**Задание 1. «Гений, миллиардер, филантроп».**

«– Когда ты успел стать экспертом в области ядерной физики?  
– Вчера.»

Диалог Тони Старка и агента Хилл.

Тони Старк по праву считается одним из самых ярких персонажей вселенной Marvel. История о молодом бизнесмене, показанная на больших экранах в 2008 г., начиналась драматично: владельца крупнейшей компании по производству оружия «Stark Industries» серьезно ранили и захватили в плен в Афганистане. Всё могло бы закончиться трагично, если бы миллионер не обладал выдающимися интеллектуальными способностями. За короткий промежуток времени Старк собрал уникальный боевой костюм, который позволил ему одержать победу над захватчиками и сбежать.

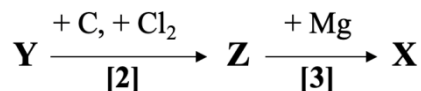
Основой костюма «Mark I», собранного Старком в заключении, являлся металл **A**. Второй среди металлов по распространенности в земной коре **A** в промышленности получают из его оксидных минералов – гематита и магнетита. Наиболее распространенной технологией получения металла **A** является доменный процесс, в котором **A** образуется в результате восстановления магнетита монооксидом углерода [реакция 1].

1. Установите металл **A**, если известно, что для получения 560 килограммов **A** (выход 80 %) из магнетита необходимо использовать 373,3 м<sup>3</sup> монооксида углерода (н. у.). Ответ подтвердите расчетом.
2. Установите формулу магнетита и напишите уравнение реакции [1].

Первый бронированный костюм «Mark I» был оснащен боевым оружием и реактивными установками для полетов, а его масса составляла 41 килограмм.

3. Вычислите массу руды (содержание **A** 24%), добываемой в США, которую необходимо переработать для производства костюма «Mark I», если содержание **A** в костюме составляло 60%. Считайте, что **A** из руды можно получить с выходом 75%.

После побега Тони Старк продолжил работу над костюмом уже в своей собственной мастерской и быстро выяснил, что сплавы на основе **A** не подходят для полетов из-за обледенения на большой высоте. Основой улучшенной версии костюма «Mark III» стал сплав металлов **X** и **G**, который позволил Старку решить проблему обледенения и взлетать на большую высоту. Сплавы **X** в настоящее время активно используются в самолетостроении и ракетостроении, что обусловлено одновременной легкостью и инертностью **X**. В природе элемент **D**, образующий металл **X**, встречается в виде оксида **Y** с содержанием **D** 60%. Оксид **Y** обладает низкой реакционной способностью, поэтому **X** из **Y** получают по двухступенчатой схеме через образование промежуточного жидкого соединения **Z**.



4. Установите элемент **D** и соединения **Y** и **Z**. Ответ подтвердите расчетом. Напишите уравнения реакций [2]-[3].

При взаимодействии **Z** с аммиаком [реакция 4] при высоких температурах образуется соединение **W**, содержащее 22,58% азота по массе. Примечательно, что соединение **W** используется для создания декоративных покрытий, имитирующих металл **G**.

5. Установите формулу соединения **W** и напишите уравнение реакции [4].

Износостойкость покрытий на основе **W** обусловлена низкой реакционной способностью данного соединения. Без нагревания **W** может взаимодействовать только со фтором [реакция 5], а для взаимодействия **W** с кислородом [реакция 6] температура реакционной смеси должна быть выше 700°C.

6. Напишите уравнения реакций [5]-[6].

Второй компонент сплава для костюма «Mark III» – металл **G** – встречается в природе в самородном виде. Химическая инертность, необычный внешний вид и редкость сформировали уникальную ценность металла **G**, который с 1870 по 1971 год использовался в качестве стандарта для мировой валюты. Эпоха металла **G** как валютного стандарта закончилась из-за того, что в США отказались от свободного обмена долларов на **G**, курс которого на тот момент составлял 35 \$ за тройскую унцию (31,1034768 грамма).



7. Оцените, на какое количество металла **G** (в тоннах) Тони Старк мог бы обменять свое состояние, которое в 2008 году оценивалось в 7,9 миллиардов долларов.

Металл **G** является достаточно инертным, но его можно растворить в реагенте **Q**, который представляет собой смесь концентрированных азотной ( $\omega \sim 67$  масс. %,  $\rho = 1,39$  г/мл) и соляной кислот ( $\omega \sim 35$  масс. %,  $\rho = 1,17$  г/мл) в объемном соотношении 1:3.

8. Рассчитайте молярные концентрации азотной и соляной кислот в реагенте **Q**. Изменением объема при смешении реагентов можно пренебречь.

При растворении металла **G** в реагенте **Q** [реакция 7] единственный азотсодержащий продукт реакции **E** является оксидом и содержит 53,3% кислорода по массе. При растворении одной унции **G** выделяется 3,54 литра **E** (н. у.).

9. Установите металл **G** и газ **E**. Ответ подтвердите расчетом. Напишите тривиальное название реагента **Q** и уравнение реакции [7].

Тони Старк никогда не отличался скромностью, поэтому уже в конце первого фильма объявил, что именно он является тем супергероем, которому средства массовой информации (СМИ) приписывали спасения поселений в Афганистане.

10. Как СМИ называли героя, которым оказался Тони Старк?

## Задание 2. «Лабораторные практикумы ФЕН НГУ».

*«Химию никоим образом научиться невозможно, не видав самой практики и не принимаясь за химические операции»*

М.В. Ломоносов.

Все студенты-химики, обучающиеся на химическом отделении факультета естественных наук новосибирского государственного университета, очень много времени проводят в химических лабораториях. Помимо выполнения дипломной работы, которое занимает больше половины времени на 4-5 курсах, на 1-3 курсах студенты проходят практикумы по общей и неорганической, органической, аналитической химии, химической термодинамике и химической кинетике, а также по инструментальным методам анализа. Сегодня мы предлагаем Вашему анализу слегка вымышленную историю о трудоёмком, но чрезвычайно интересном пути студента-отличника ФЕН НГУ Сергея С. в процессе получения зачетов на лабораторных практикумах.

### **1 курс обучения. Практикум по неорганической химии.**

Исследуя химические свойства соединений элемента **X**, Сергей сначала посмотрел на отношение соответствующего простого вещества **A** к кислотам и щелочам. В три колбочки Сергей поместил немного твердого вещества **A**, добавил к нему концентрированные азотную кислоту, соляную кислоту и натриевую щелочь, а полученные смеси поставил кипятиться на плитку. Спустя некоторое время Сергей обнаружил, что порошок вещества **A** полностью растворился в азотной кислоте [реакция 1] и щелочи [2], а в колбе с соляной кислотой никаких изменений не произошло. Сергей осторожно добавил в колбу с NaOH несколько капель концентрированной соляной кислоты и поднес к горлышку колбы влажную бумагу, пропитанную раствором нитрата свинца, после чего бумага сразу почернела [3]. Взяв несколько капель раствора из колбы с азотной кислотой, он добавил их в пробирку с раствором хлорида бария, с удовлетворением отметив образование белого осадка [4].

1. Напишите формулу вещества **A** и символ элемента **X**, если известно, что 1 г **A** содержит  $3 \cdot 10^{23}$  электронов. Напишите уравнения реакций [1] – [4].

Продолжая изучать химические свойства соединений элемента **X**, Сергей провел множество реакций. Из баночки с веществом **B** Сергей отобрал немного черного порошка и добавил его в пробирку с концентрированной соляной кислотой [5], после чего быстро подносил к горлышку пробирки полоски фильтровальной бумаги, смоченные иодной водой [6] и подкисленным азотной кислотой раствором перманганата калия [7], отмечая происходящие при этом изменения. Затем Сергей заткнул пробирку пробкой с газоотводной трубкой и поджег выделяющийся газ **C** ( $\omega(\text{X}) = 94,12\%$ ). Посмотрев, как горит этот газ, Сергей потушил пламя и поместил газоотводную трубку в пробирки с растворами нитратов серебра, меди(II) и марганца (II). В двух пробирках наблюдались изменения [8], [9], в третьей ничего не произошло.

2. Напишите формулы веществ **B**, **C** и уравнения реакций [5] – [9], если известно, что из 1 г **B** можно получить до 255 мл (н.у.) газа **C**. Какие визуальные изменения наблюдал Сергей при протекании реакций [6], [7]? Напишите уравнения реакции сгорания **C** в избытке [10] и недостатке [11] кислорода.

Наконец, Сергей приступил к изучению химических свойств кислоты **D** ( $\omega(\text{X}) = 32,65\%$ ). Для этого он налил в 2 пробирки по 8 мл воды, добавил к ним по 2 мл концентрированного раствора **D** и хорошо перемешал. Взяв еще две пробирки, он также поместил в них по 2 мл концентрированного раствора **D**, а затем провел реакции разбавленной [12] и концентрированной [13], [14] кислоты с гранулами цинка [12], [13] и медной стружкой [14].

3. Напишите формулу кислоты **D** и уравнения реакций [12], [13], [14]. Какой элемент является окислителем в реакции [13]? Почему медь не реагирует с разбавленной кислотой **D**? Рассчитайте массовую долю кислоты **D** в указанном разбавленном растворе, если концентрированный раствор кислоты содержит 98,00 % **D** по массе и имеет плотность 1,836 г/мл.

По окончании практикума по неорганической химии студенты выполняют и пишут курсовую работу. В качестве темы своей курсовой работы Сергей выбрал получение раствора вещества **E** в кислоте **D**.

Для получения вещества **E** Сергей решил воспользоваться хорошо известным способом – разложением соли **F** при 650°C. Сергей взял из банки большую навеску 97,22 г синей соли **G** ( $\omega(\text{X}) = 12,8\%$ ) и растворил её в минимальном количестве воды при нагревании до 80°C. Горячий насыщенный раствор соли Сергей отфильтровал через складчатый фильтр для избавления от нерастворимых примесей, фильтрат собрал в стакан объёмом 100 мл и охладил до 0°C в кристаллизаторе со льдом. Выделившиеся синие кристаллы **G** Сергей отфильтровал на воронке Бюхнера, промыл ледяной водой и спиртом и хорошо высушил током воздуха с помощью водоструйного насоса. Собранные сухие кристаллы **G** Сергей поместил в фарфоровый тигель и нагрел до 300°C, получив белый порошок соли **F**.

4. Напишите формулы веществ **E**, **F**, **G**. Рассчитайте объём воды, взятый Сергеем для приготовления насыщенного при 80°C раствора соли. Какую максимальную массу **F** может получить Сергей из исходно взятой навески **G**? Растворимость **G** (в расчете на безводную соль) при 80°C равна 55,0 г в 100 мл воды, а при 0°C растворимость (в расчете на безводную соль) падает до 14,1 г в 100 мл воды.

Получив в предыдущем опыте порошок вещества **F**, Сергей собрал специальную установку для получения **E**, в которой нагревал **F** до 650°C, при этом по прямому холодильнику вещество **E** ( $T_{\text{пл}} = 17^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{кип}} = 45^\circ\text{C}$ ) поступало в охлаждаемую кристаллизатором со льдом колбу-приёмник. Так как Сергей заранее взвесил колбу-приёмник, то он смог определить массу полученного **E**, она оказалась равной 23,71 г. Сергей отобрал 4,880 г полученного **E** в стеклянную ампулу, после чего запалял её и оставил храниться в лаборатории до следующего года, а затем приступил к выполнению второй части курсовой работы.

5. Рассчитайте выход полученного продукта (**E**) по отношению к исходно взятой навеске соли **G**.

Задачей курсовой работы стояло измерение плотностей растворов **E** в **D**. Для этого Сергей отобрал 10,00 мл концентрированного раствора **D** из банки и добавлял к нему порции вещества **E**, каждый раз измеряя массу вновь добавленного вещества с помощью весов. Результаты измерений приведены в таблице:

№ измерения	0	1	2	3	4
$m_{\text{добав.}}(\text{E}), \text{ г}^*$	0	1,632	2,221	2,777	3,570
$\rho_{\text{р-ра}}, \text{ г/мл}$	1,836	1,830	1,862	1,897	1,931

\*Каждая следующая порция **E** добавляется к уже добавленной ранее. Таким образом, раствор имеет плотность 1,931 г/мл после добавления 10,2 г **E** к 10,00 мл концентрированного раствора **D**.

6. Помогите Сергею оформить отчет о курсовой работе, вычислив массовую (в %) и молярную концентрацию вещества **E** в полученных растворах. Напишите тривиальное название раствора **E** в **D**. В ходе вычислений старайтесь не округлять промежуточные величины больше чем до 4 знаков после запятой.

## 2 курс обучения. Практикум по аналитической химии.

На втором курсе обучения Сергей довольно много узнал о количественных методах анализа, поэтому на курсовой работе по аналитической химии решил определить чистоту полученного на первом курсе вещества **E**. Для перевода **E** в более удобное для анализа вещество **D** Сергей поместил ампулу с 4,880 г **E** в холодную воду и разбил её. Полученный раствор кислоты **D** Сергей количественно перенёс в мерную колбу на 1000 мл. Для проведения анализа полученного раствора Сергею необходимо было приготовить раствор NaOH и стандартизовать его при помощи первичного стандарта – 0,0500 М раствора **D**. Для стандартизации раствора NaOH Сергей отобрал аликвоту 10,00 мл 0,0500 М раствора **D**, поместил ее в колбу для титрования, добавил несколько капель индикатора фенолфталеина и титровал раствором щелочи из бюретки до перехода окраски из бесцветной в малиновую. Средний объём раствора NaOH, затраченный на титрование, оказался равен 18,63 мл. Для анализа раствора **D**, полученного из навески **E**, Сергей отобрал из мерной колбы на 1000 мл аликвоту 10,00 мл и титровал раствором NaOH до перехода окраски индикатора в колбе для титрования. Средний объём раствора NaOH, затраченный на титрование, оказался равен 22,62 мл.

7. Рассчитайте молярную концентрацию NaOH в приготовленном растворе. Рассчитайте массовую долю **E** в используемой навеске. Что является основной примесью в указанной навеске и откуда она может взяться?

## 3 курс обучения. Практикум по химической термодинамике.

Во время выполнения работы по измерению тепловых эффектов Сергей вспомнил былые годы и решил провести калориметрические измерения теплового эффекта процесса смешения жидкого вещества **D** с

дистиллированной водой. Такой тепловой эффект называют тепловым эффектом разбавления **D**. Для измерений Сергей помещал 1,00 мл чистой воды в термостатированный при 25°C сосуд и при перемешивании добавлял к ней известные порции жидкой **D**. Сергей измерил количество тепла, выделившегося в процессе смешения, а полученные результаты свел в таблицу:

№ опыта	1	2	3
$m_{\text{добавл}}(\mathbf{D})$ , г	11,50	15,67	24,00
$Q$ , Дж	1741	1744	1751

8. Исходя из полученных данных, оцените объём 98,00 % раствора **D**, который нужно добавить к 1 мл воды для доведения полученного раствора до кипения ( $T_{\text{кип}}$  примите равной 100°C, начальная температура раствора равна 20°C). Теплоемкость всех растворов считайте равной теплоемкости воды (4,18 Дж/г·К).

### Задание 3. «Обычные дрова».

*«There are three things you can watch forever: fire, water, and other people working».*  
Пословица.

В современном мире природное топливо начинает все активнее вытесняться искусственным. На смену древесине, нефти и природному газу приходят такие виды топлива, как разнообразные брикеты для печей и котлов, бензин, генераторный газ и т.п. Тем не менее, старое доброе берёзовое полено по-прежнему остаётся ценным отопительным ресурсом не только в традиционных деревнях и сёлах, но и на вполне современных дачах и в коттеджах, где все более широкое распространение находят дровяные камины и русские бани. Да и умение развести костер в походных условиях требует специальных знаний о разновидностях дров и особенностях их горения.

1. Какие из перечисленных видов топлива являются природными, а какие – искусственными: торф, мазут, водород, биодизель, сланцы,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ , антрацит? Переведите на русский язык эпитаф к этой задаче, который россияне считают английской пословицей, а англичане – русской.

Обычная древесина состоит преимущественно из органических полимеров: целлюлозы с простейшей формулой  $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$  (около 74% по массе в расчёте на сухую древесину) и лигнина, имеющего переменный состав (его приблизительная формула  $\text{C}_{31}\text{H}_{34}\text{O}_{11}$ ). Содержание лигнина в сухой древесине составляет примерно 25% по массе. Для простоты будем считать, что оставшаяся масса представлена в основном неорганическими веществами, практически не содержащими углерода, водорода и кислорода.

2. При анализе некоторого образца сухой древесины было установлено, что массовое содержание углерода в ней составляет 49,00%, а кислорода 44,00%. Вычислите точные массовые доли целлюлозы, лигнина и суммарную массовую долю неорганических компонентов в данном образце. (Атомные массы элементов округлять до целых).

Одной из важнейших характеристик древесины является содержание влаги, выражающееся в единицах относительной влажности. Относительная влажность определяется как отношение массы воды, содержащейся в образце, к массе *сухой* древесины, выраженное в процентах. Данная величина может достигать даже 200%, если древесина долго находилась в воде.

3. Некоторый образец влажной древесины после сушки при 100°C в течение 10 час потерял 20% своей массы. Вычислите относительную влажность данного образца (древесину после такой сушки можно считать сухой).

Нас, разумеется, интересует теплотворная способность древесины. В таблице представлены характеристики двух образцов древесины с различным массовым содержанием целлюлозы и лигнина.

№	Относительная влажность, %	Содержание целлюлозы, %	Содержание лигнина, %	Теплота сгорания сырой древесины, МДж/кг	Теплота сгорания сухой древесины, МДж/кг
<b>I</b>	40,00	74,50	24,00	11,97	17,74
<b>II</b>	?	72,00	26,50	14,00	17,90

4. Запишите уравнения реакций полного сгорания целлюлозы и лигнина.

5. Используя данные о теплотах сгорания сухих образцов древесины, вычислите удельные теплоты сгорания чистой целлюлозы и чистого лигнина. *Считайте, что неорганические примеси не влияют на теплоту сгорания древесины, а в реакциях образуется газообразная вода.*

В случае сгорания сырой древесины выделяется меньшее количество тепла, поскольку часть тепла, образующегося в ходе реакции, идёт на испарение влаги. Кроме того, на единицу массы сырых дров приходится меньшее количество горючего вещества.

6. Используя данные о теплоте сгорания сырой древесины и влажности для образца **I**, вычислите удельную теплоту испарения воды и влажность образца **II**.

7. Какую массу сухих дров можно получить из 1 т сырых дров, аналогичных по составу образцу **I**, если теплоту, необходимую для сушки древесины, получать сжиганием части исходных сырых дров?