



Олимпиада школьников
Санкт-Петербургского университета



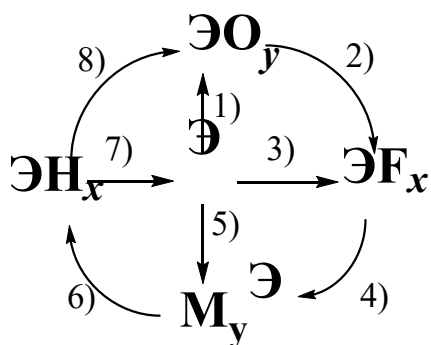
Общеобразовательный предмет «Химия»
Заключительный этап 2024-2025 уч. года

9 класс

Задание № 1. «Определите элемент»

Вариант №1

На схеме показаны превращения с участием простого вещества элемента Э. Каждой стрелке на схеме отвечает одна реакция (в которой, кроме указанных соединений, могут получаться и другие продукты). Идентифицируйте элемент Э, если его массовая доля в высшем оксиде ЭO_y составляет 46.7%, напишите уравнения протекающих реакций и укажите условия их проведения. Какие элементы могут выступать в качестве М? Каково наиболее распространенное использование простого вещества элемента Э?



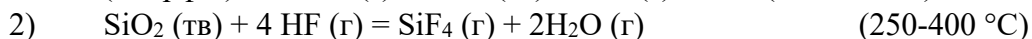
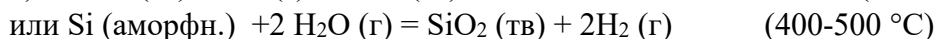
Система оценивания:

№	Критерий	Балл
1	Правильно определенный элемент Э (кремний) с проверкой % содержания	2
2	Правильно записанная и уравненная реакция с указанием агрегатного состояния и условий проведения - 2 балла за реакцию (в сумме 16 баллов).	16
3	Неуравненная реакция – минус 0.5 балла, не указаны агрегатные состояния – минус 0.5 балла, не указаны условия – минус 0.5 балла.	-0.5 балла за каждый недочет
4	В качестве М – активные щелочноземельные металлы, образующие силициды (например Mg).	1
5	Наиболее распространенное применение кремния – микроэлектроника.	1
ВСЕГО:		20

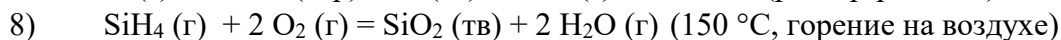
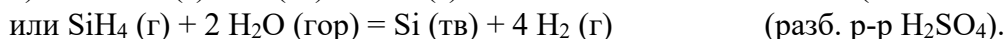
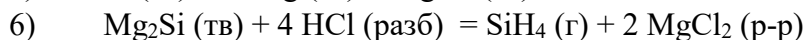
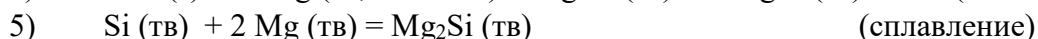
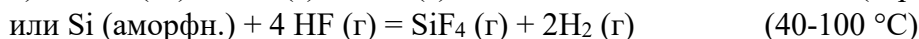
Рекомендации по решению: нет

Ответ: Элемент Э – кремний. Ему отвечает высший оксид SiO_2 . (массовая доля кремния в SiO_2 составляет 46.7%).

Уравнения реакций и условия их проведения:



Примечание: реакция с плавиковой кислотой не годится, так как дает $\text{H}_2[\text{SiF}_6]$.



Наиболее распространенное применение кремния – микроэлектроника.

Использован справочник Р.А. Лидин, В.А. Молочко, Л.Л. Андреева «Неорганическая химия в реакциях», 2-е изд., перераб. и доп. М.: «Дрофа», 2007. 637 с.

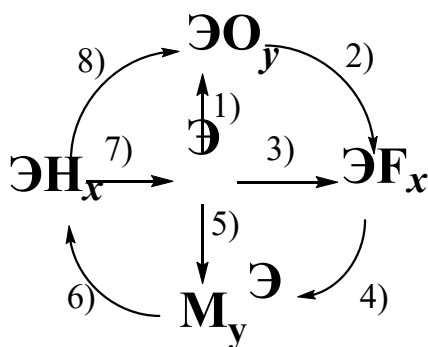
Возможность проверки средствами MOODLE: НЕТ

Проверил: Фамилия И.О.

Задание № 1. «Определите элемент»

Вариант № 2

На схеме показаны превращения с участием простого вещества элемента Э. Каждой стрелке на схеме отвечает одна реакция (в которой, кроме указанных соединений, могут получаться и другие продукты). Идентифицируйте элемент Э, если его массовая доля в высшем фториде ЭF_x составляет 27.0%, напишите уравнения протекающих реакций и укажите условия их проведения. Какие элементы могут выступать в качестве М? Каково наиболее распространенное использование простого вещества элемента Э?



Система оценивания:

№	Критерий	Балл
1	Правильно определенный элемент Э (кремний) с проверкой % содержания	2
2	Правильно записанная и уравненная реакция с указанием агрегатного состояния и условий проведения - 2 балла за реакцию (в сумме 16 баллов).	16
3	Неуравненная реакция – минус 0.5 балла, не указаны агрегатные состояния – минус 0.5 балла, не указаны условия – минус 0.5 балла.	-0.5 балла за каждый недочет
4	В качестве М – активные щелочноземельные металлы, образующие силициды (например Mg).	1
5	Наиболее распространенное применение кремния – микроэлектроника.	1
	ВСЕГО:	20

Рекомендации по решению: нет

Ответ: Элемент Э – кремний. Ему отвечает высший фторид SiF₄. (массовая доля кремния в SiF₄ составляет 27.0%).

Уравнения реакций и условия их проведения:

- 1) Si (тв) + O₂ (г) = SiO₂ (тв) (1200-1300 °С)
или Si (аморфн.) + 2 H₂O (г) = SiO₂ (тв) + 2H₂ (г) (400-500 °С)
- 2) SiO₂ (тв) + 4 HF (г) = SiF₄ (г) + 2H₂O (г) (250-400 °С)
Примечание: реакция с плавиковой кислотой не годится, так как дает H₂[SiF₆].
- 3) Si (тв) + 2 F₂ (г) = SiF₄ (г) (горение во фторе)
или Si (аморфн.) + 4 HF (г) = SiF₄ (г) + 2H₂ (г) (40-100 °С)
- 4) SiF₄ (г) + 4 Mg (тв, избыток) = Mg₂Si (тв) + 2 MgF₂ (тв) (500-600 °С)
- 5) Si (тв) + 2 Mg (тв) = Mg₂Si (тв) (сплавление)
- 6) Mg₂Si (тв) + 4 HCl (разб) = SiH₄ (г) + 2 MgCl₂ (р-р)
- 7) SiH₄ (г) = Si (тв) + 2 H₂ (г) (400-1000 °С)
или SiH₄ (г) + 2 H₂O (гор) = Si (тв) + 4 H₂ (г) (разб. р-р H₂SO₄).
- 8) SiH₄ (г) + 2 O₂ (г) = SiO₂ (тв) + 2 H₂O (г) (150 °С, горение на воздухе)

Наиболее распространенное применение кремния – микроэлектроника.

Использован справочник Р.А.Лидин, В.А.Молочко, Л.Л.Андреева «Неорганическая химия в реакциях», 2-е изд., перераб. и доп. М.: «Дрофа», 2007. 637 с.

Возможность проверки средствами MOODLE: НЕТ

Проверил: Фамилия И.О.

Задание № 2. «Анализ стали»

Вариант № 1

Одним из методов количественного определения содержания фосфора в сталях является фотометрическое определение в присутствии молибдата аммония. Навеску стали растворяют в азотной кислоте, кипятят до полного прекращения выделения оксидов азота, добавляют избыток гидроксиламина, нагревают раствор до кипения, после чего при непрерывном перемешивании добавляют избыток раствора молибдата аммония, доводят до 100 мл и через 5 минут измеряют оптическую плотность с красным светофильтром. Для построения калибровочного графика проводят аналогичный эксперимент с карбонильным железом и стандартным раствором фосфата натрия.

В результате эксперимента получена следующая зависимость оптической плотности D от содержания фосфора

Содержание фосфора в растворе, мг/л	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
D	0.13	0.21	0.32	0.42	0.54	0.62

Для определения содержания фосфора в исследуемом сплаве навеску стали массой 0.254 г обработали согласно указанной методике, довели раствор до объема 100 мл и определили оптическую плотность раствора. Она составила 0,59. Раствор разбавили в два раза и вновь определили оптическую плотность. Измеряемая величина составила 0.31.

- А) Определите массовую долю фосфора в исследуемой стали;
- Б) Напишите уравнения протекающих реакций. К какому классу веществ относится соединение, определяющее окраску конечного раствора?;
- В) для чего добиваются полного удаления оксидов азота?

Система оценивания:

№	Критерий	Балл
1	Построение калибровочного графика, вывод уравнения прямой	5
2	Выбор точки для дальнейшей обработки, определение концентрации фосфора в данной точке	3
3	Расчет массовой доли фосфора в стали	2
4	Уравнения реакций 1-4	По 1 баллу, всего 4 балла
5	Уравнения реакций 5-6	По 2 балла (при иной стехиометрии фосфор/молибден – по 1 баллу), всего 4 баллов
6	Указание класса соединений	1 балл
7	Объяснение необходимости удаления оксидов азота	1 балл
	ВСЕГО:	20 баллов

Рекомендации по решению:

1. Для количественного определения используют линейный участок калибровочного графика. Очевидно, линейная зависимость наблюдается на участке от 0.2 до 0.6 мг фосфора на литр раствора. Выведем уравнение прямой:

$$0.2a + b = 0.21$$

$$0.8a + b = 0.54$$

$$a = 0.55$$

$$b = 0.1$$

Значение оптической плотности 0.59 соответствует нелинейному участку графика, следовательно, расчет ведем по точке с $D = 0.31$

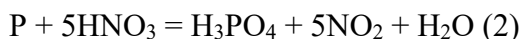
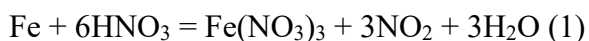
$$0.55C + 0.1 = 0.31$$

$$C = 0.381 \text{ мг/л}$$

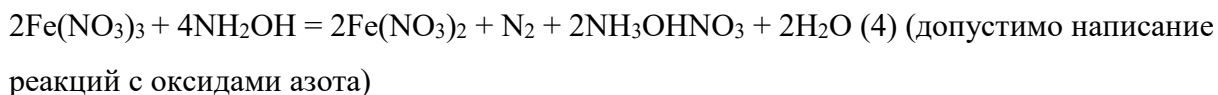
Содержание фосфора в образце стали составляет:

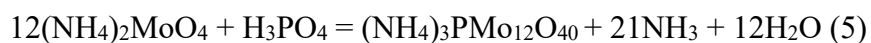
$$w(P) = 0,381 \cdot 0,2 / 254 = 0,03\%$$

Уравнения реакций:



(допустимо написание реакций с другими оксидами азота)





Образуется гетерополианион, имеющий структуру Кеггина

Удаление оксидов азота необходимо, так как они (а) являются окислителями, (б) окрашены, при этом в условиях эксперимента ошибку, вносимую их присутствием в значение оптической плотности, трудно контролировать.

Возможность проверки средствами MOODLE: НЕТ

Проверил:

Задание № 3. «Лабораторная работа»

Вариант № 1

Студентка Елизавета выполняла лабораторную работу «Окислительно-восстановительные» реакции». В одном из заданий этой лабораторной работы было предложено восстановить соль металла X до более низкой степени окисления. Для этого в пробирку нужно было прилить раствор данной соли, добавить гранул цинка и подкислить раствор. На выбор у Елизаветы на подносе стояло четыре кислоты: серная, соляная, азотная и фосфорная. Елизавета выбрала одну из них и добавила небольшое количество к раствору. После чего в описании работы было сказано «заккрыть пробирку». На выбор на столе перед Елизаветой лежали: резиновая пробка, резиновая пробка со стеклянной газоотводной трубкой, фильтровальная бумага, резиновая пробка с подсоединенным к ней отрезком резинового шланга с небольшим надрезом, также заткнутым небольшой пробкой. Елизавета выбрала один из предметов и закрыла пробирку. После этого в описании было сказано «нагреть раствор». В распоряжении Елизаветы оказались: газовая горелка, спиртовка и водяная баня (стакан с горячей водой на электроплитке). После нагревания, которое прошло без инцидентов, цвет раствора в пробирке остался неизменным и больше ничего не наблюдалось. После того, как по совету преподавателя кислота была заменена на другую, опыт удался и раствор изменил цвет на ярко-голубой, а после добавления ацетата натрия – на темно красный. Исходя из описания опыта определите:

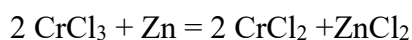
- 1) Природу металла X, запишите уравнения протекающих реакций при восстановлении и при добавлении ацетата натрия.
- 2) В виде какой соли X разумнее всего проводить восстановление в растворе?
- 3) Какую кислоту выбрала Елизавета?
- 4) Какую кислоту нужно было взять для проведения реакции?
- 5) Чем необходимо было закрыть пробирку и почему?
- 6) Как нужно правильно было провести нагрев согласно требованиям техники безопасности?

Система оценивания:

№	Критерий	Балл
1	Определение природы металла X	5
2	Запись уравнений реакции	3 (по 1 баллу за уравнение)
3	Указание на природу соли	2
4	Указание на то, что неверный выбор – серная кислота	3
5	Указание на соляную кислоту или любую другую сильную кислоту – неокислитель	3
6	Определение правильного предмета	2 балл
7	Объяснение проведения нагрева	2 балл
	ВСЕГО:	20 баллов

Рекомендации по решению:

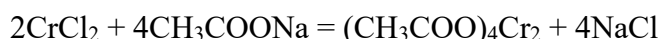
Металл X скорее всего является переходным 3d металлом, т.к. растворы его солей окрашены. Поскольку для его восстановления требуется сильный восстановитель, такой как цинк, то это металл первой половины ряда. В восстановленном состоянии ярко-голубым цветом обладает хром в с.о. +2. Для восстановления нужно подобрать анион, который не восстанавливается при этих условиях и при этом соль хрома является растворимой.



При неверном выборе кислоты:



Цинк расходуется на восстановление серной кислоты.



Елизавета выбрала серную кислоту, в присутствии которой восстановление хрома невозможно. Если бы была выбрана азотная кислота, наблюдалось бы выделение оксидов азота (небольшое изменение цвета газовой фазы в пробирке).

Пробирку нужно закрыть пробкой с резиновой трубкой, служащей клапаном, предотвращающим попадание кислорода в систему и стравливающим избыточное давление водорода. Нагрев нужно проводить на водяной бане, т.к. выделяющийся водород взрывоопасен.

Возможность проверки средствами MOODLE: НЕТ

Проверил: Тимошкин А.Ю.

Задание № 4. «Две соли»

Вариант № 1

При термическом разложении соли **А** при 350 °С получаются только газообразные продукты, при пропускании которых через избыток концентрированного раствора едкого натра объем газа уменьшается в 3 раза. При термическом разложении соли **Б**, содержащей тот же анион, образуется газовая смесь такого же качественного состава, что и при разложении соли **А**, но с иным соотношением компонентов. Газ, оставшийся после пропускания полученной смеси через раствор едкого натра, способен обесцвечивать подкисленный серной кислотой водный раствор перманганата калия, при этом объем газа остается неизменным. Если раствор едкого натра после поглощения продуктов разложения упарить, обработать концентрированной серной кислотой и пропустить газообразные продукты последней реакции через 0.02 М водный раствор гидроксида кальция, они будут взаимодействовать в соотношении 0.025 г соли **А** – 5,95 мл раствора $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Определите вещества **А** и **Б**, напишите уравнения упомянутых реакций. Составьте уравнения реакций взаимодействия веществ **А** и **Б** с едким натром, соляной кислотой, аммиаком.

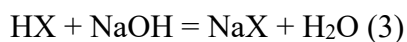
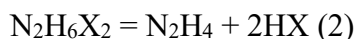
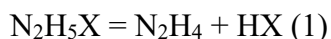
Система оценивания:

№	Критерий	Балл
1	Определение вещества А	2 балла
2	Определение вещества Б	2 балла
3	Уравнения реакций 1-3, 6 – 8, 10, 12	По 1 баллу, всего 8 баллов
4	Реакция 4	2 балла
5	Реакция 5, 9, 12	По 2 балла, всего 6 баллов
	ВСЕГО:	20 баллов

Рекомендации по решению:

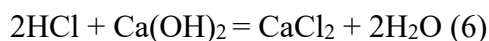
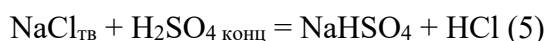
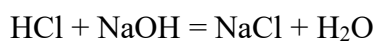
Уменьшение объема при пропускании через раствор щелочи указывает на наличие кислого газа (галогеноводород, углекислый газ, сернистый газ, сероводород). Соль может представлять собой соль аммония – однако аммиак не обесцвечивает подкисленный раствор перманганата калия. Кроме того, в условии указано, что газовая смесь того же качественного, но иного количественного состава может быть получена и разложением соли Б. Данному условию полностью соответствуют соли гидразиния, пары $\text{N}_2\text{H}_5\text{X}$ (Б) – $\text{N}_2\text{H}_6\text{X}_2$ (А). Они разлагаются на

гидразин и кислый газ, при этом в случае состава $N_2H_6X_2$ при пропускании продуктов разложения через раствор щелочи объем уменьшается в 3 раза:



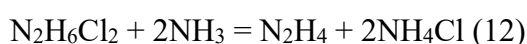
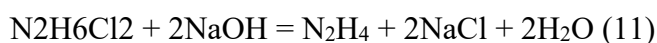
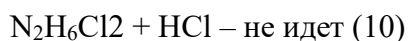
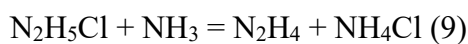
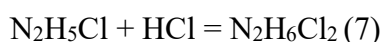
HX , скорее всего, галогеноводород. Тогда при обработке твердого галогенида натрия могут выделяться: фтороводород/хлороводород, бром + сернистый газ, иод + сероводород. Проверим варианты.

Пусть искомая соль – хлорид. Тогда будут протекать реакции:



При разложении 0,025 г соли А выделится $2.38 \cdot 10^{-4}$ моль хлороводорода, для поглощения которого потребуется 5,95 мл раствора гидроксида кальция, что соответствует условию задачи

Реакции:



Возможность проверки средствами MOODLE: НЕТ

Проверил:

Задание № 5. «Металл»

Вариант № 1

Металл М образует со всеми элементами Х одной из групп периодической системы соединения в двух степенях окисления. Все эти соединения в водном растворе являются устойчивыми за исключением одного. Последнее получают следующим способом: продукт взаимодействия порошка металла М с угарным газом при комнатной температуре, растворяют в гексане в атмосфере аргона и добавляют избыток Х, после чего раствор приобретает светло-красный цвет. Выделившийся продукт Р, массовая доля М в котором составляет 13,24%, подвергают воздействию света, снова в присутствии избытка Х, в результате чего выделяется угарный газ и образуется черная пленка соединения М с Х.

1. Определите природу М
2. Расшифруйте указанные превращения.
3. Как получают соединения М с элементами Х в разных степенях окисления?
4. Что происходит с указанным нестабильным соединением в водном растворе?
5. Почему остальные соединения в этой степени окисления устойчивы в водном растворе?

Система оценивания:

№	Критерий	Балл
1	Определение металла М	5 баллов
2	Определение веществ Х	3 балла
3	Уравнения реакций получения	По 3 балла, всего 6 баллов
4	Указание на то, как получают галогениды железа	3 балла
5	Реакции разложение иодида в водном растворе.	3 балла
	ВСЕГО:	20 баллов

Рекомендации по решению:

1. Металл Х – железо, взаимодействующее с угарным газом с образованием пентакарбонилжелеза.
2. Получение трииодида железа:
$$\text{Fe} + 5\text{CO} = \text{Fe}(\text{CO})_5$$
$$\text{Fe}(\text{CO})_5 + \text{I}_2 = \text{Fe}(\text{CO})_4\text{I}_2 + \text{CO}$$
$$\text{Fe}(\text{CO})_4\text{I}_2 + \frac{1}{2} \text{I}_2 + h\nu = \text{FeI}_3 + 4\text{CO}$$

3. Взаимодействием с галогенводородной кислотой (с.о. +2) или свободным галогеном (с.о. + 3)
4. В воде происходит окислительно-восстановительная реакция $\text{FeI}_3 = \text{FeI}_2 + \text{I}_2$
5. Железо в с.о. + 3 не способно в водном растворе окислить остальные галогенид-ионы (Br^- , Cl^- , F^-) до свободного галогена.

Возможность проверки средствами MOODLE: НЕТ

Проверил: