

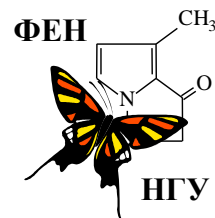


# 60-я Всесибирская открытая олимпиада школьников

Первый отборочный этап 2021-2022 уч. года

Задания по химии

8 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».

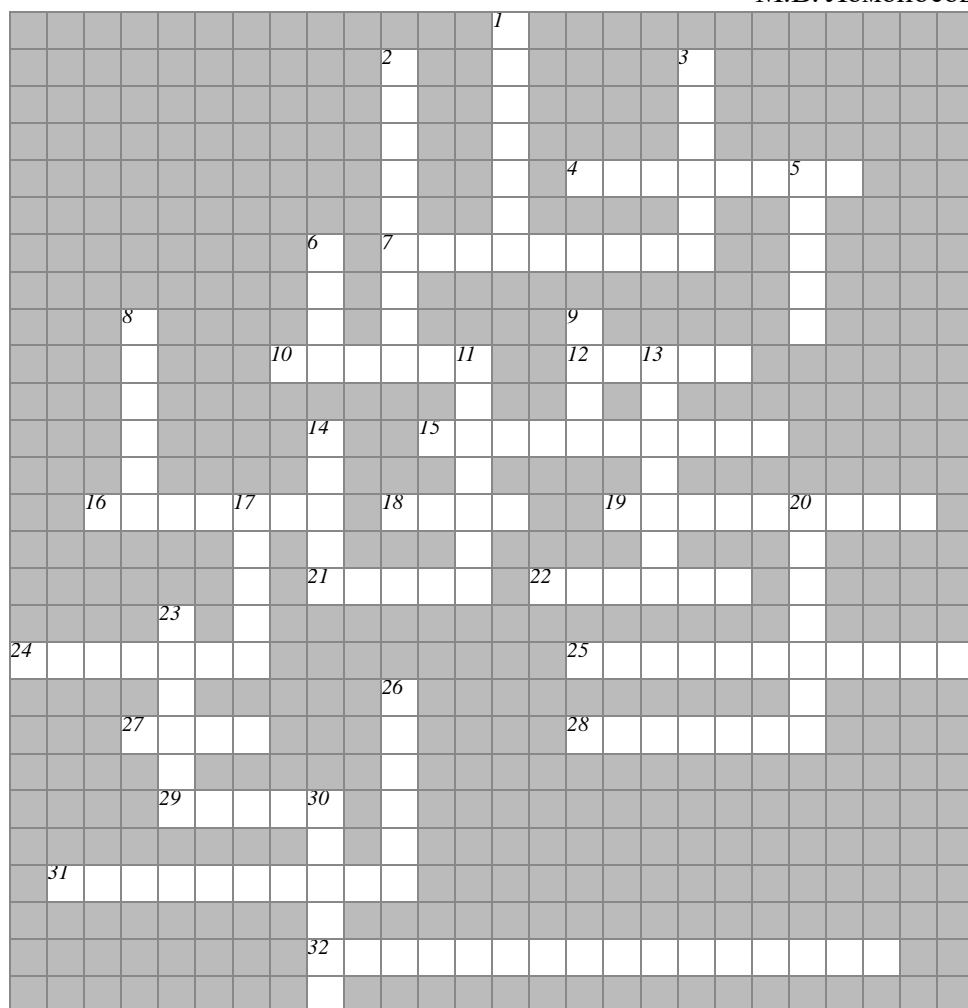
*«Один опыт я ставлю выше, чем тысячу мнений,  
рождённых только воображением.»*

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.** Мерный сосуд, представляющий собой высокий узкий стакан с делениями, закрепленный на неподвижном либо съемном основании. **2.** Прибор для поддержания постоянной температуры проведения процесса. **3.** Узкое полое изделие цилиндрической формы. Бывает прямая, изогнутая, U-образная, хлоркальциевая. **4.** Небольшой сосуд цилиндрической формы, имеющий полукруглое (чаще всего), либо коническое или плоское дно. Используется для проведения некоторых химических реакций с малыми объемами веществ. **5.** Эти сосуды бывают круглодонными, плоскодонными и коническими. **6.** Твердый предмет продолговатой формы, которым воздействуют на растираемый или размалываемый продукт, помещенный в сосуд из п. **30**. **7.** Устройство для нагрева реакционной смеси с помощью горящего спирта. **8.** Предмет, посредством которого обеспечивается изоляция содержимого узкогорлого сосуда от окружающей среды. **9.** Прибор для определения массы тел. **10.** Приспособление для закрепле-

ния лабораторной посуды при сборе установки. Состоит из тяжелого основания и вертикально закрепляемого на нем стержня. 11. Приспособление для наливания жидкостей в сосуд с узким горлом. 12. Устройство, предназначенное для удаления механических загрязнений с внутренних стенок узкогорлых сосудов (бутылей, пробирок и т.п.). 13. Небольшое приспособление для работы с твердыми веществами: пересыпания, соскабливания, перемешивания и т.п. Представляет собой стержень с расплюснутым, иногда загнутым или свернутым в совочек концом/концами. 14. Гибкая мягкая трубка, предназначенная для транспортировки газообразных и жидких веществ. 15. Пластиковый сосуд, в крышку которого встроена трубка с носиком. Используется для споласкивания (промывания) химической посуды или доливания небольшого количества жидкости. 16. Специальный цилиндрический стержень с закругленными концами, предназначенный для ручного перемешивания реакционной смеси. 17. Емкость для выпаривания жидкостей (как правило, до сухого остатка). 18. Устройство, предназначенное для нагревания сосудов с реакционными смесями или упаривания растворов. Бывает водяным, масляным и даже песчаным. Содержит набор плоских колец различного диаметра. 19. Устройство для измерения и контроля температуры проведения процесса. 20. Механическое устройство для создания и поддержания однородности смеси (перемешивания). 21. Приспособление, предназначенное для набора жидкости в пипетку. Изготавливается из резины, латекса или силикона. 22. Приспособление, содержащее пористую поверхность и предназначенное для отделения осадка от раствора. 23. Цилиндрический сосуд с плоским дном и оттянутым носиком. Высота сосуда примерно в 1,4 (низкий) или 1,8 (высокий) раза больше, чем диаметр. 24. Мерный или дозирующий сосуд, представляющий собой трубку (либо ёмкость с трубкой) с оттянутым книзу носиком. 25. Устройство для охлаждения и конденсации паров жидкости при ее перегонке или длительном кипячении. 26. Электрический прибор с плоской горизонтальной нагревательной поверхностью. 27. Это лабораторное оборудование бывает сушильным и вытяжным. 28. Устройство для нагрева реакционного сосуда открытым пламенем, как правило, газовым. 29. Устройство для откачивания воздуха и создания пониженного давления. В лаборатории обычно используют его водоструйный вариант. 30. Емкость для ручного измельчения небольших порций твердых веществ с помощью предмета из п. 6. 31. Устройство, использующее центробежную силу для разделения газов, жидкостей, сыпучих твердых тел разной плотности, отделения осадка от вязкого раствора и т.п. 32. Устройство, предназначенное для нагрева веществ или их смесей, помещенных в круглодонные сосуды из п. 5.

## **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/м<sup>3</sup>, 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/м<sup>3</sup>, жидкого **X** 610 кг/м<sup>3</sup>; при атмосферном давлении и температуре кипения плотность газа **X** 0,864 кг/м<sup>3</sup>, жидкого **X** 682 кг/м<sup>3</sup>; плотность газа **X** при нормальных условиях (н.у.) составляет 0,759 г/л.

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 значением плотности газа **X** при н.у., 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/см<sup>3</sup>.

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 простого вещества **Y** и водорода [реакция 1], который получали электролизом воды.

3. Назовите вещества **X** и **Y**, напишите их химические формулы и уравнение реакции [1]. Как в

настоящее время обычно получают водород и вещество **Y** в промышленности? А как в лаборатории обычно получают водород? 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 м<sup>3</sup>), 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 водорода, 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 водорода из метана (СН<sub>4</sub>) 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°С. В результате частичного протекания реакций паровой конверсии метана [3], [4] в газовой фазе появляются угарный и углекислый газы. После этого в полученную газовую смесь (назовем ее смесь **1**) с помощью компрессора вдувают определенное количество воздуха для достижения необходимого соотношения газ **Y** : водород, и весь кислород из воздуха реагирует с частью водорода [5], нагревая полученную смесь газов **2** до 1100°С. 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 угарного газа из смеси **3** удаляют при ее пропускании над металл-оксидными катализаторами на основе CuO (при t = 200-250°С) или Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (при t = 350-550°С). В ходе т. н. реакции водно-газового сдвига (WGSР) угарный газ реагирует с водой и получается дополнительное количество водорода [6], причем в этой реакции плотность газовой смеси не меняется. Однако таким способом не удаётся полностью избавиться от угарного газа, поэтому полученную после реакции [6] газовую смесь **4** дополнительно подвергают превращению на никелевом катализаторе при 325°С. Остатки угарного газа при этом превращаются в метан и воду [7]. Образовавшуюся газовую смесь **5** пропускают через водный раствор-поглотитель (например, NaOH) для полного удаления углекислого газа [8] (в ходе этой реакции получают Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> и вода). 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 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°С и пропускают над катализатором (пористое железо с примесями Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и К<sub>2</sub>О) 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. Вычислите количество нейтронов и электронов (в штуках), содержащееся в 126 г кислоты **A**.
3. 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».

4. Вычислите количество атомов **X**, содержащееся в 1 литре 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.

5. 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? Какую массу 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 кислорода, воды и 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 сильным окислителем, она легко растворяет не только такой активный металл, как цинк [5], но даже медь [6] и серебро [7]. В реакциях [5] - [7] также образуются соли кислоты **A**, оксид  $XO_2$  и вода. Концентрированная кислота **A** может реагировать и с неметаллами (углерод [8], сера [9], фосфор [10]), причем в ходе этих реакций также образуются оксид  $XO_2$  и вода. Эти элементы-неметаллы превращаются в соединения в высших степенях окисления: углекислый газ и кислоты  $H_2SO_4$  и  $H_3PO_4$  соответственно.

6. Напишите уравнения реакций [1-10], 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, где употребляют в основном ее собственное название?