

## ОТКРЫТЫЕ СОРЕВНОВАНИЯ ПО ХИМИИ

Старшая группа (11 и 12 класс)

Таллинн, Тарту, Курессааре, Нарва, Пярну, Кохтла-Ярве 7 ноября 2009

1. При приготовлении теста, производстве вина и варении пива в анаэробном процессе под действием дрожжей из одной молекулы глюкозы образуется две молекулы этанола и две молекулы углекислого газа. В присутствии кислорода этанол может окислиться до уксусной кислоты. Теоретически уксусную кислоту можно получить также из диоксида углерода и водорода.

a) Напишите уравнение реакции анаэробного брожения глюкозы.

b) Используя приведенные ниже значения  $\Delta H^0$ , рассчитайте изменение энтальпии реакции анаэробного брожения.



c) Рассчитайте  $\Delta H^0$  реакций полного сгорания  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  и  $\text{CH}_3\text{COOH}$ . (8)

2. Студента попросили определить содержание  $\text{SO}_3$  в олеуме (раствор  $\text{SO}_3$  в  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Для этого он взвесил 1,50 г олеума, перенес количественно в 100,0 см<sup>3</sup> мерную колбу и разбавил водой до метки (раствор **A**). Для титрования полученного раствора он приготовил 200,0 см<sup>3</sup> 0,51 М (1 М = 1 моль/дм<sup>3</sup>) раствора  $\text{NaOH}$  (раствор **B**). Позже он узнал от лаборанта, что используемый  $\text{NaOH}$  может содержать до 7% воды – этого студент не учитывал при нахождении молярной концентрации  $\text{NaOH}$ . Поэтому перед титрованием ему пришлось определять точную концентрацию  $c_{\text{B}}$  раствора **B**.

a) Используя для титрования раствор  $\text{HCl}$  известной концентрации, получили точное значение молярной концентрации (число молей на один килограмм растворителя) раствора **B** – 0,480 моль/кг ( $\rho = 1,021 \text{ г/см}^3$ ). Рассчитайте процентное содержание воды в  $\text{NaOH}$ , используемом для приготовления раствора **B**.

b) Студент определил, что концентрация протонов в растворе **A** составляет 0,324 моль/дм<sup>3</sup>. Рассчитайте процентное содержание  $\text{SO}_3$  в олеуме.

c) Рассчитайте объем раствора **B**, который потребовался для титрования 100,0 см<sup>3</sup> раствора **A**. (10)

3. Одной из наиболее важных научных тем на сегодняшний день является конструирование аккумуляторов с большой энергетической плотностью. Энергетическая плотность аккумуляторов коммерческих

фирм составляет до 360 Вт·ч/дм<sup>3</sup> и 200 Вт·ч/кг. Использование кислорода воздуха в качестве окислителя помогло бы значительно уменьшить массу аккумулятора.

a) Напишите уравнения реакций, которые суммарно описывают процессы, происходящие в i) литий-воздушном, ii) кремний-воздушном iii) алюминий-воздушном аккумуляторах.

b) Рассчитайте, какой из этих элементов теоретически мог бы дать наибольшую мощность i) на единицу массы (Вт·ч/кг) и ii) на единицу объема (Вт·ч/дм<sup>3</sup>). Массу кислорода не учитывать. Расчеты делать, исходя из 1 моля простого вещества, соответствующего каждому элементу, используя продукты окисления с наиболее характерными степенями окисления. Предположите, что восстановитель может составлять до половины массы аккумулятора. (1 Дж = 1 Вт·с)

$$\Delta_f G(\text{Al}_2\text{O}_3) = -1582 \text{ кДж/моль} \quad \rho_{\text{Al}} = 2,70 \text{ г/см}^3$$

$$\Delta_f G(\text{Li}_2\text{O}) = -561 \text{ кДж/моль} \quad \rho_{\text{Li}} = 0,535 \text{ г/см}^3$$

$$\Delta_f G(\text{SiO}_2) = -856 \text{ кДж/моль} \quad \rho_{\text{Si}} = 2,33 \text{ г/см}^3$$

(Предположите, что изменение энергии Гиббса полностью используется для электрической работы.)

c) Предложите для каждого аккумулятора подходящий растворитель или электролит. Соединения, образующиеся на катоде и аноде (не обязательно оксиды) должны быть растворимыми в предложенном растворителе. Напишите уравнения реакций, происходящих на аноде и катоде, а также суммарные уравнения реакций для процесса разрядки каждого аккумулятора (батарея).

d) Расположите данные элементы по цене (которая приближенно соответствует нахождению в земной коре), начиная с самого дешевого. (11)

4. При полном гидрировании ненасыщенного органического соединения **A** ( $\text{C}_{12}\text{H}_{10}\text{O}_3$ ) на Ni-катализаторе получают насыщенное соединение **B** ( $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_3$ ), а при гидрировании на Pd-катализаторе – ароматический сложный эфир **C** ( $\text{C}_{12}\text{H}_{14}\text{O}_3$ ). При использовании катализатора Линдлара из молекулы **A** образуется только изомер **D1** ( $\text{C}_{12}\text{H}_{12}\text{O}_3$ ) и не образуется изомер **D2**. При гидрировании как вещества **D1**, так и **D2** при помощи  $\text{H}_2/\text{Pd}$  образуется вещество **C**. **D1** и **D2** являются геометрическими изомерами.

При гидролизе веществ **A**, **C**, **D1** и **D2** в кислых условиях образуется кислота **E** ( $\text{C}_8\text{H}_6\text{O}_3$ ), которая не восстанавливается под действием  $\text{H}_2/\text{Pd}$ , но восстанавливается в присутствии  $\text{H}_2/\text{Ni}$  (образуется насыщенное соединение **F**).

Вещество **E** реагирует с боргидридом натрия ( $\text{NaBH}_4$ ), образуя соединение **G** ( $\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_3$ ).  $\text{LiAlH}_4$ , реагируя с веществом **E**, дает соединение **H** ( $\text{C}_8\text{H}_{10}\text{O}_2$ ). Вещество **H** образуется также при реакции **A** с  $\text{LiAlH}_4$ . Спирт **H** является симметричным и содержит три типа

(химически неэквивалентных) атомов водорода. При восстановлении вещества **Е** дибораном ( $B_2H_6$ ) получают соединение **И** ( $C_8H_8O_2$ ).

Напишите структурные формулы веществ **А–И**. (10)

5. Вещества **А–Н** – бинарные соединения, который содержат элемент **Х**. Жидкость **А** разлагается при комнатной температуре на вещество **В** и газообразное простое вещество **И**. Для промышленного получения вещества **С** (процесс Хабера) под большим давлением используются соответствующие газообразные простые вещества. При реакции твердого неметалла с газом **Д** около  $600^\circ C$  образуется газ **Е** и бинарная жидкость ( $\%C = 15,8$ ), при сгорании которой в простом веществе **И** образуются два газа с одинаковыми индексами. При растворении этих газов в воде среда становится кислой. Кислота **Ф** образуется при реакции простых веществ **Ж** и **К** под действием света. Реакция газа **Ф** с оксидом марганца(IV) дает газообразное простое веществ **Ж**, которое тяжелее воздуха, жидкость **В** и бинарную простую соль ( $\%Mn = 43,7$ ). Для получения газообразного вещества **Г** используют реакцию (около  $300^\circ C$ ) инертного неметалла **Л** с соединением **Ф**, в результате чего образуется вещество **М** ( $\%X = 0,7$ ) и газообразное простое вещество **К**. При диспропорционировании вещества **М** образуется соединение **Г** и бинарное молекулярное вещество **Н**, оба из которых содержат элемент **Л**. При реакции веществ **Н** и **В** образуются соединения **Ф** и **О**. Инертный оксид **О** при комнатной температуре реагирует только с кислотой **Н**, продуктами чего являются соединение **В** и бинарная простая соль.

а) Определите элемент **Х** и напишите формулы соединений **А–О**.

б) Напишите уравнения описанных реакций и расставьте коэффициенты. (14)

6. На следующий день после того, как Медведя выбрали главой леса, пропал Заяц. Медведь решил провести расследование. При первичном осмотре на шерсти Волка в районе груди обнаружили подозрительные коричневые пятна, однако для вынесения официального обвинения нужны были доказательства. Медведь подумал и решил приготовить люминол – вещество, используемое криминалистами для определения следов крови. Для этого он взял 1,2-диметилбензол и поставил его реагировать со смесью  $HNO_3/H_2SO_4$ , получив вещество **А**. Вещество **А** Медведь обработал при помощи  $KMnO_4$ , получив вещество **В** ( $211,1$  г/моль). К веществу **В** он добавил немного гидразингидрата и подогрел, получив вещество **С** (бициклическое соединение;  $207,1$  г/моль). Вещество **С** Медведь восстановил смесью  $SnCl_2/HCl$ , получив люминол ( $177,2$  г/моль). Смешав раствор полученного люминола с раствором  $H_2O_2$ , Медведь прыснул смесь на грудь Волка, которая после этого стала светиться синим цветом.

а) Напишите структурные формулы веществ **А** и **В** и их номенклатурные названия.

б) Напишите структурные формулы всех органических веществ, участвующих в синтезе люминола.

с) Свечение люминола возникает в том случае, если он окисляется  $H_2O_2$ . Катализатором реакции являются ионы  $Fe^{2+}$ . Смог ли проведенный Медведем тест доказать, что Волк съел Зайца? (7)