

Серия «Школьные олимпиады»

И.Б. Давыдова

А.И. Новичков

ХИМИЯ

**ТИПОВЫЕ ЗАДАНИЯ
ДЛЯ ПОДГОТОВКИ
К ОЛИМПИАДАМ**

8–11 КЛАССЫ

Ростов-на-Дону

«Феникс»

2018

УДК 373.167.1:54

ББК 24я72

КТК 444

Д13

Давыдова И.Б.
Д13 Химия : типовые задания для подготовки к олимпиадам : 8–11 классы / И.Б. Давыдова, А.И. Новичков. — Ростов н/Д : Феникс, 2018. — 249, [3] с. — (Школьные олимпиады).

ISBN 978-5-222-28504-6

В пособии представлены олимпиадные задания по химии для учащихся 8–11 классов. Нестандартные, логические, комбинаторные задачи и упражнения помогут ребенку качественно подготовиться к олимпиадам различного уровня, стимулируют развитие познавательных способностей, а также помогут сформироваться интересу к изучаемой дисциплине.

УДК 373.167.1:54

ББК 24я72

ISBN 978-5-222-28504-6

© И.Б. Давыдова, А.И. Новичков, текст, 2017

© ООО «Феникс»: оформление, 2018

ВВЕДЕНИЕ

Здравствуйтесь, дорогие читатели!

В этой книге вы найдете подробный разбор задач различных олимпиад прошлых лет и авторские задания составителей. В каждой главе есть задачи разного уровня сложности.

Работая с этим сборником, вы сможете рассмотреть основные приемы и подходы к решению олимпиадных задач. Конечно, одного этого недостаточно для побед в олимпиадах высокого уровня: необходим широкий химический кругозор, хороший математический аппарат, природная смекалка, целеустремленность, много труда и капля везения.

Желаем вам успеха!

Мы благодарим Дану Александровну Новичкову за огромный вклад в создание этой книги.

Авторы будут признательны читателям за замечания и комментарии.

AUnovichkov@gmail.com

Davydova.ib@gmail.com

Список сокращенных обозначений олимпиад и экзаменов, в которых встречались представленные в книге задачи:

Ломоносов — олимпиада школьников «Ломоносов», МГУ;

ПВГ — олимпиада школьников «Покори Воробьевы горы», МГУ;

Турнир Ломоносова, МГУ;

Сарк. — олимпиада Саркисова, РХТУ;

ВОШ — Всероссийская олимпиада школьников по химии;

МОШ — Московская олимпиада школьников по химии;

СПБОШ — Санкт-Петербургская олимпиада школьников по химии;

МФО — Московская физическая олимпиада;

Юные таланты — олимпиада Пермского государственного национального исследовательского университета;

МФТИ — вступительный экзамен в Московский физико-технический институт;

МГУ — вступительный экзамен в МГУ;

ДВИ МГУ — дополнительное внутреннее испытание, МГУ;

ХФ МГУ — вступительный экзамен на химический факультет МГУ;

БФ МГУ — вступительный экзамен на биологический факультет МГУ;

ФФМ МГУ — вступительный экзамен на факультет фундаментальной медицины МГУ;

ФББ МГУ — вступительный экзамен на факультет биоинженерии и биоинформатики МГУ;

ФНМ МГУ, Высший колледж наук о материалах МГУ — вступительный экзамен на факультет наук о материалах МГУ;

СПБГУ — Олимпиада Санкт-Петербургского государственного университета;

Абитуриент МГУ — олимпиада, досрочный экзамен в МГУ, существовала до 2004 года.

Список обозначений, используемых в книге

- v_X — количество вещества X ,
 m_X — масса вещества X ,
 n_X — количество частиц X ,
 M_X — молярная масса вещества X ,
 Ar_X — атомная масса элемента X ,
 $N_a = 6,02 \cdot 10^{23}$ — постоянная Авогадро,
 $D_X(Y)$ — плотность газа X (или паров вещества X) по газу Y ,
 ρ — плотность,
 V — объем,
 $V_m = 22,4$ л/моль — молярный объем идеального газа при нормальных условиях,
 P — давление,
 p_X — парциальное давление газа X ,
 T — температура, К,
 t° — температура, $^\circ\text{C}$,
 $\tau_{1/2}$ — период полураспада,
 η — выход реакции,
 α — степень диссоциации,
 ω_X — массовая доля X ,
 C_X — молярная концентрация X ,
 χ_X — мольная доля вещества X в смеси,
 Φ_X — объемная доля газа X в смеси,
 $[X]$ — молярная концентрация компонента раствора или смеси в рассматриваемый момент времени,
 Q — теплота,
 v — скорость реакции,
 γ — температурный коэффициент Вант—Гоффа, постоянная распада,
 k — константа скорости реакции,
 E_a — энергия активации реакции,
 A — предэкспоненциальный множитель в уравнении Аррениуса,
 K_c — константа равновесия, выраженная через концентрации,

K_p — константа равновесия, выраженная через парциальные давления,

K_a — константа кислотности,

K_b — константа основности,

K_r — константа гидролиза,

K_w — ионное произведение воды,

PP — произведение растворимости,

I — сила тока,

$F = 96500$ Кл/моль — постоянная Фарадея,

z — заряд частицы.

ГЛАВА 1. РАСЧЕТНЫЕ ЗАДАЧИ

Задачи на материальный баланс

В этом разделе рассматриваются задачи на непосредственные расчеты по уравнениям реакций. Приемы, необходимые для решения подобных заданий, будут применяться и в задачах на смеси или на установление формулы соединения.

Часто в вариантах олимпиад в таких заданиях скрыты своеобразные ловушки — это может быть, например, образование кислой соли или осадка кристаллогидрата вместо привычной средней соли, кажущийся недостаток данных, протекание сразу нескольких реакций параллельно и другие.

Мы ограничимся рассмотрением нескольких распространенных типов.

1. Какой объем (н.у.) углекислого газа необходимо пропустить через 100 г 10% баритовой воды, чтобы концентрация щелочи уменьшилась вдвое?

2. Через раствор гидроксида калия с массовой долей щелочи 10% пропускали под давлением углекислый газ до полной нейтрализации. Установите состав полученного раствора в массовых долях.

3. (Сарк., 2010) Нитробензол принципиально может быть получен из карбида кальция в три стадии. Определить, сколько граммов нитробензола можно получить из 128 г карбида кальция, содержащего 8,00 мас.% примесей, если выход целевого продукта на первой стадии составляет 85,0%, на второй — 70,0%, на третьей — 82,5%. Написать уравнения обсуждаемых процессов, указать условия их реализации.

4. (Юные таланты, 2015) Бензол подвергли нитрованию с помощью 635 кг нитрующей смеси, содержащей 20% HNO_3 . Вычислить массу образовавшегося нитробензола, если оставшийся кислый раствор содержал 2% HNO_3 . Считать, что побочных реакций не происходило и мононитрование прошло с количественным выходом.

5. 11,2 л (н.у.) смеси оксида азота (IV) и кислорода с равными мольными долями пропустили через 100 мл воды. Найдите массовые доли веществ в полученном растворе.

6. Найти концентрации веществ в растворе, полученном при добавлении 9,2 г натрия к 100,0 мл 96,0% этилового спирта (плотность равна 0,80 г/мл).

7. 20,85 г пентахлорида фосфора растворили при кипячении в 300 г 8% едкого натра. Найти массовые доли солей в полученном растворе.

8. При добавлении смеси, образующейся при каталитическом окислении 12 г вещества с массовой долей углерода 90,0%, к избытку бромной воды выпадает 23,17 г осадка. Определить выход реакции окисления, если взаимодействие с бромной водой прошло количественно.

9. Ток угарного газа пропустили через трубку с раскаленным оксидом меди, масса трубки уменьшилась на 3,2 г. Полученный газ пропустили через 100 г 15% раствора едкого натра. Найти массовые доли веществ в полученном растворе.

10. Установить состав (в массовых долях) раствора, полученного при пропускании 6 л аммиака (измерено при 20 °С и 1 атм) через 55,4 мл 30% ортофосфорной кислоты ($\rho = 1,18$ г/мл).

11. Установить состав (в массовых долях) раствора, полученного при растворении 78,8 г карбоната бария в 392 г 15% ортофосфорной кислоты.

12. (Ломоносов,, 2012) Твердый гидроксид калия массой 30,0 г оставили на воздухе. Через некоторое время он превратился во влажное вещество массой 34,4 г. Его растворили в воде и поделили раствор на две равные части. При добавлении избытка хлорида кальция к первому раствору выпал осадок массой 1,75 г. Определите состав влажного вещества (в массовых процентах). Как из второго раствора получить раствор чистого гидроксида калия?

13. (Ломоносов, 2006) Смесь изомерных дихлорэтанов нагрели со спиртовым раствором щелочи. Выделившийся газ пропустили в аммиачный раствор оксида серебра, при этом выпало 9,60 г осадка. При обработке такого же количества исходной смеси водным раствором щелочи получена смесь, при действии на которую аммиачного раствора оксида серебра выпало 6,48 г осадка. Определите массу исходной смеси и мольную долю каждого изомера в ней.

14. (Ломоносов, 2010) При взаимодействии дисульфида железа (II) FeS_2 с избытком азотной кислоты выделилось 3,667 л газа, плотность которого при 1 атм. и 25°C составила 1,227 г/л. В результате реакции образовался раствор массой 49,1 г, в котором массовая доля азотной кислоты в три раза превышает массовую долю серной кислоты. Рассчитайте массовую долю азотной кислоты в исходном растворе.

15. (Ломоносов, 2014) К 250 г 10% раствора хлорида железа (II) добавили стехиометрическое количество оксалата натрия. Осадок отделили от раствора и нагрели в инертной атмосфере до постоянной массы. Полученное твердое вещество растворили в 80% растворе серной кислоты, после чего к раствору добавили избыток щелочи. Рассчитайте массу выпавшего осадка и напишите уравнения всех перечисленных реакций.

16. Через 300 г нейтрального раствора перманганата калия, способного прореагировать с 213,3 мл раствора 6М соляной кислоты,

пропустили 1,57 л фосфина (объем измерен при 15 °С и давлении 0,9 атм). Найти концентрации солей в полученном растворе.

17. 80 г золотистого минерала, состоящего из атомов железа и серы, сожгли, полученный газ смешали с кислородом и пропустили над раскаленным оксидом ванадия (V). Продукт реакции поглотили 450 г 98% серной кислоты, в результате образовался 7,55% олеум. Вычислить массовую долю несulfидных примесей в минерале.

18. 1,12 л (н.у.) углеводорода, в котором массовая доля водорода равна 25,00%, нагрели до 1500 °С в закрытом сосуде, после чего пропустили через трубку, заполненную раскаленным оксидом меди (масса трубки уменьшилась на 0,96 г). Газ охладили и пропустили через раствор натрия в жидком аммиаке, в результате образовалось 1,29 г смеси солеподобных соединений.

Найти степень превращения углеводорода в первой реакции и установить качественный и количественный состав полученной смеси.

19. Какую массу гидросульфата натрия и воды необходимо добавить к 200 мл 1M раствора хлорида бария, чтобы масса полученного раствора была равна массе исходного, а массовая доля хлорид-ионов была в 3,09 раза больше массовой доли ионов натрия.

20. В раствор хлорного железа ($\rho = 1,09$ г/мл) поместили цинковую пластинку. Через некоторое время пластинку достали, при этом масса раствора изменилась на 2%. Считая, что объем раствора не изменился и побочные процессы в нем не протекают, найти молярную концентрацию хлорида цинка в полученном растворе.

21. (ХФ МГУ, 2006) К 786 мл водного раствора нитрата серебра (концентрация 0,70 M) добавили 70,1 г смеси бромидов натрия и рубидия. Осадок отфильтровали, а в раствор опустили железную пластинку. После окончания реакции масса пластинки изменилась на 4,0 г. Рассчитайте массовые доли бромидов в исходной смеси.

22. (Юные таланты, 2015) Тонкую железную пластину массой 100 г поместили в 250 г 20% раствора CuSO_4 . Через некоторое время пластину вынули, промыли, просушили и взвесили. Ее масса составила 102 г. Рассчитайте состав раствора (в % по массе) после удаления пластины.

23. Латунную (медно-цинковую) пластинку массой 10,03 г поместили в 300,00 г 32,50% раствора хлорного железа. После завершения реакции массовая доля хлорного железа в растворе стала равна 18,40%. Установите массовые доли металлов в латуни. $M_{\text{Cu}} = 64$ г/моль.

24. Через 400,0 г 5,55% раствора гидроксида кальция пропустили углекислый газ. Найти его объем при н.у., если известно, что в результате выпало 20,0 г осадка.

25. При смешении 150 г 22,2% раствора хлорида кальция и 500 г 28,4% раствора сульфата натрия выпало 51,6 г осадка. Установить состав полученного раствора и найти массовые доли веществ в нем.

26. При окислении 18 мл 96% этилового спирта (плотность 0,8 г/мл) до ацетальдегида подкисленным серной кислотой раствором 29,4 г бихромата калия в небольшом количестве воды выпадает 99,8 г темно-фиолетового осадка. Установить его формулу и определить, какое количество цинка необходимо добавить для получения из него сульфата хрома (II).

27. Если к 18,250 г 20,00% соляной кислоты по каплям при перемешивании и нагревании добавлять 150,00 г раствора карбоната натрия, образуется раствор, в котором молярная концентрация хлорид-аниона в пять раз больше концентрации карбонат-аниона.

Определить массовые доли компонентов этого раствора, качественный и количественный состав раствора, получаемого при обратном порядке смешения исходных веществ (добавлении кислоты по каплям к раствору карбоната натрия), а также разницу масс этих растворов.

Задачи на смеси веществ

Задачи на смеси регулярно встречаются в экзаменационных и олимпиадных вариантах.

Первые задания раздела размещены для того, чтобы вы могли вспомнить (или, возможно, узнать) способы решения простых задач, которые далее будут частями более серьезных. Для решения заданий высокого уровня сложности необходимо свободно:

- находить молярную массу газа A по его плотности по газу B ;
- работать с различными концентрациями: массовая, мольная и объемная доли, молярная концентрация. Переводить из одних в другие. Находить массу компонента, зная его концентрацию и массу смеси, и наоборот;
- оперировать размерностями. Легко переводить из литров в кубические метры, из атмосфер и мм рт. ст. в Паскали, из г/л в кг/м^3 и так далее;
- применять уравнение Менделеева—Клапейрона. Уметь выражать из него плотность и молярную массу;
- зная состав смеси, находить ее среднюю молярную массу и по молярной массе двухкомпонентной смеси вычислять мольные доли веществ в ней.

Потренируемся на простейших задачах.

1. Найти плотности по метану смеси 80 г кислорода и 55 г углекислого газа.

2. Смесь ацетилена и сернистого газа имеет плотность по воздуху, равную 2. Найти объемные и мольные доли газов в смеси.

3. Плотность смеси аргона и азота по кислороду равна 1. В каком объемном отношении необходимо смешать газы для приготовления этой смеси?

4. Может ли смесь этана и пропана иметь плотность по неону, равную 1,8? Ответ подтвердите расчетами.

5. Определите молярную массу газа и предположите его формулу, если он при $t = 25\text{ }^\circ\text{C}$ и $P = 720\text{ мм рт. ст.}$ имеет плотность $2,616\text{ г/л}$.

6. Найти массовую долю вещества в растворе, приготовленном из $91,7\text{ г}$ воды и $8,3\text{ г}$ нитрида натрия.

7. Сколько граммов карбида кальция нужно растворить в 100 г $36,5\%$ раствора соляной кислоты, чтобы в полученном растворе массовая доля хлорида кальция составляла $3,0\%$?

8. (Ломоносов, 2014) Докажите, что две газовые смеси при одинаковых условиях могут иметь равную плотность: смесь азота и кислорода со смесью криптона и углекислого газа.

9. (Ломоносов, 2014) Смесь этилена и ацетиленов сожгли в кислороде, при этом образовалась газовая смесь, содержащая 60% объемных CO_2 и 40% объемных H_2O . Какова объемная доля этилена в исходной смеси?

Теперь можно перейти к более серьезным заданиям.

10. (ФФМ МГУ, 2004) Три идентичных сосуда (равного объема и равной массы) содержат газы, находящиеся при одинаковых условиях. Первый сосуд, заполненный водородом, имеет массу $24,8\text{ г}$. Масса второго сосуда, заполненного кислородом, составляет $36,8\text{ г}$. Третий сосуд содержит смесь 40% (по объему) азота и неизвестного газа и имеет массу $33,28\text{ г}$. Определите неизвестный газ.

11. (Ломоносов, 2015) Смесь $1,00\text{ г}$ KO_2 и $2,00\text{ г}$ CaCO_3 прокалили при $1000\text{ }^\circ\text{C}$ в вакуумированной ампуле объемом 200 мл . Какое давление установилось в ампуле после охлаждения продуктов реакции до $25\text{ }^\circ\text{C}$?

12. (ФНМ МГУ, 1996) Имеется смесь оксида углерода (II) и хлора, которая на 20% легче оксида серы (IV). После пропускания смеси над нагретым катализатором образовался фосген, в результате чего смесь стала тяжелее оксида серы (IV) при тех же условиях. Рассчитайте область допустимых значений для выхода реакции.

13. Смесь ацетилен и водорода плотностью 0,489 г/л (измерено при $P = 1$ атм и $t = 40$ °С) нагрели под давлением с катализатором. Считая, что ацетилен и водород прореагировали полностью, найти массовые, объемные и мольные доли газов в образовавшейся смеси и ее плотность (г/л) при н.у.

14. (МОШ, 2003) Смесь этена и пропена объемом 11,2 л имеет плотность по водороду 16,8. К смеси прибавили такой же объем водорода и пропустили ее над платиновым катализатором. Объем смеси на выходе из реактора составил 17,92 л. Определите состав начальной и конечной смеси газов (в % по объему) и степень превращения (в %), считая, что она одинакова для обоих алкенов. Все объемы измерены при н.у

15. Смесь сероводорода и кислорода нагрели в закрытом сосуде объемом 50 л до 200 °С. В результате давление в сосуде составило 188,7 кПа, а плотность газовой смеси по этану 0,664. Найти массу твердого вещества, образовавшегося в колбе, и плотность исходной смеси газов по воздуху.

16. Смесь паров бензола и кислорода подожгли в закрытом сосуде. При этом стенки сосуда покрылись копотью и образовалась газовая смесь, имеющая плотность 0,85 г/л (измерена при давлении 780 мм рт. ст. и температуре 200 °С). Найти массовые и мольные доли газов в исходной смеси, считая, что в данной реакции образования СО не происходило.

17. 33,64 л (измерение проводилось при $P = 760$ мм рт. ст. и $t = 20$ °С) смеси двух бинарных газов с плотностью по аргону 0,907, находящихся применение в медицине и имеющих в составе общий атом, нагрели до 600 °С. Раздался оглушительный взрыв. Вычислить изменение объема полученной газовой смеси после приведения к исходным условиям и массу образовавшейся при этом воды.

18. 18,7 г амальгамы серебра при нагревании растворили в концентрированной азотной кислоте. Выделилось 4,032 л (н.у.) газа. Найти

35. Смесь перхлората и хлората калия нагрели с диоксидом марганца до полного разложения. Масса смеси уменьшилась на 42%. Вычислите массовые доли солей в смеси. Сколько граммов этой смеси необходимо для окисления 120 г 5% раствора K_2SO_3 ?

Задачи на определение формулы неизвестного вещества

Задачи этого типа — одни из самых часто встречающихся в вариантах олимпиад различного уровня. Например, в заочном туре олимпиады школьников «Ломоносов»-2014 в четырех из шести задач требовалось установить формулу неизвестного соединения, в заключительных турах олимпиады СПбГУ и Московской олимпиады школьников 2016 года таких заданий было три из четырех и пять из шести соответственно.

В данном разделе приведены наиболее распространенные виды подобных задач и различные методы их решения.

По элементному составу, строению атома и т. п.

1. (Ломоносов, 2014) Молекула серы в 8 раз тяжелее молекулы кислорода. Какова молекулярная формула серы?

2. (Ломоносов, 2014) Вещество состоит из двух элементов, масса всех атомов одного из них в 16 раз больше массы всех атомов другого. Установите формулу вещества.

3. (Ломоносов, 2014) Химический элемент Z образует соединения состава XZ_2 и YZ_2 с элементами X и Y — ближайшими соседями Z по периоду и группе. Определите элементы X , Y , Z и напишите уравнения взаимодействия указанных соединений между собой.

4. В молекуле соединения, образующегося при взаимодействии двух простых веществ, число нейтронов на 8 больше, чем в первом, и в 2 раза меньше, чем во втором. Установить формулу этого вещества.

5. В 2,03 г бинарного соединения AB_3 содержится $5,6 \cdot 10^{22}$ атомов. Установить формулу этого вещества (молекулярную и структурную). Определить степени окисления A и B в нем.

6. (Ломоносов, 2014) Бинарное соединение имеет ионное строение. Общее число электронов в положительном ионе превышает число электронов в отрицательном в 1,8 раза, а заряды ядер двух элементов отличаются в 2,5 раза. Установите формулу соединения, предложите способы его получения.

7. (Ломоносов, 2014) Бинарное соединение имеет ионное строение. Общее число электронов в отрицательном ионе превышает число электронов в положительном в 1,8 раза, а заряды ядер двух элементов отличаются в 0,75 раза. Установите формулу соединения. Предложите два способа его получения.

8. (Ломоносов, 2014) Вещество X имеет ионное строение. В составе положительного и отрицательного ионов есть общий элемент. Общая масса отрицательных ионов в 2,5 раза больше массы положительных ионов. Установите формулу X и напишите по одному уравнению реакций X с щелочью и кислотой.

9. (Ломоносов, 2014) Жидкое вещество X состоит из двух элементов, входящих в состав человеческого организма. Молекула X состоит из 6 атомов и весит столько же, сколько молекула кислорода, а массовая доля более тяжелого элемента равна 87,5%. Вещество X получают реакцией между пероксидом водорода H_2O_2 и веществом Y , которое состоит из тех же атомов, что и X , но в соотношении 1:3.

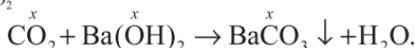
Установите молекулярную формулу X , изобразите его структурную формулу и напишите уравнение указанной реакции.

10. (СПбГУ, 2016) Неметалл X , у которого максимально возможная сумма четырех квантовых чисел валентного электрона равна 5,5, сплавили со стехиометрическим количеством металла Y , для которого аналогичная минимально возможная сумма равна 5,5. Полученный продукт растворили в воде. В результате образовался раствор

РЕШЕНИЯ И ОТВЕТЫ К ГЛАВЕ 1

Решения задач на материальный баланс

1. По условию в полученном растворе содержится 5% $\text{Ba}(\text{OH})_2$, то есть углекислый газ взаимодействует с избытком гидроксида бария. Пусть $\nu_{\text{CO}_2} = x$ моль.



Массовая доля щелочи в полученном растворе:

$$\omega_{\text{Ba}(\text{OH})_2} = \frac{m_{\text{Ba}(\text{OH})_2}}{m_{\text{р-ра}}} \cdot 100\% = \frac{m_{\text{Ba}(\text{OH})_2_{\text{исх}}} - m_{\text{Ba}(\text{OH})_2_{\text{прореаг}}}}{m_{\text{р-ра}_{\text{исх}}} + m_{\text{CO}_2} - m_{\text{BaCO}_3}} \cdot 100\%.$$

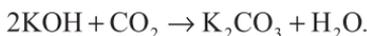
$$0,05 = \frac{0,1 \cdot 100 - 171x}{100 + 44x - 197x}, \text{ откуда } \nu_{\text{CO}_2} = x = 0,031 \text{ моль.}$$

Объем углекислого газа при н.у.:

$$V_{\text{CO}_2} = \nu \cdot V_m = 0,031 \cdot 22,4 \approx 0,694 \text{ л} = 694 \text{ мл.}$$

Ответ: $V_{\text{CO}_2} \approx 694$ мл.

2. Нейтрализация щелочи углекислым газом описывается уравнением:



Рассмотрим 560 г раствора щелочи (можно рассмотреть любую массу, на ответ это не повлияет). Именно 560 г мы взяли потому, что в нем содержится $m_{\text{KOH}} = 0,1 \cdot 560 = 56$ г, $\nu_{\text{KOH}} = \frac{m}{M} = 1$ моль.

$$\text{Тогда } \nu_{\text{CO}_2} = \nu_{\text{K}_2\text{CO}_3} = \frac{1}{2} \nu_{\text{KOH}} = 0,5 \text{ моль.}$$

Массовая доля карбоната калия в растворе:

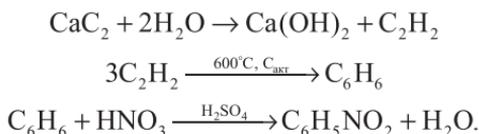
$$\begin{aligned} \omega_{\text{K}_2\text{CO}_3} &= \frac{m_{\text{K}_2\text{CO}_3}}{m_{\text{р-ра}}} \cdot 100\% = \frac{m_{\text{K}_2\text{CO}_3}}{m_{\text{р-ра}_{\text{исх}}} + m_{\text{CO}_2}} \cdot 100\% = \\ &= \frac{0,5 \cdot 138}{560 + 0,5 \cdot 44} \cdot 100\% \approx 12\%. \end{aligned}$$

Ответ: $\omega_{\text{K}_2\text{CO}_3} \approx 12\%$.

3. Вычислим количество вещества карбида кальция. В исходном образце содержится 92% чистого CaC_2 , тогда:

$$V_{\text{CaC}_2} = \frac{m}{M} = \frac{128 \cdot 0,92}{64} = 1,84 \text{ моль.}$$

Получение нитробензола можно осуществить в соответствии со схемой:



Из одного моля карбида кальция при выходе 100% можно было бы получить $\frac{1}{3}$ моль нитробензола. С учетом выходов количество целевого продукта:

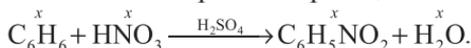
$$m_{\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2} = \nu \cdot M = \frac{1}{3} \cdot 1,84 \cdot 0,85 \cdot 0,7 \cdot 0,825 \cdot 123 = 37 \text{ г.}$$

Ответ: $m_{\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2} = 37 \text{ г.}$

4. В нитрующей смеси содержалось:

$$m_{\text{HNO}_3} = 0,2 \cdot 635 \cdot 10^3 = 127 \text{ 000 г} = 127 \text{ кг.}$$

При добавлении бензола протекает реакция:



Пусть в реакции участвовало по x моль реагентов и образовалось по x моль продуктов (по уравнению количества веществ всех участников равны).

Нитробензол не растворяется в воде, следовательно, оставшийся кислый раствор состоит только из воды, серной кислоты, содержащейся в исходной нитрующей смеси, и оставшейся азотной кислоты.

Масса этого раствора:

$$\begin{aligned} m_{\text{р-ра}_\text{ост}} &= m_{\text{р-ра}_\text{HNO}_3} - m_{\text{прореаг}_\text{HNO}_3} + m_{\text{обр}_\text{H}_2\text{O}} = \\ &= 635 \cdot 10^3 - 63x + 18x = 635 \cdot 10^3 - 45x \text{ г.} \end{aligned}$$

Масса оставшейся азотной кислоты:

$$m_{\text{HNO}_3_\text{ост}} = m_{\text{HNO}_3_\text{исх}} - m_{\text{прореаг}_\text{HNO}_3} = 127 \cdot 10^3 - 63x \text{ г.}$$

Составим уравнение для массовой доли азотной кислоты:

$$\omega_{\text{HNO}_3} = \frac{m_{\text{HNO}_3_\text{ост}}}{m_{\text{р-ра}_\text{ост}}} \cdot 100\% = \frac{27 \cdot 10^3 - 63x}{635 \cdot 10^3 - 45x} \cdot 100\% = 2\%,$$

откуда $x = 1841$ моль.

Масса полученного нитробензола:

$$m_{\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2} = M \cdot \nu = 123 \cdot 1841 = 226443 \text{ г} \approx 226,4 \text{ кг.}$$

Ответ: $m_{\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2} \approx 226,4 \text{ кг.}$

5. Общее количество веществ в газовой смеси равно

$$\nu = \frac{V}{V_m} = 0,5 \text{ моль.}$$

Равенство мольных долей означает равенство количеств веществ, то есть $\nu_{\text{NO}_2} = \nu_{\text{O}_2} = 0,25 \text{ моль.}$

При взаимодействии с водой протекает реакция:



Кислород в избытке.

$$\nu_{\text{HNO}_3} = \nu_{\text{NO}_2} = 0,25 \text{ моль, } m_{\text{HNO}_3} = M \cdot \nu = 63 \cdot 0,25 = 15,75 \text{ г.}$$

$$\nu_{\text{O}_2\text{-прореаг}} = \frac{1}{4} \nu_{\text{NO}_2} = 0,0625 \text{ моль,}$$

$$m_{\text{O}_2\text{-прореаг}} = M \cdot \nu = 32 \cdot 0,0625 = 2 \text{ г.}$$

$$m_{\text{NO}_2} = M \cdot \nu = 46 \cdot 0,25 = 11,5 \text{ г.}$$

Кислород малорастворим в воде, следовательно, непрореагировавший кислород не поглотился. Масса образовавшегося раствора:

$$m_{\text{р-ра}} = m_{\text{H}_2\text{O}} + m_{\text{O}_2\text{-прореаг}} + m_{\text{NO}_2} = 100 + 11,5 + 2 = 113,5 \text{ г.}$$

Массовая доля азотной кислоты:

$$\omega_{\text{HNO}_3} = \frac{m_{\text{HNO}_3}}{m_{\text{р-ра}}} \cdot 100\% = \frac{15,75}{113,5} \cdot 100\% = 13,9\%.$$

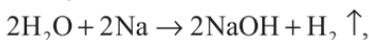
Ответ: $\omega_{\text{HNO}_3} = 13,9\%.$

6. 1) Масса раствора $m = \rho_{\text{р-ра}} \cdot V = 80 \text{ г.}$ В растворе содержится $m_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}} = 0,96 \cdot 80 = 76,8 \text{ г}$ и $m_{\text{H}_2\text{O}} = 80 - 76,8 = 3,2 \text{ г.}$

$$\nu_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}} = \frac{m}{M} = \frac{76,8}{46} = 1,67, \text{ моль. } \nu_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{m}{M} = \frac{3,2}{18} = 0,18 \text{ моль.}$$

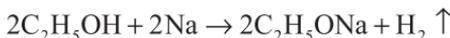
$$\text{Количество добавленного натрия } \nu_{\text{Na}} = \frac{m}{M} = \frac{9,2}{23} = 0,4 \text{ моль.}$$

2) Натрий взаимодействует с водой активнее, чем со спиртом:



израсходовалось $\nu_{\text{Na}_1} = \nu_{\text{H}_2\text{O}} = 0,18$ моль и образовалось $\nu_{\text{NaOH}} = \nu_{\text{H}_2\text{O}} = 0,18$ моль и $\nu_{\text{H}_2_1} = \frac{\nu_{\text{H}_2\text{O}}}{2} = 0,09$ моль.

Оставшиеся $\nu_{\text{Na}_2} = 0,4 - 0,18 = 0,22$ моль натрия реагируют со спиртом:



Прореагировало $\nu_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_\text{прореаг}} = \nu_{\text{Na}_2} = 0,22$ моль и образовалось $\nu_{\text{C}_2\text{H}_5\text{ONa}} = \nu_{\text{Na}_2} = 0,22$ моль и $\nu_{\text{H}_2_2} = \frac{\nu_{\text{Na}_2}}{2} = 0,11$ моль.

В растворе осталось $\nu_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_\text{ост}} = 1,67 - 0,22 = 1,45$ моль.

Общее количество выделившегося водорода:

$$\nu_{\text{H}_2} = 0,11 + 0,09 = 0,2 \text{ моль, } m_{\text{H}_2} = \nu \cdot M = 0,4 \text{ г.}$$

3) В полученном растворе находятся:

$$m_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_\text{ост}} = \nu \cdot M = 1,45 \cdot 46 = 66,7 \text{ г.}$$

$$m_{\text{C}_2\text{H}_5\text{ONa}} = \nu \cdot M = 0,22 \cdot 68 = 14,96 \text{ г,}$$

$$m_{\text{NaOH}} = \nu \cdot M = 0,18 \cdot 40 = 7,2 \text{ г.}$$

Масса раствора:

$$m_{\text{р-ра}_\text{получ}} = m_{\text{р-ра}_\text{исх}} + m_{\text{Na}} - m_{\text{H}_2} = 80 + 9,2 - 0,4 = 88,8 \text{ г.}$$

Массовые доли веществ:

$$\omega_{\text{C}_2\text{H}_5\text{ONa}} = \frac{m_{\text{C}_2\text{H}_5\text{ONa}}}{m_{\text{р-ра}}} \cdot 100\% = \frac{14,96}{88,8} \cdot 100\% = 16,8\%;$$

$$\omega_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}} = \frac{m_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_\text{ост}}}{m_{\text{р-ра}}} \cdot 100\% = \frac{66,7}{88,8} \cdot 100\% = 75,1\%;$$

$$\omega_{\text{NaOH}} = \frac{m_{\text{NaOH}}}{m_{\text{р-ра}}} \cdot 100\% = \frac{7,2}{88,8} \cdot 100\% = 8,1\%.$$

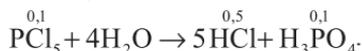
Ответ: $\omega_{\text{C}_2\text{H}_5\text{ONa}} = 16,8\%$, $\omega_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}} = 75,1\%$, $\omega_{\text{NaOH}} = 8,1\%$.

7. 1) Рассчитаем количества веществ:

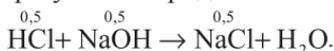
$$\nu_{\text{PCl}_5} = \frac{m}{M} = \frac{20,85}{208,5} = 0,1 \text{ моль,}$$

$$\nu_{\text{NaOH}} = \frac{m}{M} = \frac{0,08 \cdot 300}{40} = 0,6 \text{ моль.}$$

При взаимодействии PCl_5 с водой образуется смесь двух кислот, которые под действием щелочи переходят в соли. При действии раствора щелочи на PCl_5 сразу образуется смесь солей. Для удобства представим, что сначала пентахлорид фосфора растворили в воде, а лишь затем добавили щелочь:



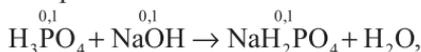
2) Соляная кислота намного сильнее фосфорной, следовательно, в первую очередь образуется хлорид:



$$V_{\text{NaOH}_{\text{ост}}} = 0,6 - V_{\text{NaOH}_{\text{прореаг}}} = 0,6 - 0,5 = 0,1 \text{ моль,}$$

$$V_{\text{NaCl}} = V_{\text{HCl}} = 0,5 \text{ моль, } m_{\text{NaCl}} = M \cdot \nu = 0,5 \cdot 58,5 = 29,25 \text{ г.}$$

Тогда отношение количеств веществ оставшейся щелочи и ортофосфорной кислоты равно 1:1, что соответствует образованию дигидрофосфата натрия:



$$V_{\text{NaH}_2\text{PO}_4} = 0,1 \text{ моль, } m_{\text{NaH}_2\text{PO}_4} = M \cdot \nu = 0,1 \cdot 120 = 12 \text{ г.}$$

3) Масса раствора $m_{\text{р-ра}} = 300 + 20,85 = 320,85 \text{ г.}$

$$\omega_{\text{NaCl}} = \frac{m_{\text{NaCl}}}{m_{\text{р-ра}}} \cdot 100\% = \frac{29,25}{320,85} \cdot 100\% = 9,12\%.$$

$$\omega_{\text{NaH}_2\text{PO}_4} = \frac{m_{\text{NaH}_2\text{PO}_4}}{m_{\text{р-ра}}} \cdot 100\% = \frac{12}{320,85} \cdot 100\% = 3,74\%.$$

Ответ: $\omega_{\text{NaCl}} = 9,12\%$, $\omega_{\text{NaH}_2\text{PO}_4} = 3,74\%$.

8. Большая массовая доля углерода подсказывает, что вещество — углеводород C_xH_y . Массовая доля углерода в нем:

$$\omega_{\text{C}} = \frac{m_{\text{C}}}{m_{\text{C}_x\text{H}_y}} \cdot 100\% = \frac{12x}{12x + y} \cdot 100\% = 90\%, \text{ откуда } x = \frac{3}{4}y.$$

Простейшая формула C_3H_4 соответствует пропину, но продукт его окисления не дает осадка с бромной водой. Осадок образуется при реакции с фенолом, получаемым каталитическим окислением кумола C_9H_{12} .

Равновесие в растворах. Диссоциация кислот и оснований. рН

1. а) HCl — сильная кислота, диссоциирует полностью.



б) HNO_2 — кислота средней силы, в растворе устанавливается равновесие $\text{HNO}_2 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{NO}_2^-$.

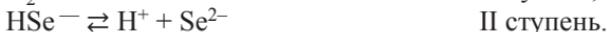
Пусть диссоциировало x моль/л кислоты, тогда равновесные концентрации частиц в растворе $[\text{H}^+] = [\text{NO}_2^-] = x$, $[\text{HNO}_2] = 1 - x$.

Константа равновесия

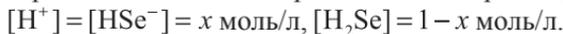
$$K_a = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{NO}_2^-]}{[\text{HNO}_2]} = \frac{x^2}{1-x} = 4 \cdot 10^{-4}.$$

$x^2 + 4 \cdot 10^{-4}x - 4 \cdot 10^{-4} = 0$, откуда $x = [\text{H}^+] = 0,02$ моль/л.

в) H_2Se — слабая кислота, в растворе устанавливается равновесие:



Пусть по первой ступени диссоциировало x моль/л кислоты, тогда равновесные концентрации частиц в растворе:



$$\text{Константа равновесия } K_a = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{HSe}^-]}{[\text{H}_2\text{Se}]} = \frac{x^2}{1-x} = 1,7 \cdot 10^{-4}.$$

$x^2 + 1,7 \cdot 10^{-4}x - 1,7 \cdot 10^{-4} = 0$, откуда $x = [\text{H}^+] = 0,013$ моль/л.

Константа равновесия $K_{a2} = 1,00 \cdot 10^{-11}$ много меньше K_{a1} , диссоциация по второй ступени протекает на несколько порядков слабее, чем по первой, поэтому ею можно пренебречь.

Ответ: а) 1 моль/л; б) 0,02 моль/л; в) 0,013 моль/л.

$$2. K_w = [\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-] = 10^{-14}, \text{ откуда } [\text{OH}^-] = \frac{10^{-14}}{[\text{H}^+]}$$

$$\text{а) } [\text{OH}^-] = \frac{10^{-14}}{1} = 10^{-14} \text{ моль/л,}$$

$$\text{б) } [\text{OH}^-] = \frac{10^{-14}}{0,02} = 5 \cdot 10^{-13} \text{ моль/л,}$$

$$в) [\text{OH}^-] = \frac{10^{-14}}{0,013} = 7,7 \cdot 10^{-13} \text{ моль/л.}$$

Ответ: а) 10^{-14} моль/л, б) $5 \cdot 10^{-13}$ моль/л, в) $7,7 \cdot 10^{-13}$ моль/л.

3. 1) Рассмотрим раствор слабого электролита, диссоциирующего в соответствии с уравнением $AB \rightleftharpoons A^+ + B^-$, константа диссоциации равна:

$$K = \frac{[A^+] \cdot [B^-]}{[AB]} = \frac{[A^+]^2}{C_{AB} - [A^+]}$$

Степень диссоциации слабого электролита:

$$\alpha = \frac{n_{\text{дисс.}}}{n_{\text{общ}}} = \frac{v_{\text{дисс}}}{v_{\text{общ}}} = \frac{[A^+]}{C_{AB}}, \text{ откуда } [A^+] = \alpha \cdot C_{AB}$$

Подставив полученное выражение в уравнение для константы, получим:

$$K = \frac{[A^+] \cdot [B^-]}{[AB]} = \frac{\alpha^2 \cdot C_{AB}^2}{C_{AB} - \alpha \cdot C_{AB}} = \frac{\alpha^2 \cdot C_{AB}}{1 - \alpha}$$

Это выражение — закон разведения Оствальда для слабых электролитов.

2) Молярная концентрация HF

$$C_{\text{HF}} = \frac{V_{\text{HF}}}{V_{\text{р-ра}}} = \frac{m_{\text{HF}}}{M_{\text{HF}} \cdot V_{\text{р-ра}}} = \frac{2}{20 \cdot 1} = 0,1 \text{ моль/л.}$$

По условию $\alpha = 0,08$, тогда

$$K = \frac{\alpha^2 \cdot C_{\text{HF}}}{1 - \alpha} = \frac{0,08^2 \cdot 0,1}{1 - 0,08} \approx 7 \cdot 10^{-4}$$

Ответ: $K \approx 7 \cdot 10^{-4}$.

4. Закон Оствальда связывает степень диссоциации и константу кислотности:

$$K = \frac{\alpha^2 \cdot C}{1 - \alpha}, \text{ откуда } \alpha^2 \cdot C + K\alpha - K = 0 \text{ и } \alpha = \frac{-K + \sqrt{K^2 + 4KC}}{2C}$$

Подставив в полученное уравнение данные из условия задачи, получим:

$$\alpha = \frac{-4 \cdot 10^{-4} + \sqrt{16 \cdot 10^{-8} + 4 \cdot 4 \cdot 10^{-4} \cdot 1}}{2} = \frac{-4 \cdot 10^{-4} + \sqrt{16 \cdot 10^{-4} \cdot (1 + 10^{-4})}}{2}$$

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Список обозначений, используемых в книге.....	5
Глава 1. Расчетные задачи.....	7
Задачи на материальный баланс.....	7
Задачи на смеси веществ.....	12
Задачи на определение формулы неизвестного вещества.....	18
Задачи без численных данных.....	27
Решения и ответы к главе 1.....	30
Решения задач на материальный баланс.....	30
Решения задач на смеси веществ.....	53
Решения задач на определение формулы неизвестного вещества.....	79
Решения задач без численных данных.....	114
Глава 2. Химические реакции.....	120
Цепочки превращений неорганических веществ.....	120
Цепочки превращений органических веществ.....	134
Задачи на составление уравнений реакций.....	140
Решения и ответы к главе 2.....	143
Решения цепочек превращений неорганических веществ.....	143
Решения цепочек превращений органических веществ.....	162
Решения задач на составление уравнений реакций.....	182
Глава 3. Задачи по физической химии.....	188
Изотопы. Ядерные реакции.....	188
Строение молекулы. Строение вещества.....	190
Кинетика.....	191
Тепловые эффекты.....	193

Равновесие в газовой фазе	195
Равновесие в растворах. Диссоциация кислот и оснований. рН	197
Произведение растворимости	201
Электролиз	202
Решения задач по физической химии	204
Изотопы. Ядерные реакции	204
Строение молекулы. Строение вещества	207
Кинетика.....	213
Тепловые эффекты.....	218
Равновесие в газовой фазе	222
Равновесие в растворах. Диссоциация кислот и оснований. рН	228
Произведение растворимости	239
Электролиз	245



Учебное издание

Давыдова Ирина Борисовна,
Новичков Александр Игоревич

Химия
Типовые задания для подготовки к олимпиадам
8–11 классы

Ответственный редактор	<i>Андрей Васько</i>
Выпускающий редактор	<i>Галина Логвинова</i>
Технический редактор	<i>Юлия Давыдова</i>
Компьютерная верстка:	<i>Елена Калитина</i>

Формат 84x108 1/32. Бумага офсетная. Тираж 3000. Заказ №

ООО «Феникс»

344011, Россия, Ростовская обл., г. Ростов-на-Дону, ул. Варфоломеева, 150.

Тел./факс: (863) 261-89-50, 261-89-59

Сайт издательства: www.phoenixrostov.ru

Интернет-магазин: www.phoenixbooks.ru

Изготовлено в России. Дата изготовления: 01.2018.

Изготовитель: АО «Книга»

344019, Россия, Ростовская обл.,
г. Ростов-на-Дону, ул. Советская, 57/1.