

ОТКРЫТЫЕ СОРЕВНОВАНИЯ ПО ХИМИИ

Старшая группа (11 и 12 класс)

Таллинн, Тарту, Пярну, Курессааре, Нарва и Кохтла-Ярве

5 ноября 2016

1. Более 80% реакций в химической промышленности осуществляются с использованием гетерогенных катализаторов. В кислотном катализе часто используют смешанный оксид **Z**, содержащий три самых распространённых в земной коре элемента. Оксид **Z** получают из оксидов **X** (содержание кислорода по массе $\omega_{\text{O}} = 53,3\%$) и **Y** ($\omega_{\text{O}} = 47,1\%$).

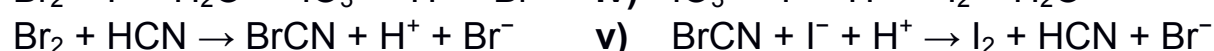
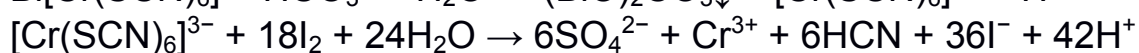
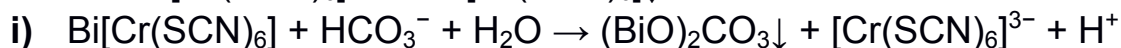
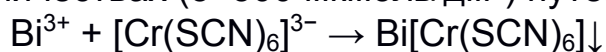
а) Определите с помощью расчётов оксиды **X** и **Y** и напишите их названия.

б) Расположите оксиды **X–Z** в порядке увеличения кислотных свойств.

В активацию C–H связи в алканах участвует металл **A**, образующий соединения **B–D**. Для окисления бутана до малеиновой кислоты используют пиррофосфат **B** ($\omega_{\text{O}} = 46,8\%$, $\omega_{\text{A}} = 33,1\%$), который получают путём дегидратации гидрофосфата **C** ($\omega_{\text{O}} = 49,1\%$, $\omega_{\text{A}} = 31,3\%$). Вещество **C** получают путём восстановительного растворения оксида **D** ($\omega_{\text{O}} = 44,0\%$) с последующим осаждением фосфорной кислотой.

с) Определите с помощью расчётов металл **A** и напишите формулы веществ **A–D**. 8 б

2. Приведённый ниже ряд реакций позволяет определить висмут в малых количествах (3–300 мкмоль/дм³) путём титрования образующегося йода.



а) Расставьте коэффициенты в уравнениях ионных реакций i)–vi).

б) Какое количество Bi (в мкг) было в пробе, если на титрование образовавшегося в последовательности реакций I₂ потребовалось 23,64 см³ раствора Na₂S₂O₃ (0,002016 моль/дм³)? 9 б

3. Если два ядра ^AH⁺ с массовым числом A преодолевают кулоновский барьер $E = \frac{\alpha}{2} \cdot A^{-1/3}$, где $\alpha = 1,13 \cdot 10^{11}$ Дж·моль⁻¹, то между ними начинает действовать сильное притяжение, которое может привести к слиянию ядер. Этот процесс лежит в основе образования более тяжёлых элементов из водорода в звёздах.

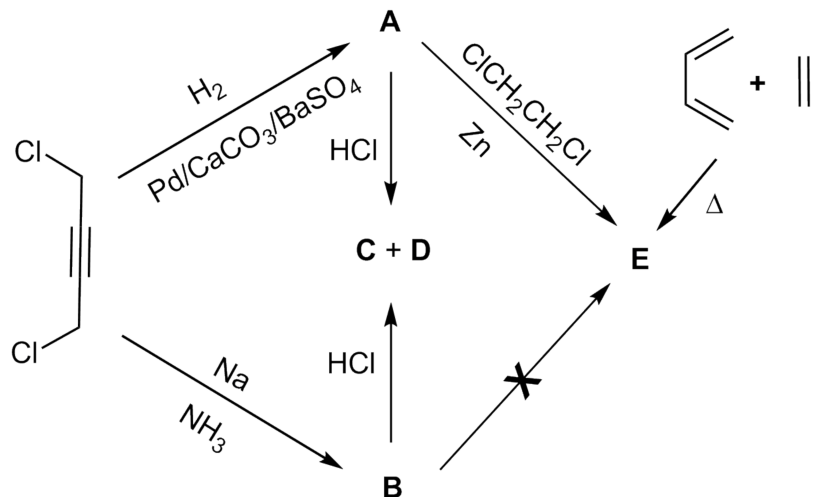
а) Рассчитайте значение кулоновского барьера для слияния ¹H⁺ + ¹H⁺.

Большинство ядер обладает энергией, близкой к средней кинетической энергии ($K = \frac{3}{2} \cdot RT$), которой недостаточно для преодоления кулоновского барьера. Ядра вместе с электронами образуют ионизированный газ (плазму), сжатие которого предотвращает высокое давление фотонного газа (излучения). В первом приближении, давление плазмы в звёздах равняется $p = \frac{N}{V} \cdot RT$, а давление фотонного газа описывается как $p = \frac{1}{3} \cdot \beta T^4$,

где $R = 8,314 \text{ Дж}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$ и $\beta = 7,565\cdot 10^{-16} \text{ Дж}\cdot\text{м}^{-3}\cdot\text{К}^{-4}$. В центре звезды **23 ОСХ** как давление, так и температура плазмы и фотонного газа равны, однако на поверхности $T_{\text{поверхн.}} = 6000 \text{ К}$.

- b) Рассчитайте значения $\rho_{\text{центр}}$ и $T_{\text{центр}}$, принимая $N_V = 2,00\cdot 10^8 \text{ моль}\cdot\text{м}^{-3}$.
- c) Рассчитайте значения K для плазмы i) в центре и ii) на поверхности звезды **23 ОСХ**.
- d) Обоснуйте, выше ли вероятность слияния ${}^1\text{H}^+ + {}^1\text{H}^+$ в центре или на поверхности звезды **23 ОСХ**? 7 6

4. Соединение **E** можно синтезировать из соединения **A** ($\text{C}_4\text{H}_6\text{Cl}_2$), а также из этилена и бута-1,3-диена в реакции Дильса–Альдера. Соединения **A** и **B** – *цис-транс* изомеры. Соединения **C** и **D** – оптические изомеры.



- a) Нарисуйте структурные формулы **A–E** и напишите их номенклатурные названия.
- b) Почему для синтеза **A** используют так называемый «отравленный» катализатор Линдлара ($\text{Pd}/\text{CaCO}_3/\text{BaSO}_4$)?
- c) Почему синтез **E** невозможен из 1,2-дихлорэтана и **B**?
- d) При синтезе соединения **E** из 1,2-дихлорэтана и вещества **A** могут образоваться различные побочные органические продукты. Нарисуйте структурные формулы двух из них. 14 6

5. При гидрировании бутадиена (C_4H_6) образуется бутан (C_4H_{10}).

- a) Нарисуйте структурные формулы всех изомеров C_4H_6 и C_4H_{10} . Чтобы увеличить степень преобразование (конверсию) бутадиена в бутан, водород добавили в избытке. Таким образом, в начале реакции количество H_2 было в шесть раз больше количества C_4H_6 , $n_0(\text{H}_2) = 6n_0(\text{C}_4\text{H}_6)$. Конверсия показывает, какая часть от изначально имеющегося вещества вступила в реакцию. Конверсию X вещества j можно найти по формуле $X(j) = 1 - n(j)/n_0(j)$, где $n_0(j)$ и $n(j)$ – количество молей вещества j в начале и в конце реакции, соответственно.
- b) Какова предельная конверсия водорода в реакции $\text{C}_4\text{H}_6 + 2\text{H}_2 = \text{C}_4\text{H}_{10}$?
- c) Покажите, что $X(\text{H}_2) = X(\text{C}_4\text{H}_6)/3$.
- d) Выразите общее число молей веществ в реакционной смеси ($n_T = n(\text{H}_2) + n(\text{C}_4\text{H}_6) + n(\text{C}_4\text{H}_{10})$) через $n_0(\text{H}_2)$ и $X(\text{H}_2)$.
- e) Рассчитайте число молей водорода, бутадиена и бутана, а также общее количества моль веществ n_T , если изначально имелось 6,4 моль водорода, из которых 24% прореагировало. 14 6

6. ♀ – металл красноватого цвета, который образует соединения всех цветов радуги **A–G**. При нагревании металла ♀ на воздухе при температуре ниже 800°C образуется чёрный оксид; при нагревании выше 800°C – красный оксид **A**. При растворении чёрного оксида в концентрированном растворе HCl образуется жёлтый раствор комплексного аниона **B**; при растворении в разбавленном растворе HCl – зелёный раствор галогенида **C**. При добавлении NaOH к раствору **C** образуется светло-голубой осадок **D**. При добавлении H₂SO₄ к осадку **D** образуется вещество, кристаллогидрат которого **E** (♀ купорос) синего цвета ($M_E = 250$ г/моль). С помощью NH₃·H₂O из вещества **E** можно получить фиолетовый моногидрат комплексной соли **F** ($M_F = 246$ г/моль).

a) Напишите формулы и названия веществ **A–F**.

Редкий минерал оранжевого цвета – калия μ_4 -оксо-гекса- μ_2 -хлоротетра[хлоро♀ат(II)] (**G**) содержит 20,0% калия. Индекс при μ указывает координационное число последующей группы.

b) Определите формулу минерала **G** при помощи расчётов.

8 6