



Межрегиональная олимпиада школьников  
"Будущие исследователи – будущее науки" 2021/22  
Химия. Очный отборочный тур - 90 минут.

**Вариант 1.**

**11 класс**

**Задача 11-1**

Титриметрия – это классический метод анализа, широко используемый в химии. В этом методе к известному объему анализируемого раствора небольшими порциями приливают раствор реагента известной концентрации, то есть титруют. Процесс титрования заканчивают в тот момент, когда количество прилитого реагента становится эквивалентным количеству определяемого вещества. Этот момент фиксируют с помощью специально подобранного индикатора.

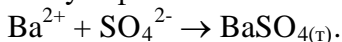
2.78 г соли железа, используемой в медицине, полностью растворили в небольшом объеме раствора серной кислоты и добавили дистиллированной воды до 250 мл. На титрование 10 мл полученного раствора потребовалось 16 мл раствора перманганата калия с концентрацией 0.005 моль/л.

Установите химическую формулу соли железа, если известно, что при добавлении хлорида бария к раствору этой соли в воде образуется белый кристаллический осадок, не растворимый в кислотах. Ответ поясните и подтвердите расчетами.

Запишите уравнение химической реакции, протекающей при титровании, учитывая, что титрование проводят в сильноокислой среде и момент окончания титрования фиксируют по появлению бледно розового окрашивания.

**Решение**

Поскольку водный раствор соли железа реагирует с хлоридом бария с образованием белого кристаллического осадка, нерастворимого в кислотах, то эта соль содержит сульфат-ионы:



В пользу этой версии говорит использование сульфата железа в качестве лекарственного средства для лечения и профилактики железодефицитной анемии.

Так как раствор сульфата железа в серной кислоте титруется перманганатом калия, то это свидетельствует о том, что растворенное вещество содержит железо (II) и его химическую формулу можно в общем виде записать  $\text{FeSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ .

При титровании протекает следующая реакция:



На титрование потребовалось 0.005 моль/л · 0.016 л = 0.00008 моль  $\text{KMnO}_4$ . Из уравнения реакции видно, что с этим количеством прореагировало  $0.00008 \cdot 5 = 0.0004$  моль сульфата железа (II).

Такое количество сульфата железа (II) содержится в 10 мл раствора, а в 250 мл раствора содержится  $0.0004 \text{ моль} \cdot 25 = 0.01$  моль.

Масса этого сульфата составляет  $0.01 \text{ моль} \cdot 152 \text{ г/моль} = 1.52 \text{ г}$ . Остальная масса приходится на воду, то есть  $2.78 - 1.52 = 1.26 \text{ г}$ .

Следовательно,  $1.26 / 18 = 0.07$  моль  $\text{H}_2\text{O}$  приходится на 0.01 моль  $\text{FeSO}_4$  и кристаллогидрат имеет формулу  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .

**Разбалловка**

За расчеты и объяснения

10 б

За уравнение реакции соли железа с перманганатом калия

5 б

**Задача 11-2**

Массовая доля  $\text{SO}_3$  (свободного и в составе серной кислоты) в олеуме составляет 90%.

Рассчитайте массовую долю (в %) свободного оксида серы (VI) в этом олеуме.

Вычислите объем 20% раствора гидроксида калия с плотностью 1.173 г/мл, необходимого на нейтрализацию 200 г олеума.

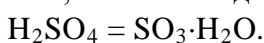
Напишите уравнения протекающих реакций.

**Решение**

Допустим, что масса олеума равна 100 г, тогда

$$m(\text{SO}_3)_{\text{общая}} = 100 \text{ г} \cdot 0.9 = 90 \text{ г}; m(\text{H}_2\text{O}) = 100 - 90 = 10 \text{ г}.$$

$n(\text{H}_2\text{O}) = 10/18 = 0.5556$  моль;  $n(\text{SO}_3)_{\text{общее}} = 90/80 = 1.1250$  моль. Свободной  $\text{H}_2\text{O}$  в олеуме нет, она вся входит в состав серной кислоты

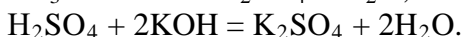
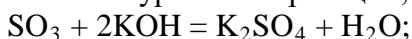


$$n(\text{SO}_3)_{\text{общее}} = n(\text{SO}_3)_{\text{свободного}} + n(\text{SO}_3)_{\text{в серной кислоте}};$$

$$1.1250 = n(\text{SO}_3)_{\text{свободного}} + 0.5556;$$

$$n(\text{SO}_3)_{\text{свободного}} = 0.5694 \text{ моль или } 0.5694 \cdot 80 = 45.55 \text{ г или } 45.55\%.$$

Запишем уравнения реакций, протекающих при нейтрализации олеума:



На взаимодействие с  $\text{SO}_3$ , содержащемся в 200 г олеума, потребуется  $2 \cdot 2 \cdot 0.5694 = 2.2776$  моль щелочи, на нейтрализацию  $\text{H}_2\text{SO}_4$  –  $2 \cdot 2 \cdot 0.5556 = 2.2224$  моль щелочи. Всего необходимо 4.5 моль щелочи или 252 г KOH или  $252/0.2 = 1260$  г раствора. Объем этого раствора равен  $1260/1.173 = 1074$  мл.

**Разбалловка**

За расчет массовой доли оксида серы

10 б

За уравнения реакций

5 б

За расчет объема раствора

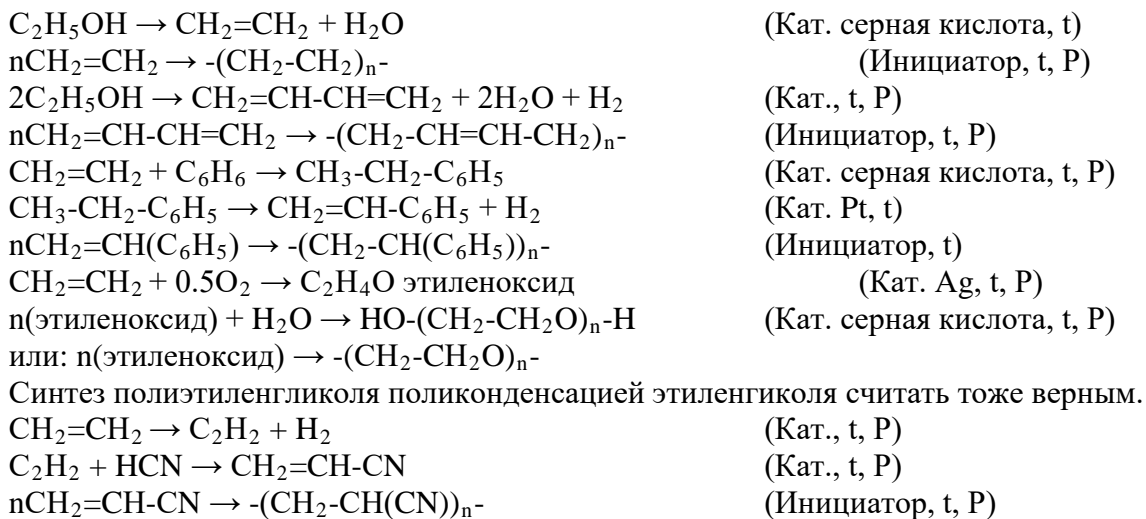
10 б

**Итого 25 баллов**

### Задача 11-3

На основе этанола получают важные полимеры, такие как полиэтилен, полибутадиен, полистирол, полиэтиленгликоль, полиакрилонитрил (полимер нитрила пропеновой кислоты). Напишите уравнения и условия реакций получения упомянутых продуктов.

### Решение



### Разбалловка

За уравнение получения акрилонитрила

3 б

За остальные 11 уравнений по 2 б

22 б

**Итого 25 баллов**

### Задача 11-4

В результате длительного нагревания 1 моль гексанола-1 и 0.01 моль концентрированной серной кислоты в 300 мл инертного растворителя диоксана-1,4 ( $\rho = 1.033$  г/мл) при температуре кипения последнего  $100^\circ\text{C}$  в колбе с обратным холодильником установилось равновесие. Массовая доля алкена составила 1.02%. Запишите уравнение реакции, которая является эндотермической. Назовите продукт. Вычислите степень превращения спирта в алкен. Как она изменится: а) при снижении температуры смеси до  $80^\circ\text{C}$ ; б) при добавлении к равновесной реакционной смеси еще 0.001 моль концентрированной серной кислоты; в) при добавлении 20 г концентрированной серной кислоты; г) при добавлении 200 мл диоксана-1,4; д) при добавлении 10 мл 1-молярного водного раствора едкого натра; е) при добавлении 10 мл 1-молярного водного раствора карбоната натрия.

### Решение



Определим массу смеси:  $m = 102 + 0.98 + 309.9 = 412.88$  г.

Определим количество алкена:  $n = 412.88 \cdot 0.0102 / 84 = 0.05$ . Степень превращения спирта (выход реакции дегидратации)  $\eta = 5\%$ .

а). При снижении температуры смеси в эндотермической реакции  $\eta$  снизится в соответствии с принципом Ле Шателье.

б). При увеличении концентрации катализатора возрастут скорости прямой и обратной реакции, но  $\eta$  не изменится.

в). Большое количество концентрированной  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (20 г) сыграет роль водоотнимающего средства, эффективная конц.  $[\text{H}_2\text{O}]$  снизится, и  $\eta$  повысится.

г). При добавлении растворителя снизятся концентрации спирта, алкена и воды. Обратная реакция 2 порядка  $V_2 = k_2[\text{C}_6\text{H}_{12}] \cdot [\text{H}_2\text{O}]$  замедлится в большей мере, чем прямая реакция первого порядка  $V_1 = k_1[\text{C}_6\text{H}_{13}\text{OH}]$ . В результате  $\eta$  повысится.

д). Добавление 10 мл 1М NaOH означает введение 0.01 моль NaOH и около 10 мл воды. Введение 0.01 моль NaOH и 10 мл воды нейтрализует только половину серной кислоты,  $\eta$  не должен измениться с этой точки зрения. Но введение воды сместит равновесие влево, и  $\eta$  снизится.

е). Добавление 10 мл 1М  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  означает введение 0.01 моль  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и около 10 мл воды. 0.01 моль  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  сразу приведет к полной нейтрализации имеющейся 0.01 моль серной кислоты. В отсутствие катализатора прямая и обратная реакции затормозятся,  $\eta$  не должен измениться с этой точки зрения. Но введение воды сместит равновесие влево, и  $\eta$  снизится.

### Разбалловка

За уравнение	3 б
За определение степени превращения спирта	4 б
За ответы на вопросы а-е по 3б	18 б

**Итого 25 баллов**



Межрегиональная олимпиада школьников  
"Будущие исследователи – будущее науки" 2021/22  
Химия. Очный отборочный тур - 90 минут.

Вариант 2.  
11 класс

Задача 11-1

Образец смеси, содержащей хлорид калия и хлорид натрия, массой 25 г растворили в воде и к водному раствору добавили 840 мл 0.5 моль/л раствора нитрата серебра. Осадок отфильтровали, а в раствор поместили медную пластинку массой 100.000 г. Через некоторое время масса пластинки составила 101.525 г и больше не изменялась.

Напишите уравнения протекающих реакций.

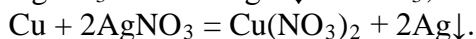
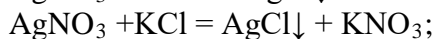
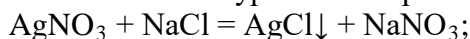
Рассчитайте состав исходной смеси (в % по массе).

Рассчитайте массу металла, выделившегося на пластинке.

При расчетах примите молярную массу меди равной 63.5 г/моль.

Решение

Запишем уравнения протекающих реакций:



К смеси хлоридов натрия и калия добавили 0.84 л·0.5 моль/л = 0.42 моль  $\text{AgNO}_3$ . Масса пластинки увеличилась на 101.525 – 100.000 = 1.525 г. Обозначим количество растворившейся меди через  $n(\text{Cu})$ , а количество выделившегося серебра через  $n(\text{Ag})$ . Из уравнения реакции видно, что  $n(\text{Ag})=2\cdot n(\text{Cu})$ . Масса растворившейся меди равна  $63.5\cdot n(\text{Cu})$ , а масса выделившегося серебра  $108\cdot n(\text{Ag})=108\cdot 2\cdot n(\text{Cu})=216\cdot n(\text{Cu})$ . В соответствии с этим масса пластинки увеличилась на  $(216-63.5)\cdot n(\text{Cu})= 152.5\cdot n(\text{Cu})$ , то есть  $152.5\cdot n(\text{Cu})=1.525$ ,  $n(\text{Cu})=0.01$  моль,  $n(\text{Ag})=2\cdot n(\text{Cu})=0.02$  моль.

Таким образом, на пластинке выделилось 0.02 моль Ag и 0.02 моль  $\text{AgNO}_3$  прореагировало с Cu, а с хлоридами прореагировало 0.42-0.02=0.4 моль  $\text{AgNO}_3$ .

$$n(\text{KCl})+n(\text{NaCl})=0.4$$

$$74.5\cdot n(\text{KCl})+58.5\cdot n(\text{NaCl})=25$$

Решением системы уравнений находим:

$$n(\text{KCl})=0.1 \text{ моль}; n(\text{NaCl})=0.3 \text{ моль}.$$

$$m(\text{KCl}) = 74.5\cdot 0.1 = 7.45 \text{ г}; m(\text{NaCl}) = 58.5\cdot 0.3 = 17.55 \text{ г}.$$

$$\omega(\text{KCl}) = 7.45 / 25 = 0.298 \text{ или } 29.8\%;$$

$$\omega(\text{NaCl}) = 17.55 / 25 = 0.702 \text{ или } 70.2\%.$$

Масса выделившегося на пластинке серебра равна  $0.02\cdot 108=2.16$  г.

Разбалловка

За написание уравнений реакций $\text{AgNO}_3$ с хлоридами	2 б
За написание уравнения реакции $\text{AgNO}_3$ с Cu	3 б
За вычисления	5 б
За нахождения массовых долей хлоридов	10 б
За нахождение массы металла	5 б

**Итого 25 баллов**

### Задача 11-2

Маргарин является ценным заменителем сливочного масла и представляет собой твердый жир. В состав его молекул входят остатки кислот, в которых карбоксильная группа соединена с углеводородным радикалом из семнадцати атомов углерода. Производство маргарина основано на реакции превращения жидких жиров (масел) в твердые путем гидрогенизации.

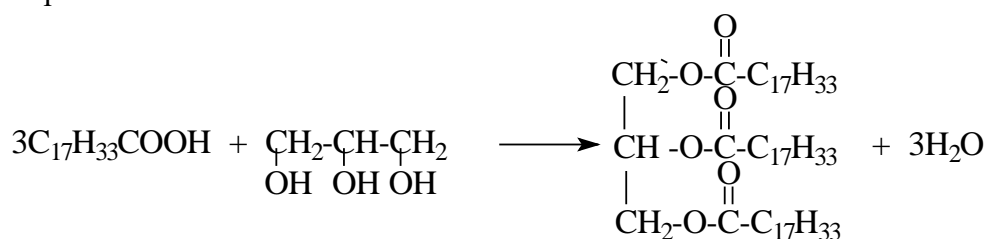
Напишите уравнения реакций получения маргарина (глицерида стеариновой кислоты) из олеиновой кислоты. Укажите условия их протекания и назовите продукты.

Вычислите массу олеиновой кислоты, необходимую для получения 1 т маргарина, если известно, что выход продукта составляет 80% от теоретического.

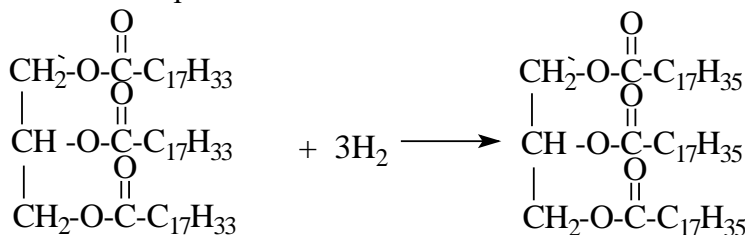
### Решение

Глицерид стеариновой кислоты получают из олеиновой кислоты в две стадии:

1. Реакция взаимодействия олеиновой кислоты с глицерином протекает в присутствии серной кислоты:



2. Реакция гидрогенизации протекает при нагревании в присутствии никелевого катализатора:



глицерид

олеиновой

кислоты

глицерид

стеариновой

кислоты

В соответствии с уравнениями реакций для получения 1 т или  $1 \cdot 10^6 \text{ г}/890 \text{ г/моль} = 1123.6$  моль маргарина (глицерида стеариновой кислоты) требуется  $3 \cdot 1123.6 \text{ моль} = 3370.8$  моль олеиновой кислоты (при условии 100%-ного выхода). Так как реакция протекает с выходом 80%, то в действительности потребуется  $3370.8 \text{ моль} / 0.8 = 4213.5$  моль олеиновой кислоты, которая весит  $4213.5 \text{ моль} \cdot 282 \text{ г/моль} = 1188.2 \text{ кг}$ .

### Разбалловка

За уравнения реакций по 4 б	8 б
За указание условий протекания реакций по 1 б	2 б
За название продукта реакции	1 б
За вычисление массы олеиновой кислоты	14 б

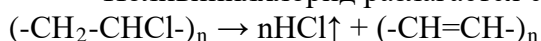
**Итого 25 баллов**

### Задача 11-3

В закрытом помещении площадью 200 кв. м и высотой 2.5 м случилась неполадка электрооборудования. Защитная автоматика не сработала, что вызвало разогрев участка кабеля с поливинилхлоридной изоляцией (ПВХ) до 200°C. При этом 20 г структурных звеньев полимера подверглось разложению с выделением токсичного газообразного вещества с едким запахом, плотность по воздуху которого равна 1.259. Составьте уравнение разложения ПВХ. Определите концентрацию выделяющегося газообразного вещества в воздухе помещения и сделайте заключение об опасности для людей, если известна величина его предельно допустимой концентрации (ПДК) в атмосфере 0.2 мг/м<sup>3</sup>. Вычислите минимальный объем 10%-ного раствора карбоната натрия (плотность 1.10 г/мл), обеспечивающий полную очистку воздуха от упомянутого газа.

### Решение

Поливинилхлорид разлагается с выделением HCl и полиена:



Найдем количество разложившихся структурных звеньев ПВХ:

$$M(\text{звена } \text{CH}_2-\text{CHCl}) = 62.5 \text{ г/моль. } n(\text{звеньев ПВХ}) = 20/62.5 = 0.32 \text{ моль.}$$

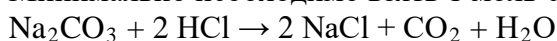
$$m(\text{HCl}) = 36.5 \cdot 0.32 = 11.68 \text{ г} = 11680 \text{ мг.}$$

$$\text{Объем помещения } V = 200 \cdot 2.5 = 500 \text{ м}^3.$$

$$C(\text{HCl}) = 11680/500 = \mathbf{23.36 \text{ мг/м}^3}, \text{ это более, чем в 100 раз превышает ПДК.}$$

Очень опасно для людей.

Минимально необходимо взять 1 моль соды на 2 моля HCl:



$$n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0.5 n(\text{HCl}) = 0.16 \text{ моль. } m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 106 \cdot 0.16 = 16.96 \text{ г.}$$

$$m(10\text{-ного р-ра } \text{Na}_2\text{CO}_3) = 169.6 \text{ г. } V(\text{р-ра } \text{Na}_2\text{CO}_3) = 169.6/1.1 = \mathbf{154.2 \text{ мл.}}$$

### Разбалловка

За уравнение распада ПВХ	4 б
За уравнение нейтрализации HCl	3 б
За расчет n(звеньев ПВХ), m(HCl), V помещения, C(HCl), вывода о токсичности по 2 б	10 б
За n(Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ), m(Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ), m р-ра Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , V р-ра Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> по 2б	8 б

**Итого 25 баллов**

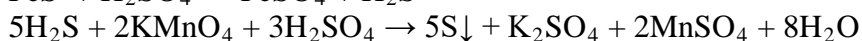
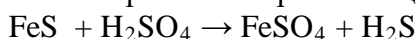
### Задача 11-4

Сульфид некоторого металла обладает черной окраской, массовая доля серы в нем 36.364%, а мольная доля металла 50%. Навеску этого сульфида 1.00 г растворили в 50 г 20%-ного раствора серной кислоты в замкнутом сосуде. К полученному прозрачному раствору, не открывая сосуд, при 20°C прибавляли 0.1-молярный раствор перманганата калия, в результате чего раствор помутнел, окраска перманганата исчезла. Какой минимальный объем раствора перманганата калия (мл) был израсходован при этом? Как и почему может измениться результат (не изменится, увеличится, уменьшится), если растворение соли проводить в открытом сосуде? Составьте уравнения реакций всех упомянутых процессов.

### Решение

Формула сульфида металла  $MetS$ , так как мольная доля металла 50%.  
Найдем  $M(MetS) = 32/0.36364 = 88$ . Молярная масса металла  $M(Met) = 88-32=56$ . Это железо. Формула сульфида  $FeS$ .

Уравнения протекающих реакций:

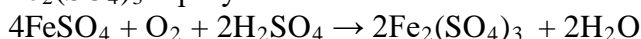


Определим количества взятых солей:

$$n(FeS) = 1/88 = 0.0114 \text{ моль. } n(H_2S) = n(FeSO_4) = n(FeS) = 0.0114 \text{ моль.}$$

$$n(KMnO_4) = 0.4 n(H_2S) + 0.2 n(FeSO_4) = 0.00684 \text{ моль. } V(\text{р-ра } KMnO_4) = 0.00684/0.1 = 0.0684 \text{ л (68.4 мл).}$$

При растворении  $FeS$  в открытом сосуде часть сероводорода может улететь в виде газа, и результат снизится. Кроме этого часть  $FeSO_4$  может окислиться кислородом воздуха до  $Fe_2(SO_4)_3$  и результат также снизится.



### Разбалловка

За вывод формулы $FeS$		4 б
За 3 уравнения реакций	по 3б	9 б
За расчет $n(FeS)$		3 б
За расчет $V(\text{р-ра } KMnO_4)$		3 б
За указание на снижение результата и 2 причин этого	по 2б	6 б

**Итого 25 баллов**