения)



Так как на вход подаются пары серы, жёлтые кристаллы в холодной части – это элементарная сера.



3. При добавлении хлорной воды:



Окраска конечного раствора желтая.

Система оценивания:

1.	Установление железа – 2 балла Состав железосодержащих продуктов в опытах 1– 6 – по 1 баллу Полный состав X – 2 балла	10 баллов
2.	Уравнения реакций в опыте 1 – 2 балла	7 баллов
	Уравнения реакций в опытах 2 – 6 – по 1 баллу	
3.	Уравнения реакций – по 1 баллу Окраска конечного раствора – 1 балл	3 балла
ИТОГО: 20 баллов		