

Вопросы и задачи студенческих олимпиад по химии

(КГТУ–КАИ им. А.Н. Туполева)

А.Р. Буданов, Г.И. Гумерова

Перед тем, как предложить Вашему вниманию нашу подборку олимпиадных вопросов и задач, предлагавшихся студентам в 1999–2009 годах, необходимо сделать несколько предварительных замечаний. Проведение химической олимпиады в техническом университете отличается определенной спецификой. Никто не спорит, что знание химии необходимо инженеру практически любой специальности. Но... поскольку инженеру нужно знать много чего еще, то время на изучение химии сокращается безбожно. Большинство студентов проходит только семестровый курс (17 лекций и 17, или даже 8, лабораторных работ). В такой ситуации остается следовать афоризму Гельвеция: «Знание некоторых принципов легко возмещает незнание некоторых фактов», и стараться давать только основы (на остальное просто не хватает времени), но уж с тех, кто претендует на хорошие результаты (читай — участников олимпиады), требовать их глубокого понимания и умения применять.

Еще мы стремимся придерживаться основного олимпийского принципа — «главное — не победа, главное — участие», в нашем случае — «каждый участник должен хоть что-нибудь решить». В его реализации нам помог опыт республиканских школьных олимпиад по химии, где задания состоят из двух частей — тестовых вопросов и собственно задач. В связи с этим мы благодарим коллег — членов жюри — А.И. Курамшина, М.В. Ефимова, М.А. Зиганшина, Р.М. Кузнецова и других, чьи вопросы были использованы при составлении наших комплектов заданий. Также мы постарались указать источники и в остальных случаях, если идея задачи была где-то заимствована. Здесь стоит особенно отметить два очень хороших переводных учебника с обилием интересных и нестандартных задач — Дж. Кемпбела¹ и Р. Дикерсона, Г. Грея, Дж. Хейта², к сожалению, больше не переиздававшихся.

Представленные задачи сгруппированы по темам. Большинство заданий вполне по силам и увлекающим химией школьникам, если для решения требуются сведения, выходящие за рамки школьного курса химии, то это особо отмечается.

¹ Кемпбел Дж. Современная общая химия. В 3-х т. М.: Мир, 1975.

² Дикерсон Р., Грей Г., Хейт Дж. Основные законы химии. В 2-х т. М.: Мир, 1982.

Тестовые вопросы

1. Допустим, что за единицу измерения относительных атомных масс приняли не $^{1}_{12}$, а $^{1}_{6}$ массы атома углерода. Как при этом изменится масса 1 моль вещества?
2. Назовите три основных направления, в которых «работали» древние алхимики.
3. Расположите следующие металлы: Al, Fe, K, Ti в ряд по возрастанию их удельной теплоемкости. Во сколько раз отличается удельная теплоемкость крайних членов ряда?
4. Гусеница через стадию куколки превращается в бабочку. Во что, в конце концов, превращаются все природные радиоактивные элементы?
5. В какой цвет окрашивает пламя смесь солей натрия и калия?
6. Определите тип гибридизации и количество связей в молекуле белого фосфора P_4 и изобразите пространственное строение молекулы.
7. Химическая формула роданида калия в разных учебниках записывается как KCNS, KNCS, KSCN. Какой способ записи более правилен и почему?
8. Чему равно максимальное число элементов, которые могут заполнить 7-й период Периодической системы элементов Д.И. Менделеева?
9. Каким был бы цвет крови, если в гемоглобине вместо ионов железа были бы ионы магния, меди?
10. Назовите наиболее распространенный на Земле восстановитель.
11. Расположите молекулы HF, HCl, HBr, HI по прочности химической связи в них. При растворении в воде галогеноводороды образуют кислоты. Почему сила этих кислот возрастает в обратной последовательности?
12. При помощи какого одного реактива можно различить растворы K_2SO_4 , $ZnSO_4$ и K_2SO_3 ?
13. Как можно экспериментально доказать, что угольная кислота слабее, чем большинство органических кислот? Подтвердите Ваш ответ уравнением реакции.
14. Можно ли из двух кислот получить соль? Подтвердите Ваш ответ уравнением реакции.
15. При неправильно отрегулированном карбюраторе двигателя внутреннего сгорания в выхлопных газах содержатся оксиды азота NO и NO_2 , загрязняющие окружающую

среду. Почему они образуются? Предложите способ очистки выхлопных газов от оксидов азота.

16. Объясните с точки зрения химии, для чего древние мореплаватели выливали масло перед кораблем во время шторма?

К 2009 году запас тестовых вопросов иссяк, поэтому вместо них была предложена такая задача:

Задача 1

Некоторые авторы научно-популярных книг по химии стараются как можно более образно и наглядно представить сложные химические понятия и явления. Иногда это стремление приводит к довольно неожиданным результатам. Попробуйте догадаться, какие химические термины пропущены в приведенных ниже отрывках из популярных книг:

а) Мальчик спрашивает бабушку, случилось ли ей видеть лису. А она отвечает: врать, мол, не буду, лису не видела, а вот петуха, которого лиса несет, однажды встретила; гляжу — плывет по воздуху петух кверху лапками. Так и мы почти никогда не имеем возможности полюбоваться непосредственно «лисами» (<...>), созерцая лишь «петухов» — косвенные свидетельства их существования.

б) <...> настолько многообразны в своих проявлениях, что напоминают марсиан из рассказа Р. Бредбери. Их истинный облик никому недоступен, но каждому они видятся такими, какими их хотят видеть.

в) <...> — как некоторые десятилетние дети. Сами они никогда не попадают в неприятности, но где бы они ни оказались, там обязательно что-нибудь случается.

Следующая группа задач — на применение основных законов химии в нестандартных условиях. Задача 2 позаимствована из Кемпбела, задача 4 — из Дикерсона, Грея, Хейта, задача 5 — из «Химии и жизни» конца 60-х годов.

Задача 2

Земные ученые установили контакт с высокоразвитой инопланетной цивилизацией. Оказалось, что в качестве единицы массы инопланетные ученые используют один гэггл. Это довольно большая единица массы, составляющая 418,1 г. В качестве стандарта для определения относительных атомных масс ими принят элемент квисзий (оказавшийся идентичным земному натрию), которому приписана относительная атомная масса 67,000...

Чему равно на этой планете (в десятичной системе счисления) значение фундаментальной постоянной, соответствующей земному числу Авогадро?

Задача 3

Химический эквивалент неизвестного металла, определенный методом вытеснения водорода, равен 12 г/моль. Почему невозможно точно определить, что это за металл? Какой эксперимент Вы можете предложить, чтобы сделать выбор между возможными вариантами?

Задача 4

Ученые обнаружили параллельную Вселенную, в которой некоторые физические законы отличаются от нашей Вселенной. Так, там выполняются принцип запрета Паули, правила Гунда и Клечковского, но электроны подчиняются следующим ограничениям на квантовые числа:

$$n > 0; l = 0, 1, \dots, (n-1); m = +1 \text{ или } -1; s = +1/2 \text{ или } -1/2.$$

Какие порядковые номера имеют в параллельной Вселенной первые два «инертных газа»?

Задача 5

Сосуд неизвестного объема заполнили неизвестным газом (при нормальных условиях). Затем сосуд доверху наполнили неизвестной жидкостью, в которой неизвестный газ полностью растворился (без протекания химических реакций). Определите молярную концентрацию полученного раствора.

До тех пор, пока на факультете технической кибернетики и информатики у большинства специальностей не исключили химию из учебных планов, в комплект включались и чисто математические задачи. Химические знания для их решения не требуются вовсе, разве только в задаче 6 нужно знать, что если на 1 л требуется V_1 мл серной кислоты, то воды — отнюдь не $(1000 - V_1)$ мл. Задача 8 — из Кемпбелла.

Задача 6

Серную кислоту для аккумуляторов готовят, разбавляя продажную концентрированную кислоту (с плотностью ρ_1 и массовой долей кислоты в растворе w_{m1}) дистиллированной водой.

Выведите общие формулы для расчета того, сколько (по объему) кислоты и воды требуется для приготовления 1 литра раствора с плотностью ρ_2 и массовой долей кислоты в растворе w_{m2} . Пользуясь полученными формулами, установите,

сколько миллилитров кислоты с $\rho_1 = 1,835$ г/мл и $w_{m1} = 95,7\%$ и воды необходимо для приготовления 1 л раствора с $\rho_2 = 1,26$ и $w_{m2} = 35,0\%$.

Задача 7

При анализе твердых веществ важно определять их влажность. В минералах и горных породах вода может быть двоякого рода: нестехиометрическая (гигроскопическая и захваченная — удержанная), которая удаляется при температуре не выше 110°C , и стехиометрическая (кристаллизационная и конституционная), удаляемая при температуре более 110°C .

В условиях хранения образца содержание гигроскопической воды переменено, а колебания влажности материала сказываются не только на процентном содержании воды, но и на процентном содержании всех других составных частей. Поэтому необходимо отмечать, какому содержанию гигроскопической воды соответствуют результаты данного анализа. Часто процентный состав выражают на сухое вещество, так как тогда значения не зависят от изменения влажности. Для производственных целей можно пересчитать состав на соответствующую влажность материала.

Найдите содержание SiO_2 (в процентах по массе) в сухом образце нефелина, если при содержании воды $7,62\%$ оно составляет $39,57\%$.

Выведите общие формулы, позволяющие найти:

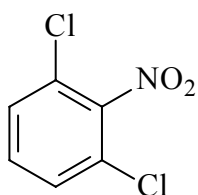
а) содержание i -го компонента в сухом образце w_{Di} , если известно его содержание w_{Hi} при влажности w_W ;

б) содержание i -го компонента w_{Hi} при влажности w_W , если известно его содержание в сухом образце w_{Di} ;

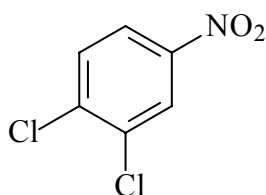
в) содержание i -го компонента w_{Hi2} при влажности w_{W2} , если известно его содержание w_{Hi1} при влажности w_{W1} .

Задача 8

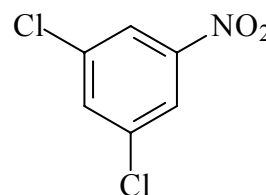
Укажите, в какой последовательности возрастают дипольные моменты в ряду изображенных ниже молекул:



I



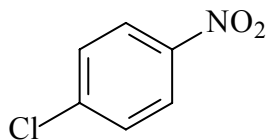
II



III

Оба заместителя, NO₂ и Cl, обладают способностью оттягивать электроны от бензольного кольца, но NO₂ более эффективен в этом отношении, и дипольный момент его связи с кольцом больше, чем для Cl.

В каком месте найденной Вами последовательности Вы поместили бы следующую молекулу? Почему?



IV

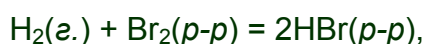
Эти не слишком сложные задачи — на тему «химическая термодинамика и равновесие». Задача 10 предлагалась участникам Интернет-олимпиады, проводившейся фирмой “Innocentive” в 2006 году.

Задача 9

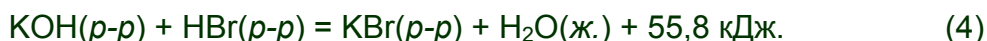
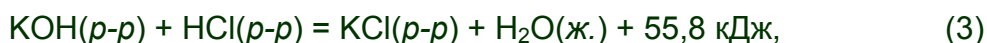
Теплоты сгорания ацетилена C₂H₂, этилена C₂H₄ и этана C₂H₆ равны соответственно 1300, 1410 и 1560 кДж/моль. Как объяснить тот факт, что наиболее высокая температура пламени достигается при горении ацетилена?

Задача 10

Определите тепловой эффект реакции



если известны тепловые эффекты реакций (**Внимание! Использована термохимическая система знаков!**):



Все данные приведены для стандартных условий.

Почему в реакциях (3) и (4) выделяется одинаковое количество тепла?

Совпадает ли полученное вами значение с удвоенной величиной $\Delta H_{f, 298}^{\circ}$ бромоводорода? Почему?

Задача 11

Растворение гидроксида натрия в воде сопровождается выделением большого количества тепла, однако с повышением температуры растворимость NaOH

увеличивается. Как это согласовать с принципом Ле-Шателье (равновесие экзотермической реакции с повышением температуры должно смещаться в сторону образования исходных веществ)?

Задача 12

В три вакуумированные ампулы объемом 1 л каждая поместили навески карбоната кальция массой 1,00; 2,00; 3,00 г соответственно. После нагревания до 1000°C в первой колбе установилось равновесное давление 8,00 Па. Найдите давление при этих условиях во второй и третьей ампуле.

Следующие две наши задачи ранее публиковались, но включены в подборку для тех юных химиков, которые любят опыты со взрывами, но еще не поняли, что взрываться лучше теоретически.

Задача 13

Граната Ф1 состоит из оболочки массой 300 г и заряда тринитротолуола ($C_7H_5N_3O_6$) массой 80 г. Теплота взрыва ТНТ составляет 4190 кДж/кг, взрыв происходит без доступа воздуха. В кинетическую энергию осколков (средняя масса осколка 10 г) переходит 0,1% энергии взрыва.

Запишите уравнения реакций взрыва и горения ТНТ. На какую максимальную высоту поднимется осколок, если он взлетает вертикально, а сопротивление воздуха пренебрежимо мало?

Задача 14

Во время Великой Отечественной войны для борьбы с ночными бомбардировщиками противника применялись аэростаты заграждения, наполнявшиеся водородом. Со временем в результате утечек газа и через пробоины водород вытеснялся воздухом. Это уменьшало подъемную силу и делало опасным использование аэростатов, в которых образовывалась взрывоопасная смесь, содержащая более 26% воздуха по объему, так как они могли быть уничтожены одним случайным попаданием. Контроль состава газовой смеси проводили измерением плотности.

Начиная с какого значения плотности использовать газ в аэростате уже нельзя?

Как быстро определить плотность используемой газовой смеси в полевых условиях?

Какой из способов получения водорода Вы рекомендовали бы для наполнения аэростатов?

Как уже говорилось, задачи, типичные для школьных химических олимпиад, которые требуют углубленного знания свойств конкретных веществ, мы стараемся не давать, но некоторое их количество все же набралось. Задача 16 — с олимпиады фирмы “Innocentive”.

Задача 15

Предложите способ разделения смеси опилок свинца, меди, железных стружек и капелек ртути. Какое оборудование при этом понадобится?

Задача 16

При нагревании 1,000 г некоторой соли образуется три оксида: твердый (0,878 г), жидкий (0,0354 г) и газообразный (0,0866 г) (в стандартных условиях). Определите формулу соли и напишите уравнение ее термического разложения.

Задача 17

Для получения хлороводорода в химической лаборатории используется порошок хлорида натрия и концентрированная серная кислота. Напишите уравнение реакции, рассчитайте, сколько NaCl по массе нужно взять для получения 1 л концентрированной соляной кислоты (36% масс., $\rho = 1,18$ г/мл), изобразите схему прибора, в котором можно провести эту реакцию.

Составление уравнений окислительно-восстановительных реакций — одна из любимых тем как школьных, так и вузовских преподавателей. Задача 20 — вы, возможно, будете смеяться — без изменений взята из контрольной для заочного отделения, причем нехимической специальности (не то агрономов, не то пищевиков). Мы-то решили, и многие участники олимпиады тоже, а что было делать бедным заочникам?

Задача 18

Закончите уравнения окислительно-восстановительных реакций, учитывая, что ниже приведены **все** продукты (без стехиометрических коэффициентов). Подумайте, в каких случаях решение задачи не единственное.



Задача 19

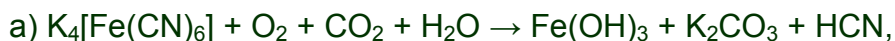
Два студента составили следующие уравнения реакции между перманганатом калия и пероксидом водорода в кислой среде:



Кто из студентов допустил ошибку? Почему?

Задача 20

Закончите уравнения окислительно-восстановительных реакций:



Следующая подборка — качественные задачи по электрохимии. Задача 23 — с олимпиады фирмы “Innocentive”, задача 24 — из Дикерсона, Грея, Хейта, для ее решения нужно знать принцип работы концентрационного элемента, что не входит в школьную программу.

Задача 21

Алхимики утверждали, что одни металлы могут превращаться в другие, и пытались получить из неблагородных металлов золото. Как подтверждение своих взглядов они рассматривали, например, тот факт, что при работе в сырых шахтах железные кирки со временем «превращались» в медные. Что происходило на самом деле? Почему не получалось таким способом «превратить» железо в золото? Подтвердите свой ответ уравнениями реакций.

Задача 22

Кольцо из желтого металла подвесили на стальной проволоке и поместили в стакан с бесцветной жидкостью. Сразу же на поверхности кольца началось бурное выделение газа, однако когда кольцо упало на дно стакана, его масса не изменилась. Какая это может быть жидкость? Объясните наблюдаемые явления.

Задача 23

В Вашем распоряжении имеются три монеты — железная, медная и золотая; дистиллированная вода, водный раствор FeCl_3 , химические стаканы и платиновая

провода. Кратко опишите последовательность действий, позволяющих покрыть железную и золотую монету слоем меди. Приведите уравнения реакций.

Задача 24

Рассмотрим «вечный двигатель», построенный при помощи концентрационного элемента.

а) Два медных электрода погружены в растворы сульфата меди одинаковой концентрации и соединены так, чтобы получился концентрационный элемент. Первоначально этот элемент не имеет напряжения. Допустим, что каждый электрод содержит больше меди, чем ее имеется в каждом растворе.

б) Раствор А разбавляют до тех пор, пока концентрация ионов меди в нем не уменьшится вдвое; в результате концентрационный элемент приобретает напряжение E . Действующий элемент выполняет полезную работу над своим окружением до тех пор, пока не уравниваются концентрации двух растворов и напряжение элемента снова не упадет до нуля.

в) Раствор Б разбавляют до тех пор, пока концентрация ионов меди в нем не уменьшится вдвое; в результате концентрационный элемент снова создает такое же напряжение E , как и прежде, но с противоположным знаком. Элемент снова приводится в действие и выполняет полезную работу до выравнивания концентраций растворов А и Б.

г) Стадии (б) и (в) поочередно повторяются; сначала один раствор, а потом другой поочередно разбавляются вдвое, после того как на предыдущей стадии происходит выравнивание концентраций ионов меди. Поскольку концентрации растворов после разбавления вдвое никогда не достигают нулевого значения, описанный процесс можно продолжать до бесконечности и таким образом бесконечно получать полезную работу от концентрационного элемента. Более того, действующий элемент облегчает нашу задачу, так как он повышает концентрацию только что разбавленного раствора.

Укажите, что неправильно в этой цепи рассуждений.

Для решения последней группы задач нужны знания, выходящие за рамки школьного курса. Они достаточно сложны, и поэтому оценивались в наибольшее количество баллов.

Задача 25

При давлении больше 130 мм рт. ст. скорость реакции разложения $N_2O_4 = 2NO_2$ описывается уравнением первого порядка $v = k[N_2O_4]$, при давлении меньше

25 мм рт. ст. — уравнением второго порядка $v = k[\text{N}_2\text{O}_4]^2$, при промежуточных значениях давления измеренный порядок реакции оказывается дробным. Изменяется ли при различных давлениях механизм этой реакции? Определяется ли зависимость порядка реакции общим давлением или парциальным давлением $[\text{N}_2\text{O}_4]$?

Задача 26

Вычислите концентрацию ионов H^+ и значение pH в водных растворах:

а) синильной кислоты HCN с концентрацией 10^{-7} моль/л (константа диссоциации синильной кислоты равна $5 \cdot 10^{-10}$);

б) соляной кислоты HCl с концентрацией 10^{-8} моль/л.

Задача 27

Выведите общую формулу для расчета pH водного раствора соли (MNA) сильного основания MOH и слабой двухосновной кислоты H_2A , при условии, что концентрация соли равна C моль/л, константа диссоциации кислоты по первой ступени K_{a1} , по второй ступени K_{a2} .

Как можно упростить общую формулу в случае, если:

а) $K_{a1} \gg K_{a2}$, б) $K_{a1} \approx K_{a2}$?

Ну и, наконец, задача 2001 года. Решается она довольно просто, и для этого достаточно вспомнить только две даты из нижеперечисленных. На олимпиаде можно пользоваться любой литературой, но кто бы догадался на олимпиаду по химии принести учебник истории?

Задача 28

Более двух с половиной тысяч лет назад высокоразвитая инопланетная цивилизация вывела на околоземную орбиту спутник-наблюдатель, имевший в качестве источника энергии ядерные батареи на неизвестном земной науке радиоактивном элементе. Первоначальный уровень радиоактивности составлял $1,00 \cdot 10^6$ распадов в секунду.

Во время Марафонской битвы уровень радиоактивности понизился до $7,47 \cdot 10^5$ распадов в секунду, в год начала восстания рабов под предводительством Спартака — до $4,62 \cdot 10^5$, в год падения Западной Римской империи — до $2,57 \cdot 10^5$, во время Ледового побоища — до $1,10 \cdot 10^5$, в год открытия Колумбом Америки — до $8,34 \cdot 10^4$, во время провозглашения независимости Соединенных Штатов Америки — до $6,09 \cdot 10^4$, в год рождения Л.Н.Толстого — до $5,75 \cdot 10^4$ распадов в секунду.

а) Определите период полураспада радиоактивного элемента, служившего источником энергии в ядерных батареях.

б) В 2001 г. инопланетный спутник был обнаружен земными учеными. Чему оказался равен уровень радиоактивности ядерных батарей?

в) Найдите точную дату вывода инопланетного спутника на околоземную орбиту. С каким легендарным историческим событием совпала эта дата?



shastacollege.edu