

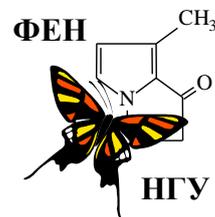


60-я Всесибирская открытая олимпиада школьников

Первый отборочный этап 2021-2022 уч. года

Задания по химии

9 класс



Указом Президента РФ № 812 от 25.12.2020 текущий 2021 год был объявлен Годом науки и технологий. Одной из главных целей этого решения является привлечение талантливой молодежи именно в эту сферу деятельности. Методическая комиссия ВООШ по химии надеется на то, что наша олимпиада будет способствовать развитию Вашего интереса к нашей волшебной науке и посвящает предлагаемый Вам комплект заданий Году науки и технологий.

Задание 1. «Химическая лаборатория».

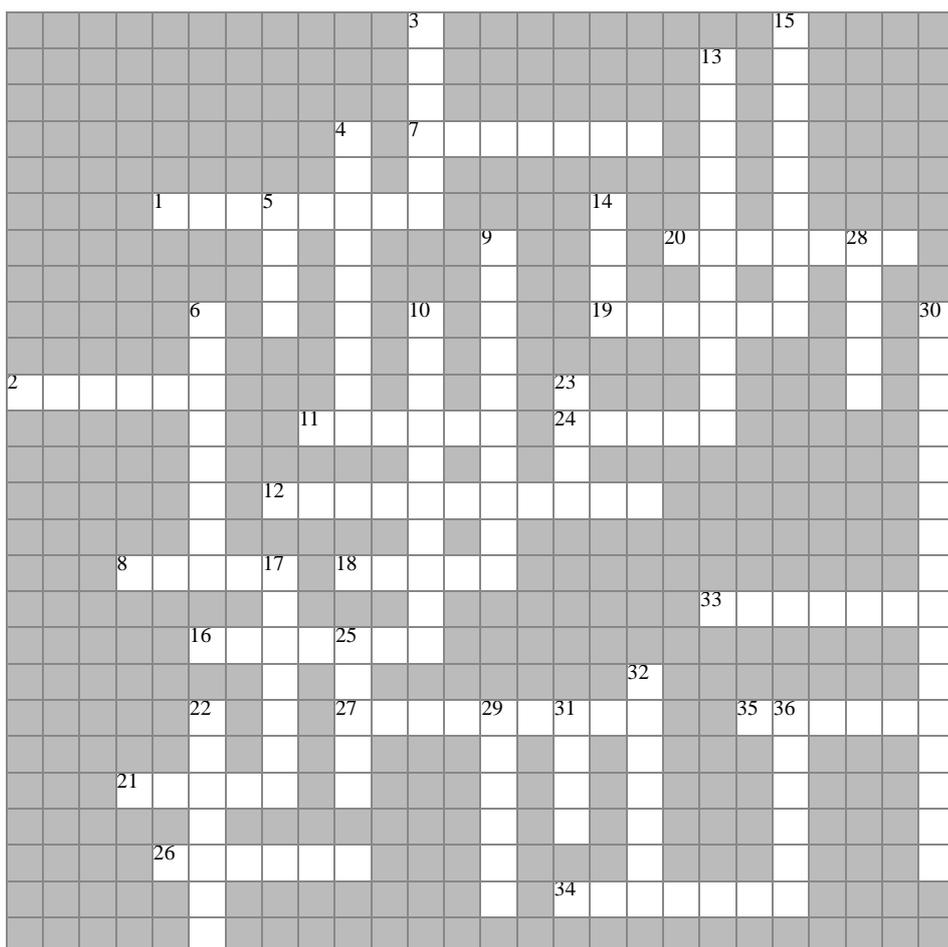
«Один опыт я ставлю выше, чем тысячу мнений, рождённых только воображением.»

М.В. Ломоносов

Прежде, чем получить широкое промышленное применение, любая химическая технология проходит многократные испытания в лаборатории – специальным образом оборудованном помещении, приспособленном для научных опытов и исследований. В предлагаемом Вашему вниманию кроссворде зашифрованы названия специальной посуды, приборов и оборудования, которые Вы можете встретить в большинстве химических лабораторий.

1. Используя подсказки, разгадайте кроссворд. Ответы перепишите на лист с Вашими решениями в формате «номер – слово».

2. Из получившегося у Вас списка выберите названия тех предметов, которые бывают изготовлены в основном из стекла (более 50 % по массе).



1. Небольшой сосуд цилиндрической формы, имеющий полукруглое (чаще всего), либо коническое или плоское дно. Используется для проведения некоторых химических реакций с малыми объемами веществ.
2. Цилиндрический сосуд с плоским дном и оттянутым носиком. Высота сосуда примерно в 1,4 (низкий) или 1,8 (высокий) раза больше, чем диаметр.
3. Предмет, посредством которого обеспечивается изоляция содержимого узкогорлого сосуда от окружающей среды.
4. Прибор для поддержания постоянной температуры проведения процесса.
5. Устройство, предназначенное для нагревания сосудов с реакционными смесями или упаривания растворов. Бывает водяным, масляным и даже песчаным. Содержит набор плоских колец различного диаметра.
6. Мерный сосуд конической формы с носиком, расширяющийся кверху. На его наружной поверхности нанесены деления в мл.
7. Это устройство, снабженное специальным краном или стеклянным шариком позволяет очень точно определять объем добавленной жидкости.
8. Полая гибкая трубка, предназначенная для транспортировки газообразных и

жидких веществ. 9. Пластиковый сосуд, в крышку которого встроена трубка с носиком. Используется для споласкивания (промывания) химической посуды или доливания небольшого количества жидкости. 10. Устройство, использующее центробежную силу для разделения газов, жидкостей, сыпучих твердых тел разной плотности, отделения осадка от вязкого раствора и т.п. 11. Приспособление для закрепления лабораторной посуды при сборе установки. Состоит из тяжелого основания и вертикально закрепляемого на нем стержня. 12. Прибор, с помощью которого в лаборатории получают чистую воду. 13. Устройство для конденсации паров жидкости при ее перегонке или длительном кипячении. 14. Бывает сушильный и вытяжной. 15. Устройство для измерения и контроля температуры проведения процесса. 16. Приспособление, предназначенное для наливания жидкостей в сосуд с узким горлом. 17. Устройство для нагрева реакционного сосуда открытым газовым пламенем. 18. Приспособление, предназначенное для набора жидкости в пипетку. Изготавливается из резины, латекса или силикона. 19. Приспособление, содержащее пористую поверхность и предназначенное для отделения осадка от раствора. 20. Мерный или дозирующий сосуд, представляющий собой трубку (либо ёмкость с трубкой) с оттянутым книзу носиком. 21. Емкость для выпаривания жидкостей (как правило, до сухого остатка). 22. Механическое устройство для создания и поддержания однородности смеси. 23. Твердый предмет продолговатой формы, которым воздействуют на растираемый или размалываемый продукт, помещенный в сосуд из п. 35. 24. Устройство, предназначенное для удаления механических загрязнений с внутренних стенок узкогорлых сосудов (бутылей, пробирок и т.п.). 25. Устройство для откачивания воздуха и создания пониженного давления. 26. Электрический прибор с плоской горизонтальной нагревательной поверхностью. 27. Устройство для нагрева реакционной смеси с помощью горящего этилового спирта. 28. Эти сосуды бывают круглодонными, плоскодонными и коническими. 29. Полое изделие цилиндрической формы. Бывает прямая, изогнутая, U-образная, хлоркальциевая. 30. Устройство, предназначенное для нагрева веществ или их смесей, помещенных в круглодонные сосуды из п. 28. 31. Прибор для определения массы тел. 32. Специальный цилиндрический стержень с закругленными концами, предназначенный для ручного перемешивания реакционной смеси. 33. Мерный сосуд, представляющий собой высокий узкий стакан с делениями, закрепленный на неподвижном либо съемном основании. 34. Небольшое приспособление для работы с твердыми веществами: пересыпания, соскабливания, перемешивания и т.п. Представляет собой стержень с расплюснутым, иногда изогнутым концом/концами. 35. Емкость для ручного измельчения небольших порций твердых веществ. 36. Ёмкость для нагрева, высушивания, обжига или плавления различных материалов.

Задание 2. «Такой простой, но очень важный X».

Бинарное (двухэлементное) вещество **X** стабильно входит в тройку лидеров продуктов современной химической промышленности по масштабам производства и потребления. Ежегодное мировое производство этого вещества превышает 180 млн. тонн. Являясь газом при комнатной температуре (20°C) и атмосферном давлении с плотностью 0,707 кг/м³, вещество **X** легко переходит при этой температуре в жидкое состояние при повышении давления до 8,5 атм. С другой стороны, можно легко получить жидкий **X** и при атмосферном давлении, если понизить температуру заметно ниже комнатной. При $p = 8,5$ атм. и $t = 20^\circ\text{C}$ плотность газа **X** составляет 6,010 кг/м³, жидкого **X** 610 кг/м³; при атмосферном давлении и температуре кипения плотность газа **X** 0,864 кг/м³, жидкого **X** 682 кг/м³; удельный объем газа **X** при нормальных условиях (н.у.) составляет 1,318 м³/кг.

1. Во сколько раз изменяется объем вещества **X** при его переходе из газообразного в жидкое состояние в описанных равновесных условиях: а) $p = 8,5$ атм. и $t = 20^\circ\text{C}$; б) $p = 1$ атм., $t = t_{\text{кипения}}$. Объясните, почему величины отношений, полученные Вами в пунктах а) и б), довольно сильно различаются. Воспользовавшись численными данными, приведенными в условии задачи, вычислите молекулярную массу газа **X**.

X выделяется среди газов своей огромной растворимостью в воде: при н.у. 1 мл воды способен растворить 1170 мл этого газа. Плотность такого (насыщенного по газу **X** при н.у.) раствора составляет 0,850 г/см³.

2. Рассчитайте массовую долю и молярную концентрацию (количество молей в 1 л раствора) газа **X** в его насыщенном при н.у. водном растворе.

Первый в мире завод по производству газа **X** был построен немецкой компанией BASF в 1913 г. Завод мощностью 30 тонн **X** в день использовал технологию, основывающуюся на каталитическом взаимодействии простых газообразных веществ **A** и **B** [реакция 1]. Газ **B** получали путем электролиза воды.

3. Назовите вещества **X**, **A** и **B**, напишите их химические формулы и уравнение реакции [1]. Как в настоящее время получают вещество **A** в промышленности? А как в лаборатории обычно получают вещества **X** и **B**? Приведите по одному примеру (кроме электролиза воды), по мере возможности сопроводив их уравнениями реакций.

Электролиз – окислительно-восстановительный процесс, происходящий с раствором или расплавом вещества под действием электрического тока. Поскольку чистая вода плохо проводит электрический ток, в воду обычно добавляют щелочь для повышения электропроводности раствора, а электролиз такого раствора называют водощелочным. Химическая суть этого процесса сводится к разложению воды на простые вещества [2].

4. Напишите уравнение реакции, протекающей при электролизе воды [2]. Рассчитайте минимальный объём воды (в м³), который требовался для годовой работы завода мощностью 30 т **X** в день.

Водощелочной электролиз потребляет очень много электроэнергии: 8 кВт·ч на каждый кг разложившейся воды. Современное производство **X** использует ту же схему синтеза, но применяет другой источник газа **B**, а также сильно отличается от процесса вековой давности по эффективности катализа и масштабам. Многие современные заводы имеют мощности от 1650 т в день и более.

5. Вычислите часовые траты (руб./час) современного российского завода мощностью 1650 т **X** в день, которые приходились бы только на электролиз воды, если бы он работал по технологии 1913 года. Среднюю стоимость одного кВт·ч электроэнергии в России примите равной 3,52 руб.

Работа современных заводов по производству **X** основана на получении газа **B** из метана и требует тщательно сбалансированной последовательности реакции. Метан выделяют из природного газа и сначала подвергают десульфированию (удаление соединений серы), затем сжимают до 30 атм. и вводят во взаимодействие с водяным паром на никелевом катализаторе при 750°C. В результате частичного протекания реакций паровой конверсии метана [3], [4] в газовой фазе появляются газы **C** и **D** соответственно. После этого в полученную газовую смесь (назовем ее смесь **1**) с помощью компрессора вдувают определенное количество воздуха для достижения необходимого соотношения газов **A** : **B**, и весь кислород из воздуха реагирует с частью газа **B** [5], нагревая полученную смесь газов **2** до 1100°C. Смесь **2** снова пропускают над никелевым катализатором, в результате чего удаётся снизить концентрацию исходного метана практически до нуля, а выходящую смесь газов **3** затем охлаждают в теплообменниках.

Основную долю газа **C** из смеси **3** удаляют при ее пропускании над металл-оксидными катализаторами на основе CuO (при $t = 200-250^\circ\text{C}$) или Fe₂O₃ (при $t = 350-550^\circ\text{C}$). В ходе т. н. реакции водно-газового сдвига (WGSR) газ **C** реагирует с водой и получается дополнительное количество газа **B** [6], причем в этой реакции плотность газовой смеси не меняется. Однако таким способом не удаётся полностью избавиться от газа **C**, поэтому полученную после реакции [6] газовую смесь **4** дополнительно подвергают превращению на никелевом катализаторе при 325°C. Остатки газа **C** при этом превращаются в метан [7]. Образовавшуюся газовую смесь **5** пропускают через водный раствор-поглотитель (например, NaOH) для полного удаления газа **D** [8]. Конечная газовая смесь **6** состоит из нужных для проведения процесса [1] газов в требуемом соотношении (1 : 3) и содержит около 1 % примеси одного из газов, образовавшихся в ходе реакций [3] - [7].

6. Напишите формулы и названия газов **C** и **D**. Учтите, что эти газы являются бинарными и имеют одинаковый качественный состав. Напишите уравнения реакций [3] – [8].

7. Укажите качественные составы газовых смесей **1** – **6** (формулы веществ) без учета водяного пара.

Для получения конечного продукта **X** полученную газовую смесь **6** нагревают до 325°C и пропускают над катализатором (пористое железо с примесями Al₂O₃ и K₂O) при $p = 350$ атм. После проведения реакции [1] смесь охлаждают до перехода вещества **X** в жидкую фазу и отделяют его от не прореагировавшей смеси (первый цикл). К освобожденной от **X** смеси исходных газов добавляют дополнительное количество смеси **6** до достижения необходимого давления и проводят следующий цикл реакции [1].

8. Доля прореагировавшего вещества **A** (отношение израсходованного количества вещества **A** к его количеству в системе до реакции) в ходе одного цикла в описанных условиях составляет 34 %. Вычислите, какая доля изначального взятого вещества **A** прореагирует с веществом **B** после проведения трех циклов реакции [1].

Задание 3. «Aqua fortis».

Кислота **A** была известна алхимикам еще в средние века. В 12 веке приготовление кислоты **A** было описано в трактате «De Inventioni Veritatis»: её получали перегонкой смеси, состоящей из 1 г медного купороса, 1,5 г её натриевой соли и 0,25 г алюмокалиевых квасцов ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$). В 13 веке Альберт Великий описал другой способ приготовления **A**. Он получил её путем нагревания одной из солей кислоты **A** и глины и назвал её «eau forte» (аква фортис). Несколько веков спустя, в 1776 году, Лавуазье показал, что **A** содержит кислород. Кавендиш в 1785 году смог произвести её с помощью электрического разряда во влажном воздухе, доказав, что **A** содержит еще один дополнительный элемент **X**, входящий в состав воздуха. Только в 1816 г. Гей-Люссак и Бертолле определили полный состав этой важной для промышленности кислоты.

1. Установите элемент **X** и молекулярную формулу кислоты **A**, если известно, что в одной молекуле **A** содержится 32 протона. Назовите кислоту **A** и ее натриевую соль.
2. Какую максимальную массу кислоты **A** в граммах можно было получить по методике из «De Inventioni Veritatis», если известно, что в ходе процесса, описанного в трактате, в кислоту превращалось не более 70% ее натриевой соли.

Коммерчески доступная концентрированная кислота обычно имеет концентрацию (массовую долю) 68% по массе (ее плотность $\rho = 1,405 \text{ г/см}^3$, $T_{\text{кип}} = 120,7 \text{ }^\circ\text{C}$), а при повышении концентрации более 86% она становится «дымящей».

3. Вычислите количество атомов **X**, содержащееся в одной цистерне (70 м^3) коммерчески доступной концентрированной кислоты **A**.

Лаборант приготовил для демонстрационных опытов 3 л кислоты **A** с массовой долей 15% ($\rho = 1,084 \text{ г/см}^3$) из коммерчески доступной кислоты и воды.

4. Какова масса полученного им раствора и сколько грамм кислоты **A** в нем содержится? В какой массе коммерчески доступной кислоты содержится столько же вещества **A** и какой объем она занимает? Какой объем воды лаборант добавил к этому объему коммерчески доступной кислоты, чтобы получить 3 л кислоты **A** с массовой долей 15%?

Кислота **A** смешивается с водой в любых соотношениях, ее раствор бесцветен, но со временем приобретает желтый оттенок из-за частичного разложения кислоты, сопровождающегося образованием оксида XO_2 [реакция 1].

Кислота **A** может легко реагировать с образованием своих солей с оксидами (CuO [2]), гидроксидами ($NaOH$ [3]) и карбонатами (Na_2CO_3 [4]) металлов. Концентрированная кислота **A** является сильнейшим окислителем, она легко растворяет не только такой активный металл, как цинк [5], но даже медь [6] и серебро [7]. Концентрированная кислота **A** может реагировать и с неметаллами (углерод [8], сера [9], фосфор [10]), и с различными солями (сульфид железа(II) [11], иодид калия [12]).

6. Напишите уравнения реакций [1-12], описывающих свойства кислоты **A**.

Многие соли кислоты **A** активно используются в сельском хозяйстве. Одним из таких соединений является соль **B**, в состав которой входят только атомы элементов, составляющих молекулу **A**. Соотношение атомов **X** и кислорода составляет 2:3, а массовая доля **X** – 35 %.

7. Вычислите брутто формулу соли **B**, укажите, какие ионы входят в ее состав, и напишите ее номенклатурное и собственное (тривиальное) название. Для каких целей соль **B** используется в сельском хозяйстве?

Промышленный способ получения кислоты **A** был разработан Глаубером в 1698 г. и использовался веками. Он состоял в отгонке **A** в процессе нагревания смеси калиевой соли этой кислоты и концентрированной серной кислоты [13]. Метод получения **A** из компонентов воздуха был разработан в США лишь в 1902 г., промышленное производство было начато в 1905 г. Для этого осуществляли пропускание воздуха через высокотемпературную электрическую дугу [14]. Полученный оксид окисляли кислородом воздуха [15], а потом абсорбировали водой в присутствии воздуха с получением разбавленной кислоты **A** [16]. Несмотря на существенные недостатки такого промышленного метода, заводы просуществовали до 1932 г. и были закрыты лишь в связи с разработкой более эффективных методов фиксации газа X_2 .

6. Напишите уравнения реакций [13-16]. Назовите два основных недостатка методик получения вещества **A** с использованием электрической дуги.

