

Приступая к выполнению заданий, вы подтверждаете, что профиль и класс в заданиях соответствует сведениям, указанным вами при регистрации.

Время выполнения заданий – 180 минут

Максимальное количество баллов – 100.

Напоминание: вычисления в расчетных задачах необходимо вести с точностью приведенных в условии значений

Задача 1.

В Саксонии в XVII веке горняки часто добывали минерал красноватого цвета, внешне напоминающего медную руду. Однако, все попытки выплавить из него чистую медь оказывались неудачными, а в воздухе образовывались ядовитые соединения элемента Э. Metallурги были уверены, что их обманывает злой дух гор — гном Старый Ник. За это минерал получил насмешливо-ругательное название Kupfernickel, то есть «медь-обманщик» или «дьявольская медь».

Известно, что этот минерал - бинарное соединение А, содержащее в своем составе металл М ($\omega(\text{М}) = 44.0\%$ и $\xi(\text{М})^* = 50\%$). При обжиге А на воздухе (реакция 1) образуется два продукта, один из которых – бинарное газообразное (в условиях повышенных температур, при 25°C - твердое) соединение Б ($\omega(\text{А}) = 75.8\%$). Второй продукт обжига – соединение В, используют для получения чистого металла М. Для этого В прокаливают с древесным углем при высоких температурах (реакция 2).

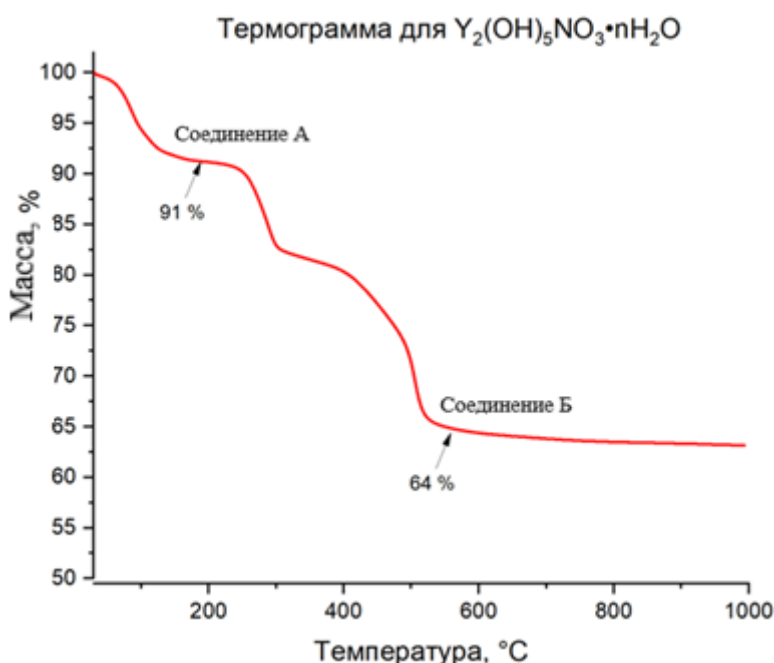
При взаимодействии металла М с серной кислотой образуется раствор соли Г зеленого цвета и выделяется газ Д, который в 14.5 раз легче воздуха (реакция 3). При добавлении к раствору соли Г щелочи выпадает осадок Е (реакция 4), который при нагревании разлагается на воду и порошок болотного цвета В (реакция 5).

* $\xi(\text{М})$ - атомная доля (М) в соединении А

1. Назовите вещества Э, М, А, Б, В, Г, Д, Е, Ж и напишите уравнения описанных выше реакций.
2. Как доказать чистоту полученного газа Д в лаборатории?
3. Металл М часто добавляют к золоту, чтобы получить смесь, называемую "белым золотом". Однако у некоторых людей этот металл вызывает аллергию при ношении украшений, поэтому в современной Европе его содержание в ювелирных изделиях строго ограничено. Как называется твердый раствор одного металла в другом? Почему для изготовления украшений редко используют чистые металлы (например, чистое золото)?

Задача 2.

Слоистые гидроксиды редкоземельных элементов (к РЗЭ относятся лантаноиды, скандий и иттрий) состоят из слоев гидроксида металла и расположенных между ними анионов (нитратов, хлоридов). Они могут иметь состав $RE_2(OH)_5A \cdot nH_2O$ (RE – редкоземельный элемент, A – анион). Это универсальные материалы, которые используются как люминесцентные сенсоры, катализаторы, а также контрастные агенты для МРТ. При этом количество кристаллизационной воды (nH_2O) может варьироваться от 1 до 3 молекул (число n не обязательно принимает целое значение) в зависимости от влажности, в которой получали данные вещества. Для того чтобы определить количество кристаллизационной воды, обычно используют метод термogrавиметрического анализа (ТГА) – зависимость остаточной массы вещества от температуры отжига. На рисунке представлена термограмма слоистого гидроксонитрата иттрия состава $Y_2(OH)_5NO_3 \cdot nH_2O$:



1. Определите состав соединений **А** и **Б**, учитывая, что исходное вещество по химическим свойствам напоминает амфотерный гидроксид, а в соединении **Б** степень окисления иттрия - +3. Ответ подтвердите расчетами.
2. На какой стадии отжига должно происходить удаление кристаллизационной воды? Рассчитайте количество кристаллизационной воды в исходном кристаллогидрате с точностью до десятых
3. Предложите свой вариант термограммы для соединения $CuSO_4 \cdot 5H_2O$. Схематично изобразите график зависимости массы вещества от температуры отжига. Укажите на каждой ступени потери массы состав соединения, а также оставшийся процент от изначальной массы вещества.

Задача 3.

Однажды химик Артём решил узнать, какая из солей **А**, **Б**, **В**, **Г** металла **М**, известного как символ луны в Вавилоне, наименее растворима в воде. Согласно таблице растворимости, данные соли относятся к нерастворимым или малорастворимым, однако численные значения их растворимости отсутствуют. Для достижения своей цели в справочнике Артём нашёл значения молярностей m солей **А-Г** в их насыщенных водных растворах – параметру, равному числу молей растворенного вещества на 1 кг растворителя. $m(\mathbf{A}) = 1,3 \cdot 10^{-5}$ моль/кг; $m(\mathbf{Б}) = 1,3 \cdot 10^{-8}$ моль/кг; $m(\mathbf{В}) = 0,025$ моль/кг; $m(\mathbf{Г}) = 2,6 \cdot 10^{-17}$ моль/кг.

Известно, что соль **А** нерастворима в воде и является белым творожистым осадком ($\omega(\mathbf{М}) = 75.3\%$), а также может быть получена из соли **Б** и простого газообразного желто-зеленого вещества **Д**. При этом наблюдается выпадение белого творожистого осадка **А**, а также темно-фиолетового осадка простого вещества (реакция 1). Соль **В** ($\omega(\mathbf{М}) = 69.2\%$) при нагревании разлагается до металла **М** с выделением сернистого газа и кислорода (реакция 2). Также образование чистого металла **М** и сернистого газа можно наблюдать при совместном нагревании солей **В** и **Г** до 300°C (реакция 3).

1. Определите формулы всех неизвестных веществ и напишите уравнения вышеупомянутых реакций.
2. Рассчитайте растворимость солей **А-Г** (в граммах на 100 граммов воды).
3. Опишите кратко физико-химический процесс растворения твёрдых солей в воде, как происходит этот процесс. Предположите, почему одни соли растворимы в воде, а другие нет?

Задача 4.

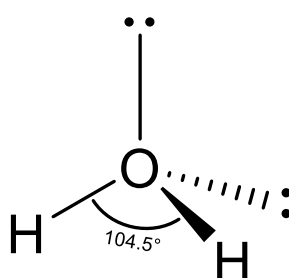
Известно, что в химической реакции её условия являются определяющим фактором для достижения нужного результата превращения. Варьирование температуры реакции, растворителя, давления, соотношения реагентов, катализатора и.т.д. является рутинной процедурой в каждой лаборатории.

1. Температурный контроль. Придумайте практические способы поддержания постоянной температуры реакции в ходе эксперимента (химической реакции) при -78 , 0 и 150 градусах Цельсия. Как достичь каждой из этих температур? Для каждого случая опишите метод и схематически изобразите лабораторную установку, подписав её основные элементы.

2. Приведите пример конкретной химической реакции, которая в разных условиях приводит к различным продуктам. Кратко объясните причину этого явления.

Задача 5.

Геометрия большинства неорганических ковалентных соединений описывается теорией отталкивания электронных пар: молекула всегда будет принимать форму, при которой отталкивание внешних (неподелённых) электронных пар минимально. Например, молекула воды (с учётом двух неподелённых электронных пар на атоме кислорода) имеет угловую форму, а её полная электронная геометрия - искажённая пирамида с углом $\angle\text{НОН} = 104.5^\circ$.



1. Приведите пример линейной молекулы, состоящей из 3 атомов.
2. Почему валентный угол $\angle\text{НОН}$ в молекуле воды значительно больше, чем угол $\angle\text{НСН}$ молекуле сероводорода (92°)?
3. Предположите пространственное строение соединений CH_4 , BCl_3 и BeF_2 , используя теорию отталкивания электронных пар. Укажите название формы (фигуры), которую приобретает молекула.
4. Какие недостатки у теории отталкивания электронных пар? К каким соединениям она неприменима и почему?

Задача 6.

Юный исследователь Алексей проводил эксперимент с соляной кислотой и кусочком мела (основной компонент мела — карбонат кальция). Он налил в прозрачный герметичный пакет немного раствора соляной кислоты и бросил туда многократный избыток чистого мела (по массе). Затем Алексей быстро застегнул пакет. Пакет лежал на столе, а Алексей наблюдал за ним:

- Сразу же пакет начал раздуваться, началось бурное выделение газа.

- Через несколько минут видимое выделение пузырьков газа прекратилось. При этом герметично закрытый пакет, вместо того чтобы оставаться раздутым, начал медленно сдуваться.
 - Если после этого начать нагревать пакет с его содержимым, выделение газа возобновится.
1. Рассчитайте количество вещества (моль) мела, которое нужно добавить к 50 мл 10%-ной соляной кислоты (плотность 1.05 г/мл), чтобы он оказался в десятикратном избытке по массе относительно соляной кислоты.
 2. Почему вначале пошел активный процесс выделения газа? Что происходит после этого, почему пакет сдувается? Предложите химическую причину, напишите уравнение(я) реакции(й).
 3. Что происходит при нагревании пакета? Напишите уравнение(я) соответствующей(их) реакции(й).
 4. Почему для эксперимента важен избыток мела? Что изменилось бы, если бы мел был в недостатке или в строго стехиометрическом количестве?
 5. Как бы изменится ход эксперимента, если вместо мела использовать питьевую соду (NaHCO_3)? Аргументируйте свой ответ.

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

	1	2	3		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H 1,008																		2 He 4,0026
2	3 Li 6,941	4 Be 9,0122												5 B 10,811	6 C 12,011	7 N 14,007	8 O 15,999	9 F 18,998	10 Ne 20,180
3	11 Na 22,990	12 Mg 24,305												13 Al 26,982	14 Si 28,086	15 P 30,974	16 S 32,066	17 Cl 35,453	18 Ar 39,948
4	19 K 39,098	20 Ca 40,078	21 Sc 44,956		22 Ti 47,867	23 V 50,942	24 Cr 51,996	25 Mn 54,938	26 Fe 55,845	27 Co 58,933	28 Ni 58,693	29 Cu 63,546	30 Zn 65,39	31 Ga 69,723	32 Ge 72,61	33 As 74,922	34 Se 78,96	35 Br 79,904	36 Kr 83,80
5	37 Rb 85,468	38 Sr 87,62	39 Y 88,906		40 Zr 91,224	41 Nb 92,906	42 Mo 95,94	43 Tc 98,906	44 Ru 101,07	45 Rh 102,91	46 Pd 106,42	47 Ag 107,87	48 Cd 112,41	49 In 114,82	50 Sn 118,71	51 Sb 121,75	52 Te 127,60	53 I 126,91	54 Xe 131,29
6	55 Cs 132,91	56 Ba 137,33	57 La 138,91	*	72 Hf 178,49	73 Ta 180,9	74 W 183,84	75 Re 186,21	76 Os 190,23	77 Ir 192,22	78 Pt 195,08	79 Au 196,97	80 Hg 200,59	81 Tl 204,38	82 Pb 207,20	83 Bi 208,98	84 Po [209]	85 At [210]	86 Rn [222]
7	87 Fr [223]	88 Ra [226]	89 Ac [227]	**	104 Rf [265]	105 Db [268]	106 Sg [271]	107 Bh [270]	108 Hs [277]	109 Mt [276]	110 Ds [281]	111 Rg [280]	112 Cn [285]	113 Nh [284]	114 Fl [289]	115 Mc [288]	116 Lv [293]	117 Ts [294]	118 Og [294]

*	58 Ce 140,12	59 Pr 140,91	60 Nd 144,24	61 Pm [145]	62 Sm 150,36	63 Eu 151,96	64 Gd 157,25	65 Tb 158,93	66 Dy 162,50	67 Ho 164,93	68 Er 167,26	69 Tm 168,93	70 Yb 173,04	71 Lu 174,97
**	90 Th 232,04	91 Pa 231,04	92 U 238,029	93 Np [237]	94 Pu [242]	95 Am [243]	96 Cm [247]	97 Bk [247]	98 Cf [251]	99 Es [252]	100 Fm [257]	101 Md [258]	102 No [259]	103 Lr [262]

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ РЯД НАПРЯЖЕНИЙ МЕТАЛЛОВ

Li, Rb, K, Cs, Ba, Sr, Ca, Na, Mg, Be, Al, Mn, Zn, Cr, Fe, Cd, Co, Ni, Pb, (H), Bi, Cu, Hg, Ag, Pd, Pt, Au

РАСТВОРИМОСТЬ СОЛЕЙ, КИСЛОТ И ОСНОВАНИЙ В ВОДЕ

анион катион	OH ⁻	NO ₃ ⁻	F ⁻	Cl ⁻	Br ⁻	I ⁻	S ²⁻	SO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HPO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	CH ₃ COO ⁻	C ₂ O ₄ ²⁻
H ⁺		P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
NH ₄ ⁺	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	–	P	P
Li ⁺	P	P	M	P	P	P	P	P	P	M	P	M	P	P
Na ⁺ , K ⁺	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
Ag ⁺	–	P	P	H	H	H	H	H	M	H	–	H	P	H
Mg ²⁺	H	P	H	P	P	P	–	M	P	M	M	H	P	M
Ca ²⁺	M	P	H	P	P	P	–	H	M	H	H	H	P	H
Ba ²⁺	P	P	M	P	P	P	P	H	H	H	H	H	P	H
Mn ²⁺	H	P	P	P	P	P	H	H	P	H	H	H	P	M
Fe ²⁺	H	P	P	P	P	P	H	H	P	H	–	H	P	M
Co ²⁺	H	P	P	P	P	P	H	H	P	H	–	H	P	H
Cu ²⁺	H	P	P	P	P	–	H	–	P	–	–	H	P	H
Zn ²⁺	H	P	H	P	P	P	H	H	P	H	–	H	P	H
Pb ²⁺	H	P	M	M	M	M	H	H	H	H	H	H	P	H
Hg ²⁺	–	P	–	P	M	H	H	–	P	–	–	–	P	H
Fe ³⁺	H	P	P	P	P	–	–	–	P	–	–	H	P	–
Al ³⁺	H	P	P	P	P	P	–	–	P	–	–	H	P	H
Cr ³⁺	H	P	P	P	P	P	–	–	P	–	–	H	P	–

Р: растворимо, **М:** малорастворимо (< 0,1 М), **Н:** нерастворимо (< 10⁻³ М), **–:** не образуется в водном растворе либо данные отсутствуют