Время выполнения заданий – 240 минут
Максимальное количество баллов – 100.
Напоминание: вычисления в расчетных задачах необходимо вести с точностью приведенных в условии значений

Задача 1. ***Анализ сплава***

Для анализа сплава, содержащего алюминий, железо и никель, взяли навеску неизвестной массы. В первую очередь, навеску обработали избытком концентрированного водного раствора KOH при нагревании **(*реакция 1*)**. Выделилось 18,7 л водорода (н.у.). Не растворившийся твёрдый остаток отфильтровали, промыли водой и высушили до постоянной массы, масса остатка составила 35,0 г.

Затем, навеску сплава с такой же массой полностью растворили в избытке горячей концентрированной азотной кислоты **(*реакции 2-4*)**. Получили раствор жёлто-зелёного цвета. К полученному раствору добавили избыток концентрированного раствора KOH **(*реакции 5-7*)**. Осадок отфильтровали, промыли и высушили до постоянной массы, масса осадка составила 63,6 г.

1) Определите массу навески.

2) Определите массовую долю алюминия в сплаве.

3) Определите массовые доли железа и никеля в сплаве.

4) Напишите уравнения реакций 1-7.

Решение:

1) В щелочи из трех металлов реагирует только алюминий:
$2Al + 2KOH + 6H_2O = 2K[Al(OH)_4] + 3H_2$.
2) Количество выделившегося водорода:
$n(H_2) = 18,7 / 22,4 = 0,835$ моль.
По стехиометрии реакции 2 моль Al дают 3 моль H_2, следовательно:
$n(Al) = 0,835 * 2 / 3 = 0,557$ моль,
$m(Al) = 0,557 * 27 = 15,0$ г.
$w(Al) = 15,0 / 50,0 * 100\% = 30,0\%$.
3) После действия щелочью в остатке находятся не растворившиеся в щёлочи Fe и Ni, поэтому: $m(Fe) + m(Ni) = 35,0$ г.
Таким образом масса исходной навески составляет 35 + 15 г = 50,0 г.
Во второй серии опытов после растворения сплава в HNO_3 и добавления избытка KOH железо и никель выпадают в осадок в виде $Fe(OH)_3$ и $Ni(OH)_2$, а алюминий в избытке щелочи остается в растворе в виде алюмината.
Для нахождения исходных количеств железа и никеля составим систему уравнений.
Пусть $x = n(Fe)$, $y = n(Ni)$, тогда получаем систему:

$$\begin{cases} 56x + 59y = 35,0 \\ 107x + 93y = 63,6 \end{cases}$$

Решая систему, находим:
$x = 0,450$ моль, $y = 0,166$ моль.

Тогда:
m(Fe) = 0,450 * 56 = 25,2 г,
m(Ni) = 0,166 * 59 = 9,8 г.
Массовые доли в сплаве:
w(Al) = 15,0 / 50,0 * 100% = 30,0%,
w(Fe) = 25,2 / 50,0 * 100% = 50,4%,
w(Ni) = 9,8 / 50,0 * 100% = 19,6%.
4) Уравнения реакций:

1) $2Al + 2KOH + 6H_2O = 2K[Al(OH)_4] + 3H_2$.
2) $Al + 6HNO_3 = Al(NO_3)_3 + 3NO_2 + 3H_2O$,
3) $Fe + 6HNO_3 = Fe(NO_3)_3 + 3NO_2 + 3H_2O$,
4) $Ni + 4HNO_3 = Ni(NO_3)_2 + 2NO_2 + 2H_2O$,
5) $Fe(NO_3)_3 + 3KOH = Fe(OH)_3 + 3KNO_3$,
6) $Ni(NO_3)_2 + 2KOH = Ni(OH)_2 + 2KNO_3$,
7) $Al(NO_3)_3 + 4KOH = K[Al(OH)_4] + 3KNO_3$.

Критерии оценивания

Установление массы навески	2 балла	
Определение массовой доли алюминия	3 балла	
Определение массовой доли железа и никеля	6 баллов	По 3 балла за верное определение каждого из металлов.
Уравнения реакций	7 баллов	По 1 баллу (в случае неверных коэффициентов в уравнении по 0,5 баллов)
Всего	**18 баллов**	

Задача 2. ***Грязные колбы***

Часто в лаборатории после синтеза возникает задача отмыть реакционный сосуд от остатков проведенного эксперимента. Если не удается отмыть колбу стандартными способами (промывание водой, механическая очистка), то химики используют смесь “пиранью”. Она практически гарантированно позволяет очистить необходимую поверхность от загрязнений.



Для приготовления “пираньи” лаборант взял два очень сильных окислителя – 20 мл 98% раствора H_2SO_4 с плотностью 1,84 г/см³ и X мл 30%-ной перекиси водорода с плотностью 1,11 г/см^3. При этом происходит образование кислоты Каро H_2SO_5.

1) Определите объем взятой перекиси водорода, если известно, что в полученном растворе отношение количества атомов кислорода к количеству атомов серы равно 14.
2) Какой порядок действий будет верным с точки зрения техники безопасности: прилить серную кислоту к пероксиду водорода или пероксид водорода к серной кислоте? Аргументируйте свой ответ.
3) Верно приготовив смесь, лаборант решил отмыть свои колбы. Запишите уравнения реакции, происходящие при взаимодействии “пираньи” с углеродом, глюкозой ($C_6H_{12}O_6$) и сульфидом железа (II).
4) Основной недостаток такой очищающей смеси – необходимость ее использования только в свежеприготовленном виде. Объясните почему по прошествии времени эта смесь теряет свою активность.

Решение:

1) Масса раствора серной кислоты:

$m(H_2SO_4) = 20 * 1,84 = 36,8$ г.

Масса чистой H_2SO_4:

$m(H_2SO_4) = 0,98 * 36,8 = 36,064$ г,

$n(H_2SO_4) = 36,064 / 98,08 = 0,3677$ моль.

Пусть объем 30%-ного раствора H_2O_2 равен X мл. Тогда масса этого раствора равна 1,11X г,

$m(H_2O_2) = 0,30 * 1,11X = 0,333X$ г,

$n(H_2O_2) = 0,333X / 34,01 = 0,00979X$ моль.

Масса воды в этом растворе:

$m(H_2O) = 0,70 * 1,11X = 0,777X$ г,

$n(H_2O) = 0,777X / 18,015 = 0,04312X$ моль.

В 98%-ной серной кислоте также есть вода – 2% по массе:

$m(H_2O) = 0,02 * 36,8 = 0,736$ г,

$n(H_2O) = 0,736 / 18,015 = 0,0408$ моль.

Число атомов серы определяется только серной кислотой:

$n(S) = 0,3677$ моль.

Общее число молей атомов кислорода в смеси:

$n(O) = 4n(H_2SO_4) + 2n(H_2O_2) + n(H_2O)$.

Подставляя значения в выражение, получаем:

$4 * 0,3677 + 2 * 0,00979X + (0,0408 + 0,04312X) = 14 * 0,3677$.

Решая данное уравнение получаем, что X = 58 мл.

2) Правильный порядок смешения: медленно приливать менее плотный раствор H_2O_2 к более плотной H_2SO_4 при охлаждении. Смешение сильно экзотермично, поэтому именно такой порядок позволяет лучше контролировать нагрев и снижает риск бурного разложения и разбрызгивания.

3) Окислительные уравнения можно записать с H_2SO_5:

$C + 2H_2SO_5 = CO_2 + 2H_2SO_4$,

$C_6H_{12}O_6 + 12H_2SO_5 = 6CO_2 + 6H_2O + 12H_2SO_4$,

$2FeS + 9H_2SO_5 = Fe_2(SO_4)_3 + 8H_2SO_4 + H_2O$.

4) Со временем H_2O_2 и H_2SO_5 разлагаются с образованием H_2SO_4, H_2O и O_2, поэтому концентрация активных пероксосоединений уменьшается и смесь теряет окислительную способность.

Критерии оценивания

Установление объема раствора перекиси водорода	4 балла	
Верный порядок добавления с обоснованием	2 балла	
Уравнения реакций	6 баллов	По 2 балла (в случае неверных коэффициентов в уравнении по 1 баллов)
Верное объяснение	2 балла	За любое упоминание разложения пероксосоединений
Всего	**14 баллов**	

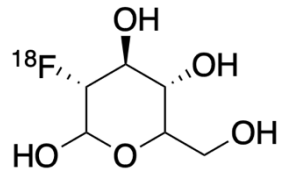
Задача 3. ***Радиофтор-18***

Позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ) – это радионуклидный томографический метод диагностики, который позволяет исследовать внутренние органы человека. В

ПЭТ одним из самых популярных изотопов является ^{18}F. Его получают на циклотроне, облучая обогащенную тяжелую воду $H_2{}^{18}O$ протонами.

1) Запишите уравнение реакции получения фтора-18.
2) Рассчитайте дефект массы реакции (в г/моль) при образовании ^{18}F.
3) Определите энергию, выделяющуюся или поглощающуюся при этом (в Дж/моль). Сколько тонн бензина необходимо сжечь для того, чтобы компенсировать такое количество энергии?

В ходе синтеза радиофармпрепарата (фтордезоксиглюкозы, $C_6H_{11}{}^{18}FO_5$), был получен водный раствор массой 100 граммов с массовой долей препарата 1%, активность полученного препарата составила $4 \cdot 10^8$ Бк (1 Бк = 1 распад в 1 секунду).



фтордезоксиглюкоза

4) Рассчитайте, какая атомная доля ^{18}F в полученном образце фтордезоксиглюкозы (среди всех атомов фтора).
5) Рассчитайте, какая активность препарата будет перед введением пациенту, если после синтеза 55 минут ушло на транспортировку препарата от циклотрона до клиники?
6) Какая доля радиоактивных атомов (от изначальной) останется в пациенте спустя 11 часов после синтеза?

Справочная информация:

Период полураспада ^{18}F = 110 минут

Частица	Масса
^{18}O	17,999159 г/моль
^{18}F	18,000938 г/моль
p	1,007276 г/моль
n	1,008664 г/моль
e	0,000548 г/моль

$E = mc^2$, где E – энергия, m – масса, c – скорость света в вакууме ($3 \cdot 10^8$ м/с).

Скорость радиоактивного распада описывается уравнением реакции 1-го порядка:

$\frac{\Delta N}{\Delta T} = kN$, где ΔN – количество распавшегося изотопа, ΔT – прошедшее время, N – исходное количество изотопа, k – константа радиоактивного распада, которую можно посчитать, используя формулу: $t_{1/2} = \frac{0.693}{k}$.

Теплота сгорания бензина (C_8H_{18}) = 44 МДж/кг.

Решения:

1) Ядерная реакция получения фтора-18: $^{18}O + {}^1p = {}^{18}F + {}^1n$.
2) Суммарная масса исходных частиц: m(исх.) = 17,999159 + 1,007276 = 19,006435 г/моль.
Суммарная масса продуктов: m(прод.) = 18,000938 + 1,008664 = 19,009602 г/моль.

Дефект массы реакции:
$_{\Delta}m = 19,006435 - 19,009602 = -0,003167$ г/моль.
Отрицательный знак означает, что энергия в реакции поглощается.
Переведем в кг/моль:
$_{\Delta}m = -3,167 * 10^{-6}$ кг/моль.
3) Энергетический эффект:
$E = {}_{\Delta}mc^2 = -3,167 * 10^{-6} * (3 * 10^8)^2 = -2,85 * 10^{11}$ Дж/моль.
Эквивалентная масса бензина:
$m = 2,85 * 10^{11} / 4,4 * 10^7 = 6,48 * 10^3$ кг = 6,5 т.
4) В 100 г раствора с массовой долей ФДГ 1,00% содержится 1,00 г ФДГ.
Молярная масса $C_6H_{11}{}^{18}FO_5$ приблизительно равна 181 г/моль, поэтому:
$n(ФДГ) = 1,00 / 181 = 5,52 * 10^{-3}$ моль.
Так как в одной молекуле ФДГ один атом фтора, общее количество атомов всех изотопов фтора:
$n(F, общее) = 5,52 * 10^{-3}$ моль.
Константа скорости распада:
$k = \ln(2) / T_{1/2} = 0,693 / 6600 = 1,05 * 10^{-4}$ с$^{-1}$.
Число радиоактивных атомов можно рассчитать используя уравнение скорости реакции $A = kN$:
$N = A / k = 4 * 10^8 / 1,05 * 10^{-4} = 3,81 * 10^{12}$ атомов.
Количество вещества ^{18}F:
$n(^{18}F) = N / N_A = 3,81 * 10^{12} / 6,022 * 10^{23} = 6,32 * 10^{-12}$ моль.
Атомная доля ^{18}F среди всех атомов фтора:
$X = 6,32 * 10^{-12} / 5,52 * 10^{-3} = 1,15 * 10^{-9} = 1,15 * 10^{-7}$ %.
5) Активность через 55 мин:
$A = A_0 * 2^{(-55/110)} = 4 * 10^8 * 2^{(-0,5)} = 2,83 * 10^8$ Бк.
6) Через 11 ч, то есть через 660 мин пройдет 6 периодов полураспада, остается:
$N/N_0 = 2^{-6} = 1/64 = 0,0156$, то есть 1,56% от изначального количества изотопа 18-фтора.

Критерии оценивания

Уравнение получения ^{18}F	2 балла	
Расчет дефекта массы	3 балла	
Расчет энергии и массы бензина	3 балла	
Атомная доля радиоактивного изотопа фтора	4 балла	
Активность перед введением пациенту	3 балла	
Доля оставшихся изотопов после 11 часов	3 балла	
Всего	**18 баллов**	

Задача 4. ***Как часто вы думаете о Римской Империи?***

По одной из исторических версий повсеместное использование материалов и предметов, сделанных из простого вещества **X** является причиной гибели

древнеримской цивилизации. Так, древние римляне использовали водопроводные трубы и кухонную утварь, содержащие **X**.

На воздухе данное простое вещество тускнеет и покрывается тонкой пленкой оксида **A** (ω(O) = 7,17%) ***(реакция 1)***. При комнатной температуре **X** довольно инертен по отношению к соляной и серной кислотам, так как покрывается защитной плёнкой из нерастворимой соли, однако легко реагирует на воздухе даже со слабой уксусной кислотой ***(реакция 2)***. Получаемое вещество **B** еще иногда называется "_____ сахаром", за его сладкий вкус.

Соединения **X** часто используются в изобразительном искусстве, так, например соединение **C** используется в качестве красного пигмента, а **D** в качестве белого пигмента. При нагревании **C** способно разлагаться ***(реакция 3)***, при этом потеря массы составляет 2,33%, а в сухом остатке остается только вещество **A**. Из-за своего белоснежного цвета **D** входит в состав белых красок, однако со временем краски начинают темнеть и впоследствии белая краска превращается в черную, а всему виной соединение **E**, которое образуется при реакции газа с неприятным запахом **F** и вещества **D** ***(реакция 4)***. Для восстановления белого цвета краски потемневшие произведения искусства обрабатывают водным раствором вещества **G** ***(реакция 5)***. Про жидкость **G** дополнительно известно, что она способна разлагаться, образуя среди продуктов только воду и кислород ***(реакция 6)***.

1) Определите вещества **A-G** и **X**. Подтвердите ваш ответ расчетами.
2) Напишите уравнения ***реакций 1-6***.
3) На картине содержится около 0,5 г потемневшей краски (соединения **E**). Найдите минимальную массу 3%-ного раствора **G**, необходимого для обеления краски, если считать, что ***реакция 5*** протекает с выходом 20%.
4) Почему использование в быту **X** могло являться причиной гибели древнеримской цивилизации?

Решения:

1) Простое вещество X - свинец Pb.

Для оксида A проверим состав PbO:

w(O) = 16 / (207,2 + 16) = 0,0717 = 7,17%, следовательно A = PbO.

При действии уксусной кислоты образуется ацетат свинца(II), так называемый «свинцовый сахар»:

B = $Pb(CH_3COO)_2$.

Красный пигмент C должен при нагревании терять кислород. Для Pb_3O_4:

$2Pb_3O_4 = 6PbO + O_2$.

Потеря массы составляет 16 / (3*207,2 + 64) = 2,33%, значит C = Pb_3O_4.

Белый пигмент D – $PbSO_4$.

Газ F с неприятным запахом - H_2S.

Черное соединение E - PbS.

Вещество G, разлагающееся на воду и кислород, - H_2O_2.

2) Уравнения реакций:

1) $2Pb + O_2 = 2PbO$,
2) $2Pb + 4CH_3COOH + O_2 = 2Pb(CH_3COO)_2 + 2H_2O$,
3) $2Pb_3O_4 = 6PbO + O_2$,
4) $PbSO_4 + H_2S = PbS + H_2SO_4$,
5) $PbS + 4H_2O_2 = PbSO_4 + 4H_2O$,
6) $2H_2O_2 = 2H_2O + O_2$.

3) Рассчитаем количество PbS:

$n(PbS) = 0,50 / (207,2 + 32,06) = 2,09 * 10^{-3}$ моль.

По уравнению реакции требуется 4 моль H_2O_2 на 1 моль PbS:

$n(H_2O_2, теор.) = 4 * 2,09 * 10^{-3} = 8,36 * 10^{-3}$ моль.

При выходе 20% необходимо в 5 раз больше:

$n(H_2O_2) = 4,18 * 10^{-2}$ моль.

$m(H_2O_2) = 4,18 * 10^{-2} * 34,01 = 1,42$ г.

Следовательно, масса 3%-ного раствора:

m(р-ра) = 1,42 / 0,03 = 47,3 г.

4) Свинец и его соединения токсичны, вызывают хронические отравления, поражение нервной системы, почек и пищеварительного тракта, поэтому их широкое применение действительно могло вредить здоровью.

Критерии оценивания

Вещества A, B, C, D, E, F, G, X	8 баллов	По 1 баллу
Уравнения реакций 1-6	6 баллов	По 1 баллу (в случае неверных коэффициентов в уравнении по 0,5 баллов)
Минимальная масса H_2O_2	2 балла	
Потенциальная причина	2 балла	
Всего	**18 баллов**	

Задача 5. ***Растворение шара***



Вася решил стать химиком. В качестве своего первого эксперимента он решил исследовать красивое папино пресс-папье синего цвета в виде шара из азурита диаметром 10 см. Сначала он положил шар в воду. Шар в воде растворяться не пожелал, зато крайне быстро утонул. «Ага, да он плотнее воды!» - понял Вася. Затем Вася решил определить его плотность. Взвесив шар на домашних весах, он выяснил, что пресс-папье весит ровно 2,00 кг. Мерного стакана для определения объёма Вася не нашёл, поэтому с определением плотности у него не заладилось. Тогда он решил положить пресс-папье в стакан с уксусом и увидел выделение пузырьков газа без цвета и запаха. «Ага, нужно измерить объём газа!» - подумал Вася и натянул на стакан воздушный шар. За первые 5 минут радиус пресс-папье уменьшился на 20%. Вася рассчитывал, что за следующие 5 минут радиус уменьшится на 20% от оставшегося, но он опять уменьшился на 1 см. Тогда Вася понял, что скоро от шара вообще ничего не останется и скорее вытащил его из уксуса. Его радиус к этому моменту уменьшился вдвое относительно изначального. Оставшийся шарик Вася решил прокалить. При нагревании тот сначала позеленел, а потом начал рассыпаться чёрным порошком. Если бы Вася не растерялся, он бы узнал, что масса оставшегося после прокаливания порошка составила 173,2 г, а объём выделившегося на первой стадии газа после приведения к нормальным условиям составил бы 226,6 л. Вася всё-таки залез в энциклопедию и узнал, что азурит можно представить в виде смеси средней соли и гидроксида одного и того же металла.

1) Определите плотность азурита в г/см^3.
Дополнительно известно, что объем шара $V = \frac{4}{3}\pi r^3$

2) Почему скорость уменьшения радиуса шара не замедлялась с ходом реакции?

3) Рассчитайте брутто-формулу азурита. Запишите уравнения всех упомянутых реакций. Подтвердите ваш ответ расчетами.

4) Какое зелёное соединение образуется в начале прокаливания? Запишите его формулу.

5) При прокаливании в избытке CO из данного соединения образуется оранжевый порошок. Запишите уравнение протекающей реакции.

Решения:

1) Радиус шара равен половине диаметра 10 / 2 = 5 см.

Объем шара:

$V = 4/3 * \pi * 5^3 = 523{,}6$ см^3.

Плотность:

$\rho = 2000 / 523{,}6 = 3{,}82$ г/см^3.

2) Аккуратное обоснование требует введения производных, но можно пояснить эту закономерность и качественно. Допустим, у нас есть шар радиуса r. Площадь его поверхности $S = 4\pi r^2$. А исходная масса $m = \rho \cdot V = \rho * 4/3 * \pi r^3$. Скорость реакции w пропорциональна площади поверхности (и квадрату радиуса), а масса уменьшается пропорционально объёму (и кубу радиуса).
$_{\Delta}m/_{\Delta}t = w = k \cdot S$
$_{\Delta}m/S_{\Delta}t = const$

Тогда за единицу времени на каждой единице поверхности будет реагировать одинаковое количество вещества.

$m/S \sim r^3/r^2 = r$

В итоге с постоянной скоростью уменьшается радиус шара.

3) К моменту извлечения из уксуса радиус шара уменьшился вдвое: с 5 до 2,5 см. Объём, а значит и масса, уменьшились в $2^3 = 8$ раз. Следовательно, масса оставшегося шарика:

m(остатка) = 2000/8 = 250 г

После прокаливания осталось 173,2 г чёрного порошка, можно предположить, что это оксид меди(II) CuO. Тогда количество вещества оксида меди(II):

n(CuO) = 173,2/80 = 2,165 моль

По условию азурит можно представить как смесь средней соли и гидроксида одного и того же металла. Поскольку при взаимодействии с уксусной кислотой получается газ без цвета и запаха, то разумно предположить, что это может быть углекислый газ CO_2, тогда азурит – это основной карбонат меди. В общем виде формулу азурита можно представить как $xCuCO_3 \cdot yCu(OH)_2$

При прокаливании азурит разлагается по схеме:

$xCuCO_3 \cdot yCu(OH)_2 \rightarrow (x+y)CuO + xCO_2 + yH_2O$

Из 250 г исходного вещества получилось 173,2 г CuO, значит масса улетевших продуктов равна:

250 − 173,2 = 76,8 г

Пусть образовалось x моль CO_2 и y моль H_2O. Тогда составим систему уравнений:

$$\begin{cases} x + y = 2{,}165 \\ 44x + 18y = 76{,}8 \end{cases}$$

Решение системы даёт:

x = 1,455, y = 0,710

x : y = 2 : 1

Следовательно, в азурите соотношение карбоната и гидроксида меди 2 : 1, то есть:

азурит = $2CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2 = Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$

Дополнительно проведем проверку через молярную массу азурита. Вычислим молярную массу найденной азурита:

$M(Cu_3(CO_3)_2(OH)_2) = 346$ г/моль

Тогда количество вещества в 250 г:

n = 250/346 = 0,723 моль

При полном прокаливании:

$Cu_3(CO_3)_2(OH)_2 = 3CuO + 2CO_2 + H_2O$

Количество и масса оксида меди(II):

n(CuO) = 3*0,723 = 2,165 моль

m(CuO) = 2,165*80 = 173,2 г

Это совпадает с данными в задаче (173,2 г), следовательно, формула подтверждена расчётом.

Реакция с уксусной кислотой:

$Cu_3(CO_3)_2(OH)_2 + 6CH_3COOH = 3Cu(CH_3COO)_2 + 2CO_2 + 4H_2O$.

Прокаливание:

$Cu_3(CO_3)_2(OH)_2 = Cu_2CO_3(OH)_2 + CuO + CO_2$,

$Cu_2CO_3(OH)_2 = 2CuO + CO_2 + H_2O$,

$Cu_3(CO_3)_2(OH)_2 = 3CuO + 2CO_2 + H_2O$.

4) Зеленый промежуточный продукт – малахит $Cu_2CO_3(OH)_2$.

5) Оранжевый продукт восстановления в избытке CO – медь Cu.

Одна из возможных реакций восстановления:

$Cu_2CO_3(OH)_2 + 2CO = 2Cu + 3CO_2 + H_2O$.

Критерии оценивания:

Плотность азурита	3 балла	
Объяснение причины темпов уменьшения радиуса	4 балла	
Формула азурита и 2 реакции	5 баллов	3 балла за формулу, по 1 баллу за реакции (в случае неверных коэффициентов в уравнении по 0,5 баллов)
Формула малахита	3 балла	
Формула оранжевого порошка и уравнение реакции	3 балла	2 балла за указание элементарной меди, 1 балл за уравнение реакции (в случае неверных коэффициентов в уравнении 0,5 балла)
Всего	**18 баллов**	

Задача 6. ***Дожди***

Весной в городе N после дождей стали заметно быстрее разрушаться известняковые барельефы, сделанные из карбоната кальция: поверхность местами стала рыхлой, появились тёмные корки и белые кристаллические налёты. По данным мониторинга метеорологической службы средний pH дождя понизился до 4,2.

1) Как вы думаете, какой в норме должен быть показатель pH дождя? Укажите приблизительный аргументированный диапазон.
2) В чем причина разрушения известковых барельефов? Перечислите основные вещества, которые приводят к данному явлению (не менее трех).
3) Укажите процессы и уравнения реакций, которые приводят к образованию этих веществ.
4) Предложите не менее 2 химических способов защитить поверхность барельефов от таких разрушений.

Решения:

1) Нормальный, “чистый” дождь не является нейтральным (pH = 7,0), он всегда имеет слабокислую реакцию среды из-за растворения CO_2, который постоянно находится в норме в атмосфере и образования угольной кислоты. Допустимо указание диапазона pH нормы дождя в диапазоне примерно 5,0 – 6,5.

2) При pH 4,2 осадки уже являются довольно кислотными. Карбонат кальция взаимодействует с кислотами, в результате чего происходит вымывание поверхности, образование растворимых солей и гипсовых корок.

Основные вещества, ответственные за кислотность осадков: H_2SO_4, HNO_3, H_2CO_3. Допустимо также упоминание H_2SO_3 и HNO_2 как промежуточных форм.

3) Уравнения образования кислот:

$CO_2 + H_2O \rightleftarrows H_2CO_3$,

$SO_2 + H_2O \rightleftarrows H_2SO_3$,

$2SO_2 + O_2 = 2SO_3$,

$SO_3 + H_2O = H_2SO_4$,

$2NO + O_2 = 2NO_2$,

$4NO_2 + 2H_2O + O_2 = 4HNO_3$.

Разрушение карбоната кальция в общем виде можно записать как:

$CaCO_3 + 2H^+ = Ca^{2+} + CO_2 + H_2O$.

4) В качестве способов защиты можно предложить:

1) покрытие поверхности барельефа при помощи гидрофобных лаков, красок и составов, что будет препятствовать контакту кислотных жидкостей с барельефами;
2) покрытие тонким слоем нерастворимых или малорастворимых солей кальция, например, фосфатами, фторидами и др. Это создаст пленку из солей, которые будут “пассивировать” взаимодействие известняка с килотными дождями;
3) нанесение щелочного жертвенного слоя, например на основе $Ca(OH)_2$.

Засчитывались и другие любые адекватные способы защиты барельефов от внешнего воздействия.

Критерии оценивания:

Аргументированный диапазон pH	3 балла	Без аргументации 1 балл. pH выше 7 оценивается в 0 баллов
Причина разрушения и указание не менее 3-х веществ	3 балла	
Процессы и уравнения реакций	4 балла	Оцениваются любые разумные варианты
Не менее 2-х способов защиты барельефов	4 балла	По 2 балла за способ

Всего	**14 баллов**	