

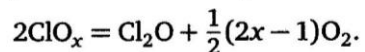
## Решения избранных задач\*

---

### Неорганика, уровень 1, задача 27

При разложении оксида неизвестного элемента образуется только смесь газов с плотностью 3,2 г/л при нормальных условиях. Какой это оксид?

**Решение.** Оксид может разложиться либо на простое вещество и кислород, либо на другой оксид и кислород, либо на два других оксида. Средняя молярная масса продуктов разложения  $M_{av}$  составляет 71,68 г/моль ( $3,2 \text{ г/л} \cdot 22,4 \text{ л/моль}$ ). Следовательно, в смеси присутствует хотя бы один компонент с молярной массой более 71,68 г/моль. Среди газообразных стабильных оксидов такую массу имеет только  $\text{Cl}_2\text{O}$ . Тогда реакция разложения выглядит так:



Составляем уравнение для молярной массы продуктов:

$$\frac{87 + 16(x - 1)}{x + 0,5} = 71,68.$$

Отсюда  $x = 0,919$ , что невозможно для реально существующего соединения.

Таким образом, единственным вариантом разложения является образование простого вещества в смеси с кислородом. К простым газообразным веществам, имеющим молярную массу более 71 г/моль, относятся благородные газы криптон, ксенон и радон. Определим состав смеси с кислородом для каждого из газов:

$$M_{av} = \chi_{\text{газ}}M_{\text{газ}} + \chi_{\text{O}_2}M_{\text{O}_2}, \quad M_{av} = \chi_{\text{газ}}M_{\text{газ}} + (1 - \chi_{\text{газ}})M_{\text{O}_2}.$$

Отсюда

$$\chi_{\text{газ}} = \frac{M_{av} - M_{\text{O}_2}}{M_{\text{газ}} - M_{\text{O}_2}}$$

(советую вам запомнить эту простую формулу, она позволит легко рассчитывать составы газовых смесей).

---

\* Задачи отобраны и решены А. А. Зейфманом.

Газ	$\chi_{\text{газ}}$
Kr	0,76
Xe	0,40
Rn	0,21

Итак, подходит смесь ксенона с кислородом состава 2 : 3. Данный состав соответствует продуктам разложения  $\text{XeO}_3$ .

### Неорганика, уровень 1, задача 29

Три элемента А, В и С образуют между собой попарно три соединения, причём каждый элемент во всех трёх соединениях проявляет одну и ту же валентность. Известно, что массовая доля элемента А в соединении с В — 75 %, а массовая доля элемента В в соединении с С — 7,8 %. Определите массовую долю элемента С в соединении с А и найдите элементы.

**Решение.** (Метод решения — обоснованный перебор, преобразование массовых долей.) Массовые доли указывают, что элемент В является самым лёгким среди А, В и С. Начнём перебор кандидатов на роль В с самого начала периодической системы: будем определять молярные массы эквивалентов А и С по формулам

$$M_A = \frac{0,75}{0,25} \cdot \frac{M_B}{n_B}, \quad M_C = \frac{0,922}{0,078} \cdot \frac{M_B}{n_B},$$

где  $n_B$  — эквивалент В.

Элемент В	Молярная масса эквивалента А, г/моль	Молярная масса эквивалента С, г/моль
H	3	11,82
Li	21	82,75
Be	13,5	53,19
B	11	43,3
C	9	35,5

Молярная масса эквивалента 35,5 г/моль — это хлор, 9 г/моль — это алюминий. Таким образом, А — алюминий, В — углерод, С — хлор. Массовая доля Cl в  $\text{AlCl}_3$  составляет 79,78 %.

**Примечание.** Массовую долю С в соединении с А можно найти и не зная, какие элементы загаданы. Так, пусть валентность элемента А равна  $x$ , В —  $y$ , С —  $z$ . Тогда соединения имеют формулы  $A_yB_x$ ,

$A_zC_x$  и  $B_yC_y$ . Запишем условие:

$$\frac{yA}{yA + xB} = 0,75, \quad \frac{zB}{zB + yC} = 0,078, \quad \frac{zA}{zA + xC} = ???,$$

«Перевернём» все дроби:

$$1 + \frac{xB}{yA} = 1,33, \quad 1 + \frac{yC}{zB} = 12,82, \quad 1 + \frac{xC}{zA} = ???.$$

Отсюда

$$\frac{xB}{yA} = 0,33, \quad \frac{yC}{zB} = 11,82.$$

Умножим первое равенство на второе:

$$\frac{xC}{zA} = 3,9.$$

Соответственно массовая доля элемента С равна 79,6 %.

### Неорганика, уровень 1, задача 50

К 10,0 г 20%-ного раствора вещества А добавили 2,5 г нерастворимого в воде вещества Б. При этом получили 3,235 г осадка, 0,898 г газа без запаха и жидкость над осадком, которая по данным анализа оказалась практически чистой водой. Реакция между А и Б не является окислительно-восстановительной. Определите состав исходных веществ и полученного осадка. В расчётах полагайте, что в полученном осадке находятся только безводные соли.

**Решение.** (Метод решения — метод «дополнительной массы».) Основная проблема при решении этой задачи состоит в том, что в ней нет «точки опоры» — неизвестно ни одно из веществ, и нет данных по объёму газа. Это делает расчёт количества вещества и, соответственно, молярной массы зашифрованных веществ невозможным. Однако, судя по условию, в реакции между А и Б образуются твёрдый осадок, газ и вода, и, следовательно, масса прореагировавших веществ А и Б равна суммарной массе осадка, газа и воды. Масса реагентов А и Б равна 4,5 г, а масса газа и осадка — 4,133 г. Следовательно, масса образовавшейся воды — 0,367 г, её количество — 0,0204 моль. Отсюда можно рассчитать молярную массу эквивалента газа (44 г/моль;  $\text{CO}_2$ ?), веществ Б (122,6 г/моль), А (98 г/моль) и осадка (158,7 г/моль).

Итак, молярные массы газа и вещества А достаточно реалистичны и соответствуют, например,  $\text{CO}_2$  и серной или фосфорной кислоте. Но молярные массы вещества Б и осадка нецелые. Значит, всё решение неверно?

В этот момент у вас может возникнуть ощущение, что выбранный ход решения неверен, однако на самом деле это не так. Навык выбора правильного направления решения является очень ценным и приходит с опытом. Если все условия задачи, кроме одного, подходят под вашу идею, возможно, нужно просто ещё подумать.

Нет — ведь нигде не сказано, что реагенты использовались в соотношении 1 : 1! Соотношение воды к  $\text{CO}_2$  и гипотетической кислоте (а что ещё может вызывать выделение  $\text{CO}_2$ ) А указывает, что в избытке было вещество Б. С точки зрения химии Б — нерастворимый карбонат. Точно определить его состав мы не можем, однако можем оценить молярную массу металла, который его образует. Оценённая нами молярная масса (122,6 г/моль на 1 моль  $\text{CO}_2$ ) является оценкой сверху — если молярная масса больше данного числа, то карбонат окажется в недостатке. Наиболее известный карбонат с молярной массой менее 123 г/моль —  $\text{CaCO}_3$ .

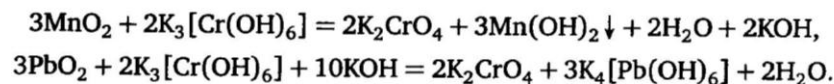
#### Неорганика, уровень 2, задача 8

Чёрный оксид А реагирует со щелочным раствором вещества Б зелёного цвета с образованием жёлтого раствора. Подкисление полученного раствора избытком уксусной кислоты приводит к выпадению жёлтого осадка, масса которого составляет 90 % от массы прореагировавшего вещества А. Найдите вещества и напишите уравнения реакций.

**Решение.** Единственной зацепкой к решению являются цвета веществ. Самые известные зелёные растворы — это  $\text{K}_2\text{MnO}_4$  и соли хрома(III). Путь с  $\text{K}_2\text{MnO}_4$  ведёт в тупик: соли  $\text{Mn}^{+7}$  фиолетовые,  $\text{Mn}^{+5}$  — голубые,  $\text{Mn}^{+3}$  — красные.

На решение этой задачи я потратил месяц. Большая часть времени ушла на подгонку ответа под марганец — я был уверен, что Б — это манганат калия. Если вы не можете решить задачу сразу, не отчаивайтесь — забудьте про неё, а через несколько дней снова вспомните — появятся новые идеи, а главное — забудутся старые.

Итак, если Б — соль хрома(III), то жёлтый раствор — это хромат  $\text{CrO}_4^{2-}$ . Значит, А — окислитель. Известных чёрных оксидов-окислителей немного:  $\text{MnO}_2$  и  $\text{PbO}_2$ . Запишем реакции, происходящие в растворе:



В первом случае сразу образуется осадок  $\text{Mn}(\text{OH})_2$ . Во втором случае при подкислении в осадок выпадает  $\text{PbCrO}_4$ , количество которого составляет  $\frac{2}{3}$  от количества исходного  $\text{PbO}_2$  (хромат в недостатке) Это соответствует массе

$$323 \text{ г/моль} \cdot \frac{2}{3} \text{ г/моль} = 90,1 \%$$

от массы оксида, что совпадает с условием.

#### Неорганика, уровень 3, задача 47

Оксид А (массовая доля металла 91,2 %) образуется при длительном стоянии при комнатной температуре оксида Б (массовая доля металла 91,2 %). Оба оксида обладают ярко выраженными основными свойствами и при реакции с газообразным хлороводородом дают безводные хлориды А1 и Б1 соответственно. Эти хлориды также имеют одинаковое содержание металла, но отличаются по температуре плавления. При нагревании в атмосфере кислорода оксиды А и Б склонны к дальнейшему окислению, но из оксида Б сначала образуется оксид Б2 с массовой долей металла 90,08 % и лишь потом оксид Б3 с массовой долей металла 88,61 %. Оксид А при окислении промежуточного продукта не образует. Найдите все соединения. Получаемый промышленно оксид А имеет обычно более высокое содержание металла — до 91,35 %. Объясните причину.

**Решение.** Первая же реакция, описанная в задаче, — превращение одного оксида металла в другой с сохранением массовой доли — вызывает вопросы и является ключом к решению. Однако попробуем подойти к решению «обычно» — определим состав оксида А (и Б), считая, что он имеет «стандартную» формулу  $\text{M}_2\text{O}_x$ :

x	M(M), г/моль
1	82,9
2	165,8
3	248,7
4	331,6

Ни один из вариантов на первый взгляд не выглядит разумным. Не дают ответа и два других «классических» варианта оксидов  $\text{M}_3\text{O}_4$  ( $M(\text{M}) = 221 \text{ г/моль}$ ) и  $\text{M}_3\text{O}_8$  ( $M(\text{M}) = 442 \text{ г/моль}$ ).

Попробуем провести аналогичный перебор для оксидов Б2 и Б3:

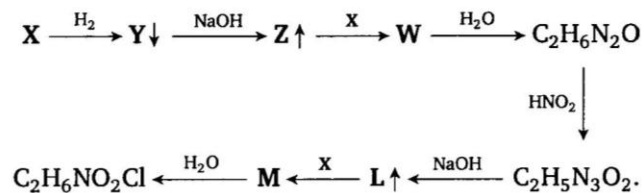
x	$M_{Б2}(M)$ , г/моль	$M_{Б3}(M)$ , г/моль
1	72,6	62,2
2	145,2	124,5
3	217,9	186,7
4	290,6	248,9

Наблюдаем явное пересечение с результатом расчета для оксида А при  $M(M) = 249$  г/моль: получаем, что А(Б) —  $M_2O_3$ , Б3 —  $MO_2$ , Б2 —  $Э_7O_{12}$ . Данная молярная масса не соответствует никакому элементу в периодической таблице и находится между Вк и См.

Самое время вернуться к нерешённой проблеме превращения оксидов. Итак, два оксида имеют одинаковое массовое соотношение металл–кислород (равно как и хлориды), но разные свойства. Это возможно не только для изомеров, но и для *изобаров* — изотопов разных элементов с одинаковым массовым числом. В таком случае превращение А в Б — ядерная реакция, и теперь всё становится на свои места: А и Б — оксиды состава  $^{249}Э_2O_3$ . Итак, осталось определить металлы. Это можно сделать, например, исходя из периода полураспада (известно, что элемент А распадается достаточно медленно, а элемент Б более стабилен, чем А). Для  $^{249}Вк$  период полураспада составляет 330 дней, для  $^{249}Сф$  — 351 год,  $^{249}См$  — 64 минуты. Условию задачи удовлетворяют  $^{249}Вк$  (металл в оксиде А) и  $^{249}Сф$  (металл в оксиде Б). Причина более высокого содержания металла в промышленно получаемом оксиде:  $^{249}Вк$  образуется в том числе в ходе бета-распадов. Выделяющиеся электроны частично восстанавливают оксид до металла.

### Органика, уровень 2, задача 10

Расшифруйте следующую цепочку:



Известно, что X — газ. Продукты гидрирования газообразны, но при охлаждении целиком превращаются в твёрдое вещество Y.

**Решение.** Начнём решать задачу с середины, а именно с вещества  $C_2H_6N_2O$ . Данное вещество образуется из Z и X, т. е. по сути в его образовании участвуют две молекулы X. Поскольку X — единственный в первой части цепочки источник C и N, он должен содержать по одному атому углерода и азота. Далее, при гидрировании X даёт осадок (или твёрдое вещество), который в реакции с NaOH выделяет газ. Последняя реакция типична для аммониевых солей. Следовательно, Y — это некая аммониевая соль, и газ X должен являться для неё источником и катиона, и аниона. Тогда на роль X подходит галогенциан (ClCN или BrCN). На наличие хлора в X указывает конечный продукт цепочки. Тогда дальнейшее решение достаточно очевидно: Y —  $CH_3NH_3^+Cl^-$ , Z —  $CH_3NH_2$ , W —  $CH_3NHCN$ ,  $C_2H_6N_2O$  —  $CH_3NHC(O)NH_2$  — N-метилмочевина, продукт реакции с азотистой кислотой —  $CH_3N(NO)C(O)NH_2$  — N-метил-N-нитрозомочевина. Обработка этого вещества NaOH является классическим способом получения диазометана (L). Диазометан в реакции с хлорцианом может давать продукт циклоприсоединения:



Данный продукт при гидролизе превращается в хлорид глицина  $NH_2CH_2COOH \cdot HCl$  (понять направление гидролиза легко — в каждой связи гетероатом–углерод X–C гетероатом остаётся с водородом HN, а углерод — с кислородом C–OH).

### Органика, уровень 3, задача 55

Вещества А, Б, В — изомерные сложные эфиры, кипящие ниже  $100^\circ C$ . Эфир А неустойчив в воде, Б и В устойчивы. Продукты гидролиза эфира А, а также эфиры Б и В реагируют в условиях реакции серебряного зеркала, причём известно, что из 2,1 г любого из этих эфиров образуется соответственно 5,4 г осадка (из А), 22,2 г осадка (из Б), 6,0 г осадка (из В). Известно также, что на нейтрализацию продуктов гидролиза 2,1 г эфира А требуется 2,0 г NaOH. Найдите эфиры и напишите уравнения реакций.

**Решение.** Рассчитаем молярную массу эфира А исходя из количества NaOH. Она составит 42 г на моль NaOH. Очевидно, что на сложный эфир этого не хватит, и нужно её удвоить до 84 г/моль. Записав брутто-формулу сложного эфира  $C_xH_yO_2$ , получим  $12x + y = 52$  г/моль,  $x = 4$ ,  $y = 4$ , то есть А —  $C_4H_4O_2$ . Теперь нужно выяснить, почему коли-

чество NaOH, требующееся на нейтрализацию продуктов гидролиза, вдвое больше количества сложного эфира. Это условие означает, что второй продукт реакции (спирт) тоже кислый. С другой стороны, степень ненасыщенности сложного эфира указывает на наличие тройной связи. Гидролиз эфиров состава  $\text{RCOOC}\equiv\text{CR}'$  приводит к образованию  $\text{RCOON}$  и  $\text{R}'\text{C}\equiv\text{CON}$ , причём образующиеся терминальные гидроксинацетилены быстро гидратируются с образованием кислоты. Следовательно, для А возможны следующие варианты:  $\text{HCOOC}\equiv\text{CCH}_3$ ,  $\text{CH}_3\text{COOC}\equiv\text{CH}$ . В первом случае продукты гидролиза — муравьиная и пропионовая кислоты — реагируют с  $\text{Ag}_2\text{O}$ , во втором случае получается уксусная кислота, которая не реагирует с  $\text{Ag}_2\text{O}$ . Итак, А —  $\text{HCOOC}\equiv\text{CCH}_3$ . Проверим массу осадка с  $\text{Ag}_2\text{O}$ : она равна

$$108 \text{ г/моль} \cdot 2 \cdot \frac{2,1 \text{ г}}{84 \text{ г/моль}} = 5,4 \text{ г},$$

как в условии.

Вещества Б и В изомерны А. Рассчитаем молярную массу осадка, образующегося из В. Она составляет 240 г/моль, значит, это  $\text{Ag}_2\text{C}_2$ . Данный продукт может образовываться из  $\text{HC}\equiv\text{CCOON}$  в результате декарбоксилирования. Тогда В —  $\text{HC}\equiv\text{CCOONH}_3$ .

Наконец, Б в реакции серебряного зеркала даёт 22,2 г осадка, что соответствует молярной массе 888 г/моль. Это 6 моль серебра и  $\text{Ag}_2\text{C}_2$ . 2 моль серебра образуются из муравьиной кислоты  $\text{HCOON}$ . Тогда второе вещество — пропаргиловый спирт  $\text{HC}\equiv\text{CCH}_2\text{OH}$ . С одной стороны, он не должен вступать в реакцию серебряного зеркала, а должен давать осадок ацетиленовой серебряной соли. С другой стороны, данное вещество является продуктом конденсации ацетилена и формальдегида, причём последние два продукта при реакции с аммиачным раствором оксида серебра дают как раз  $\text{Ag}_2\text{C}_2$  и  $\text{Ag}$  в соотношении 1 : 4. Если предположить, что произошла ретро-конденсация под действием щелочной среды, то масса осадка как раз и будет равна 22,2 г. Значит, Б —  $\text{HC}\equiv\text{CCH}_2\text{OC(O)H}$ .

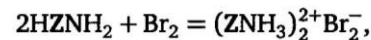
#### Органика, уровень 4, задача 16

Органическое вещество X реагирует с бромной водой с образованием в качестве единственного продукта твёрдого вещества Y, масса которого в 2,04 раза больше массы взятого на реакцию вещества X. Продукт Y хорошо растворим в воде и в растворе реагирует с раствором нитрата серебра (нитрат серебра взят без избытка) с образованием чёрного осадка. Известно, что этот осадок частично растворяется при подщелачивании раствора над осадком. Найдите вещества.

**Решение.** Это типичный пример задачи с заведомо недостаточным условием, в котором единственные численные данные могут использоваться только для проверки гипотезы. Поэтому сначала попробуем разобраться в химии происходящего.

Начнём с конца. Осадок, содержащий серебро, частично растворяется при подщелачивании раствора. Как известно, соли серебра хорошо растворяются за счёт комплексообразования, причём комплексы с аминами образуются как раз в щелочной среде. Значит, продукт Y может быть солью амина.

Теперь вернёмся к реакции с бромом. Судя по условию, формально произошла реакция присоединения, так как образовался единственный продукт. С другой стороны, при «традиционном» присоединении по кратным связям солеобразное вещество не образуется — получается обычное дибромпроизводное. Помимо присоединения по кратным связям, бром может выступать в роли окислителя, сам при этом восстанавливаясь до бромид-иона. В нашем случае это как раз подходит. Однако для того, чтобы масса продукта равнялась массе реагентов, необходимо, чтобы уравнение реакции имело вид



где Z неизвестно, т. е. чтобы при окислении X образовывались протоны, которые шли бы на протонирование аминогруппы. Написав уравнение реакции, легко вспомнить реальный химический пример подобного окисления — окислительная димеризация тиолов.

Теперь можно рассчитать молярную массу X. Составим уравнение увеличения массы:

$$\frac{2M(\text{X}) + 160}{2M(\text{X})} = 2,04.$$

Отсюда получаем, что  $M(\text{X}) = 77$  г/моль. Таким образом, на группу Z приходится 60 г/моль. Вычитая серу, получаем 28 г/моль, т. е.  $\text{CH}_2\text{CH}_2$ . Следовательно, X —  $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{SH}$ . Продукт реакции с бромом —  $(\text{NH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{S})_2^{2+}\text{Br}_2^{-}$ . Чёрный осадок, образующийся при реакции с оксидом серебра, является смесью  $\text{Ag}_2\text{S}$  и  $\text{AgBr}$ .

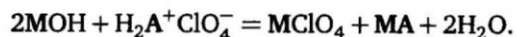
#### Комбинированные задачи, задача 2

На 100 г охлаждённого до  $-5^\circ\text{C}$  10%-ного раствора соли X, не содержащей хлора и содержащей щелочной металл M, действовали 30%-ной хлорной кислотой до прекращения выпадения осадка. При этом получили 15,66 г осадка (выход 95%), содержащего 15,27% хлора. Если на полученный осадок подействовать крепким раствором

МОН (но не  $M_2CO_3$ ), то в растворе вновь образуется соль X, а масса осадка не изменится. Действие избытка бромной воды на образец раствора исходной соли приводит к выпадению бесцветного осадка с массовой долей брома 66,85%. Определите соль и напишите уравнения реакций.

**Решение.** Представим соль X в виде MA, где A — анион. Тогда в простейшем случае при реакции с  $HClO_4$  образуются перхлорат металла  $MClO_4$  и кислота HA. Так как при действии на осадок МОН снова образуется MA, осадок содержит в каком-то виде анион A. Если осадок представляет собой HA или смесь  $HA + MClO_4$ , то при действии на него МОН масса должна уменьшиться за счёт растворения HA.

Это значит, что наше первое предположение о выпадении HA в осадок неверно. С другой стороны, осадок может содержать анион A в некоем «замаскированном» виде. Известно, что  $HClO_4$  — сильная кислота, и если кислота A амфотерна, то в осадке может находиться её соль  $H_2A^+ClO_4^-$ . Тогда реакция с МОН пройдёт следующим образом:



Поскольку соль MA остаётся в растворе, в осадок выпадает перхлорат металла  $MClO_4$ . Отсутствие изменения массы осадка говорит о том, что  $M(M) = 2 + M(A)$ . Кроме того, так как молярные массы веществ  $H_2A^+ClO_4^-$  и  $MClO_4$  равны, массовые доли хлора в них тоже равны. Тогда, учитывая массовую долю хлора в солях (15,27%), молярная масса металла M — 133 г/моль, что соответствует цезию (его перхлорат действительно малорастворим). Следовательно, масса кислоты HA — 132 г/моль. Реакция с бромом является типичной для фенолов, и массовая доля брома соответствует замещению трёх атомов водорода. Однако тогда молярная масса кислоты HA составит 122 г/моль, что не соответствует условию.

В этот момент у вас может возникнуть ощущение, что всё решение неправильно, однако на самом деле до ответа всего один маленький шаг.

Мы не использовали ещё одно количественное условие — соотношение массы осадка и соли X. Поскольку молярные массы перхлората кислоты HA и цезия равны 232,5 г/моль и они образуются в соотношении 1 : 1, количество вещества исходной соли X (при выходе 95%) равно 0,03545 моль. Тогда молярная масса соли X — 282 г/моль. На  $A^-$  приходится 149 г/моль.

Итак, молярная масса аниона  $A^-$  в цезиевой соли — 149 г/моль; молярная масса кислоты HA в перхлорате — 132 г/моль, а молярная

масса кислоты HA в реакции с бромной водой — 122 г/моль. Первые два числа отличаются на 18 г/моль — это соответствует одной молекуле воды. Последнее число отличается от первого на 28 г/моль. Если не отказываться от предположения, что с бромной водой образуется трибромфенол (точнее, диметилтрибромфенол), то в соли X к нему прибавляется 28 г/моль. Это два азота. Следовательно, в X формула аниона —  $C_6H_3(CH_3)_2N_2O^-$ . Это анион фенилдиазотата, образующийся в щелочной среде из фенилдиазония. Тогда понятно, почему с HCl масса катиона меньше на 18 г/моль, — это соль катиона фенилдиазония. Наконец, с бромом происходит отщепление азота и бромирование в два орто- и одно пара-положение, следовательно, метильные группы находятся в мета-положении к диазогруппе.

#### Физическая химия, задача 14

Терефталевая кислота этерифицируется этиловым спиртом при мольном соотношении кислота — спирт, равном 1 : X. Константы этерификации кислоты до моноэфира и моноэфира до диэфира равны соответственно  $K_1 = 180$  и  $K_2 = 60$ .

1. При каком X выход моноэфира по кислоте в равновесной смеси максимален?
2. Решите задачу для произвольных  $K_1$  и  $K_2$ .

**Решение.** Пусть A — кислота, B — спирт, ME — моноэфир, DE — диэфир, W —  $H_2O$ . Будем решать сразу в общем случае.

Из выражений для констант равновесия находим

$$[ME] = \frac{K_1[A][B]}{[W]}, \quad [DE] = \frac{K_1K_2[A][B]}{[W]^2}.$$

Мольная доля моноэфира в равновесной смеси составляет

$$\alpha_{ME} = \frac{[ME]}{[A] + [ME] + [DE]} = \frac{\frac{K_1[A][B]}{[W]}}{[A] + \frac{K_1[A][B]}{[W]} + \frac{K_1K_2[A][B]}{[W]^2}} = \frac{1}{\frac{[W]}{K_1[B]} + 1 + \frac{K_2[B]}{[W]}}.$$

Теперь надо найти экстремум  $\alpha_{ME}$ ; как видим, переменная по сути одна ( $[W]/[B]$ ), обозначим её x. Тогда

$$\alpha_{ME}(x) = \frac{1}{\frac{x}{K_1} + 1 + \frac{K_2}{x}}.$$

Найдём экстремум этой функции. Он является решением уравнения

$$\frac{1}{K_1} - \frac{K_2}{x} = 0, \quad x = \sqrt{K_1K_2}, \quad \frac{[W]}{[B]} = \sqrt{K_1K_2}.$$

Подставляя это соотношение в формулы для [ME] и [DE], получаем

$$[\text{ME}] = [\text{A}] \sqrt{\frac{K_1}{K_2}}, \quad [\text{DE}] = [\text{A}].$$

Определим, чему равно равновесное количество вещества В. Это можно сделать из материального баланса по воде:

$$[\text{W}] = [\text{ME}] + 2[\text{DE}] = [\text{A}] \sqrt{\frac{K_1}{K_2}} + 2[\text{A}].$$

С другой стороны,

$$[\text{W}] = [\text{B}] \sqrt{K_1 K_2}.$$

Отсюда находим равновесное количество вещества В:

$$[\text{B}] = \frac{[\text{A}]}{K_2} + 2 \frac{[\text{A}]}{\sqrt{K_1 K_2}}.$$

Теперь посчитаем суммарное количество веществ А и В в начале реакции:

$$[\text{A}]_0 = [\text{A}] + [\text{ME}] + [\text{DE}] = 2[\text{A}] + [\text{A}] \sqrt{\frac{K_1}{K_2}},$$

$$[\text{B}]_0 = [\text{B}] + [\text{ME}] + 2[\text{DE}] = \frac{[\text{A}]}{K_2} + 2 \frac{[\text{A}]}{\sqrt{K_1 K_2}} + [\text{A}] \sqrt{\frac{K_1}{K_2}} + 2[\text{A}].$$

Тогда

$$\frac{[\text{B}]_0}{[\text{A}]_0} = 1 + \frac{\frac{1}{K_2} + \frac{2}{\sqrt{K_1 K_2}}}{2 + \sqrt{\frac{K_1}{K_2}}} = 1 + \frac{\frac{\sqrt{K_1} + 2\sqrt{K_2}}{K_2 \sqrt{K_1}}}{\frac{\sqrt{K_1} + 2\sqrt{K_2}}{\sqrt{K_2}}} = 1 + \frac{1}{\sqrt{K_1 K_2}}.$$

При  $K_1 = 180$  и  $K_2 = 60$  получаем  $X = \frac{[\text{B}]_0}{[\text{A}]_0} = 1,0096$ .