

НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Задача 1

Три поросенка полностью растворили неизвестный серебристо-белый металл X в теплой разбавленной азотной кислоте с выделением бесцветного, бурящего на воздухе, газа и образованием бесцветного раствора соли А (раствор соли А имеет нейтральную реакцию). Каждый из поросят испытал действие на раствор А нескольких простейших реагентов.

Ниф-Ниф:

Реагент	NaF	NaCl	NaBr	NaI
Наблюдения	Нет осадка	Белый осадок	Желтоватый осадок	Желтый осадок

Вывод: X-серебро, A=AgNO₃.

Нуф-Нуф:

Реагент	Na ₃ PO ₄	Na ₂ S	H ₂ S	KMnO ₄ , H ⁺
Наблюдения	Белый осадок	Черный осадок	Нет осадка	Обесцвечивание

Вывод: X-железо, A=Fe(NO₃)₂.

Получив противоречивые результаты, Ниф-Ниф и Нуф-Нуф долго спорили, кто же из них прав, и так расшумелись на весь лес, что разбудили волка, который мирно дремал под кустом. «Кто это там кричит?» – спросил злой и голодный волк и бросился в погоню за поросятами. Те со всех ног помчались к домику Наф-Нафа.

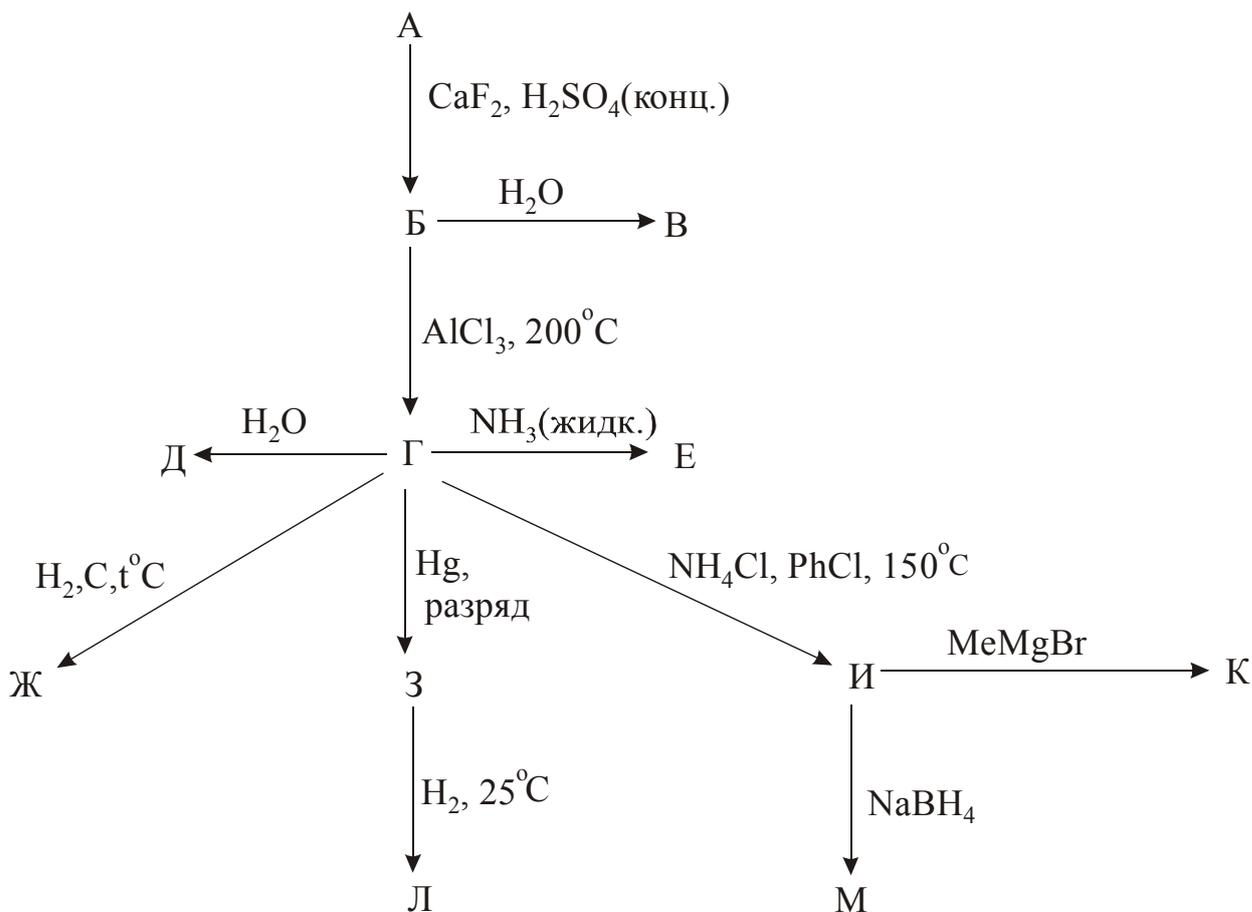
– Ну, погодите! - заорал волк, когда дверь домика захлопнулась прямо у него перед носом, – если вы не сможете идентифицировать металл X, то я уж до вас точно доберусь.

– Спокойно! – невозмутимо ответил Наф-Наф, – смотрите: раствор А не дает осадка со щелочью. Кроме того, если прокалить (выше 400°С) твердую (безводную) соль А, то потеря массы составит 20,3% от массы исходной навески.

Вопросы.

1. Помогите поросятам определить металл X и соединение А.
2. Напишите уравнения всех описанных в задаче реакций.
3. Где может использоваться металл X и его соединения? Назовите две области применения.
4. Что случится с волком или поросятами, если они не будут соблюдать технику безопасности при работе с металлом X и его соединениями?

Задача 2



Me – метильный радикал CH_3 , Ph- фенильный радикал C_6H_5 .

- А является минералом элемента X, находящегося в 13 группе периодической таблицы Менделеева, и относится к классу солей, кристаллизующихся из водных растворов в виде гидратов. Элемент X входит в состав аниона. Этот минерал используют в аналитической химии при стандартизации растворов кислот. Массовая доля элемента X в соединении А = 0,1152.
- Твердость Ж выше твердости карборунда и приближается к твердости алмаза.
- Массовая доля элемента X в соединении З 0,1341.
- Молекула соединения И имеет ось симметрии 3 порядка.

Вопросы.

1. Определите элемент X, формулу и название минерала А.
2. Определите все вещества Б-М, представленные на схеме.
3. Изобразите структурные формулы для веществ: И, К, М.
4. Опишите пространственное строение молекул Л и З в газообразном состоянии.
5. Напишите уравнения следующих реакций:



Задача 3

А и **В** представляют собой индивидуальные бесцветные соли, растворимые в воде и являющиеся сильными окислителями. Известно, что как **А**, так и **В**, состоят из атомов трех элементов. Водные растворы соли **А** относительно устойчивы, в то время как растворы соли **В** начинают разлагаться уже при комнатной температуре. Для ускорения разложения растворы **А** и **В** прокипятили с обратным холодильником, при этом из раствора **А** выделился газ **Х**, из раствора **В** - смесь газов **Х** и **У** (оба газа не обладают ни цветом, ни запахом). Плотности **Х**, смеси **Х** и **У**, **У** соотносятся как 1:1,25:1,375. рН каждого раствора после кипячения заметно изменился, в одном случае сместившись в сильноокислую, в другом – в сильнощелочную область. Смешение прокипяченных растворов привело к образованию газа **У**. В конечном растворе после смешения осталась только хорошо известная каждому школьнику соль **С**. Раствор соли **С** имеет нейтральную реакцию. Из 4,05 г **А** и 2,97 г **В** (вещества взяты в эквимолярном соотношении) в итоге получилось 5,22 г **С**. В ходе экспериментов в пересчете на н.у. выделилось 168 мл **Х**, 504 мл смеси **Х** и **У**, 336 мл **У**. Известно, что соль **С** состоит из тех же трех элементов, что и соль **А**, и ни в одном из зашифрованных соединений не содержится водород.

В таблице приведено массовое содержание элементов 1-3 в **А** и **С**:

Соединение/Элемент	1	2	3
А	28,89%	23,70%	47,41%
С	44,83%	18,39%	36,78%

Вопросы.

1. Рассчитайте мольное отношение газов **Х** и **У** в смеси, выделившейся из раствора **В**. Установите газы **Х** и **У**, элементы **1-3**. Из каких элементов состоит вещество **В**?
2. Расшифруйте вещества **А**, **В** и **С**, назовите их, изобразите структурные формулы анионов солей.
3. Напишите уравнения реакций, описанных в условии.
4. Как можно получить соли **А** и **В**? Напишите уравнения реакций их получения, укажите условия.
5. Напишите уравнения реакций соли **А**: а) с концентрированной соляной кислотой; б) с подкисленным раствором сульфата марганца(II).

Задача 4

В таблице приведены свойства известных нуклидов свинца, тория и урана.

Нуклид	Атомная масса	Распространенность в природе, ат. %	Период полураспада, $T_{1/2}$	Тип и энергия распада, МэВ
$^{204}_{82}\text{Pb}$	203,973020	1,4	стабилен	
$^{205}_{82}\text{Pb}$	204,974458	0	$1,51 \cdot 10^7$ лет	ЭЗ(0,052): γ
$^{206}_{82}\text{Pb}$	205,974440	24,1	стабилен	
$^{207}_{82}\text{Pb}$	206,975872	22,1	стабилен	
$^{208}_{82}\text{Pb}$	207,976627	52,4	стабилен	
$^{210}_{82}\text{Pb}$	209,984163	Следы	22,3 года	$\beta^-(0,063)$ 81%: (0,061) 19%: γ
$^{214}_{82}\text{Pb}$	213,999798	Следы	26,8 часа	$\beta^-(1,032)$ 48%: (0,73) 52%: γ
$^{228}_{90}\text{Th}$	228,028715	Следы	1,913 года	$\alpha(5,520)$: γ
$^{229}_{90}\text{Th}$	229,031755	0	7300 лет	$\alpha(5,168)$: γ
$^{230}_{90}\text{Th}$	230,033127	Следы	75400 лет	$\alpha(4,771)$: γ
$^{231}_{90}\text{Th}$	231,036298	Следы	25,5 часа	$\beta^-(0,389)$: γ
$^{232}_{90}\text{Th}$	232,038054	100	$1,4 \cdot 10^{10}$ лет	$\alpha(4,081)$: γ
$^{234}_{90}\text{Th}$	234,036593	Следы	24,1 дня	$\beta^-(0,270)$: γ
$^{234}_{92}\text{U}$	234,040946	0,005	$2,45 \cdot 10^5$ лет	$\alpha(4,856)$: γ
$^{235}_{92}\text{U}$	235,043924	0,720	$7,04 \cdot 10^8$ лет	$\alpha(4,6793)$: γ
$^{236}_{92}\text{U}$	236,045562	0	$2,34 \cdot 10^7$ лет	$\alpha(4,569)$: γ
$^{238}_{92}\text{U}$	238,050784	99,275	$4,46 \cdot 10^9$ лет	$\alpha(4,039)$: γ

ЭЗ – электронный захват ядром электрона с 1s орбитали.

Вопросы.

1. Торий и уран не имеют стабильных нуклидов и распадаются (в несколько стадий) с образованием стабильных нуклидов свинца. При этом выделяются α -частицы, уносящие основную массу и β -частицы, компенсирующие только изменение заряда. Напишите суммарные уравнения реакций ядерных превращений природных нуклидов урана и тория.
2. Рассчитайте атомные массы свинца, тория и урана в природе.

3. Объясните, почему содержание в природной смеси ^{234}U составляет 0,005% ($T_{1/2} = 2,45 \cdot 10^5$ лет), а $^{236}\text{U} - 0\%$ (объяснение подтвердите расчетом).
4. Ф. Содди (нобелевский лауреат 1921 г. по химии: «за вклад в химию радиоактивных веществ и за проведенное им исследование природы и происхождения изотопов») в 1914 г. показал, что «обычный свинец фактически представляет собой смесь изотопов». Им были предприняты попытки определения атомной массы свинца, образующегося при распаде тория и урана. Для исследования были взяты минералы **торианит** (ThO_2) и **урановая смолка** (U_3O_8). Торианит был подвергнут восстановительному хлорированию ($\text{C} + \text{Cl}_2$) при 900°C . Возоогнаные продукты хлорирования были растворены в воде и сероводородом был осажден черный осадок, который был обожжен на воздухе до образования желтого порошка. При прокаливании точной навески полученного порошка в потоке чистого водорода при 600°C был получен темный остаток, масса которого позволяла рассчитать атомную массу свинца, выделенного из торианита.

Урановая смолка была растворена при нагревании с концентрированной азотной кислотой (уран в растворе находился в форме нитрата уранила). Из полученного раствора сероводородом осаждался черный осадок. Дальнейшие процедуры были аналогичными.

- а) Напишите уравнения реакций, используемых в этих процессах;
- б) Рассчитайте теоретические значения атомных масс свинца, выделенного из торианита и из урановой смолки (полагая, что весь свинец образовался только при распаде тория или урана).
- в) Рассчитайте теоретическое значение изменения массы (вес.%) при прокаливании желтого порошка в токе водорода (для препаратов, выделенных из торианита и урановой смолки).

Задача 5

“Один опыт я ставлю выше, чем тысячу мнений, рожденных только воображением”.
М. В. Ломоносов

В монографии М. Ситтига «А, его производство, свойства и применение» (Госатомиздат, Москва, 1961 г.) написано: “А и Б выдерживают сплавление, не реагируя; однако при температуре $300\text{--}360^\circ\text{C}$ может происходить реакция на поверхности”. Авторы задачи, несколько усомнившись в справедливости этого утверждения, провели блиц-опрос сотрудников Института неорганической химии. Ответ на вопрос, верите ли Вы в то, что можно сплавить простые вещества А и Б без химического взаимодействия, был исключительно отрицательным. Однако солидность издания (глава «Реакции А с неорганическими

веществами» содержит ссылки на 471 надежный источник) не позволила считать этот факт чьей-то фантазией, и было решено проверить его экспериментально.

В первом опыте проверяли, безопасно ли это вообще, не рванет ли в руках? На часовое стекло поместили тонкую стружку вещества **A** и небольшой избыток вещества **B**. При слабом нагревании **B** потихоньку улетучилось, но вещество **A** покрылось толстой белой коркой. Остатки на часовом стекле спокойно растворились в воде, показывая, что вещества **A** все же не осталось.

Во втором опыте взаимодействие проверили на бóльших количествах. На такое же часовое стекло положили большой кусочек вещества **A**, засыпали большим избытком вещества **B** и поставили стекло на горячую плитку под тягой. **B** улетело, даже не дождав-шись, пока расплавится **A**. Оставшийся кусочек, покрытый белым налетом, бросили в воду. После этого стало ясно, что значительное количество **A** действительно не прореагировало при совместном нагревании с **B**.

Третий опыт проводили в пробирке, в которую поместили вещество **A**, большой избыток вещества **B**, закрыли пробкой и стали осторожно греть пробирку на плитке. При нагревании в пробирке **B** все-таки расплавилось, но, вот, что при этом произошло с **A**, заметить не удалось. Однако, добавив воды в эту пробирку, испытатели смогли однозначно утверждать, что, по крайней мере, часть вещества **A** выдержала сплавление с избытком **B** без химического взаимодействия.

Четвертый и пятый опыты проводили с точными навесками в запаянных ампулах. В ампулах содержалось по 0,5539 г **A** и по 3,056 г **B**. Первую ампулу (4-й опыт) нагревали при 400° С, вторую (5-й опыт) – при 150° С. Продукт, образовавшийся в 4-м опыте, спокойно растворился в воде с образованием прозрачного, практически бесцветного раствора. Раствор количественно перенесли в мерную колбу на 100,0 мл, довели до метки водой и определяли в нем содержание аниона **B**. Для этого к аликвотам (порциям или частям) раствора в 10,00 мл добавляли 1 мл $\text{NH}_3(\text{конц})$, медленно приливали по 50 мл 0,05 М раствора AgNO_3 (небольшой избыток) и отфильтровывали образовавшийся осадок. Средняя масса промытого и высушенного осадка составила 0,5656 г.

Содержимое второй ампулы внешне кардинально отличалось от содержимого первой. Тем не менее, оно также полностью растворилось в воде с образованием прозрачного, практически бесцветного раствора (правда, нельзя сказать, что растворение было спокойным). При определении содержания аниона **B** по методике, описанной для 4 опыта, средняя масса осадков в анализе проб из 5 опыта составила 0,5027 г.

Вопросы.

1. Определите вещество **Б**, воспользовавшись данными химического анализа. Можно считать, что в 4 опыте **А** и **Б** прореагировали практически количественно с образованием индивидуального соединения **В**.
2. В опыте 2 вещество **Б** улетучилось без плавления, а в опыте 3 расплавилось. Попробуйте объяснить, почему так произошло? В каком случае (на стекле или в пробирке) температура была выше?
3. Как же все-таки называлась монография, описывающая столь неожиданный для ученых факт (ответ обоснуйте расчетом)? Приведите формулу **В** и формулы 3-4 веществ, содержащихся в толстой белой корке, оставшейся от 1-го опыта.
4. По каким признакам испытатели смогли «однозначно утверждать, что, по крайней мере, часть вещества **А** выдержала сплавление с избытком **Б** без химического взаимодействия»? Какой цвет имел раствор, полученный при добавлении воды в пробирку, в которой проводился 3-й опыт? Какое строение имеют частицы, обуславливающие этот цвет (изобразите геометрию с указанием значений валентных углов)? Напишите уравнения реакций, в ходе которых образовались эти частицы.
5. Укажите точно, в чем именно состоит внешнее отличие содержимого второй ампулы (опыт 5) от содержимого первой (опыт 4) после нагревания. Напишите уравнения реакций, прошедших при растворении в воде содержимого второй ампулы. Полученный раствор содержит частицы, отсутствующие в растворе продукта 4 опыта. Назовите их, опишите строение (геометрия, валентные углы), рассчитайте концентрацию этих частиц в мерной колбе в г/л.
6. Есть ещё одна гравиметрическая методика определения аниона **Б**. К анализируемому раствору медленно прибавляют разбавленный раствор PdCl_2 , подкисленный соляной кислотой, до прекращения выпадения осадка. Раствор с осадком оставляют стоять 24-48 ч, после чего отфильтровывают осадок, промывают, сушат при $90-95^\circ\text{C}$ в течение 1 ч и взвешивают. Однако, более точные результаты получаются, если этот осадок прокалить в атмосфере водорода, охладить, смочить спиртом, поджечь, а уже после выгорания спирта охладить и взвесить. Какие реакции лежат в основе этой методики? Какова будет теоретическая масса конечного продукта, если провести анализ аликвоты из 4 опыта по этой методике? Почему взвешивание первоначального осадка дает не очень точные результаты, и с какой целью конечный осадок обжигают в спирте?