



**Химия для школьников 7 – 11 класса (заключительный этап)  
Вариант II. Решения**

**Решение задачи 1. Легированные пленки (8 баллов)**

1. Степени окисления ванадия и титана – по +4, поэтому на 2 моля O(-2) суммарно приходится 1 моль Ti + V, поэтому  $y = 1 - x$ .
2. Возьмем 1 моль твердого раствора. Уравнение для массовой доли ванадия:

$$\frac{50,94x}{50,94x + 47,90(1-x) + 32} = 0,5548$$

откуда  $x = 0,9$ .

*(2 балла за уравнение для массовой доли с учетом п. 1, 4 балла – правильный ответ. Бессмысленные ответы, полученные из-за ошибки в п. 1, не оцениваются).*

**Решение задачи 2. Нановолокна из солей кальция (8 баллов)**

1. Степень полимеризации:  $n = 143000 / 44 = 3250$ .

2.  $n(\text{Ca}) = 0,035$  моль,

$$n(\text{CaCO}_3) = n((\text{NH}_4)_2\text{CO}_3) = 0,04 \cdot 0,5 = 0,02 \text{ моль,}$$

$$n(\text{CaHPO}_4) = 0,035 - 0,02 \text{ моль} = 0,015 \text{ моль,}$$

$$n(\text{CaHPO}_4) : n(\text{CaCO}_3) = 0,015 : 0,02 = 3 : 4.$$

*(Каждое действие по 1 баллу)*

3.  $n((\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4) = n(\text{CaHPO}_4) = 0,015$  моль,

$$X = 0,015 / 0,3 \cdot 1000 = 50 \text{ (мл)}$$

*(за X = 0,05 – 1 балл).*

**Решение задачи 3. Реакция Сабатье (8 баллов)**

1.  $\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 = \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ .
2.  $\text{НСООН}$  ( $\text{C}^{+2}$ ),  $\text{СО}$  ( $\text{C}^{+2}$ ),  $\text{Н}_2\text{СО}$  ( $\text{C}^0$ ),  $\text{СН}_3\text{ОН}$  ( $\text{C}^{-2}$ ).

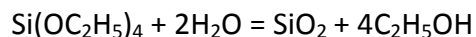
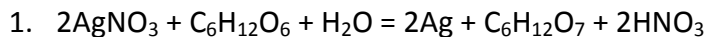
*(2 балла – за 3 или 4 молекулы с правильными с.о., 1 балл – за одну или две молекулы с правильными с.о.)*

3. Пусть  $n(\text{CH}_4) = x$  моль,  $n(\text{H}_2\text{CO}) = 1 - x$  (моль), тогда

$$16x + 30(1-x) = 17$$

$x = 0.93 = 93\%$  - это и есть селективность по метану.

#### Решение задачи 4. Композитные аэрогели (8 баллов)



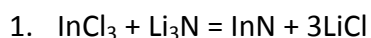
(по 2 балла за уравнение)

2.  $n(\text{Ag}) = 15 \cdot 0,05 = 0,75$  ммоль,

$$n(\text{Si}) = n(\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4) = 8 \cdot 0,94 / 208 \cdot 1000 = 36 \text{ ммоль}$$

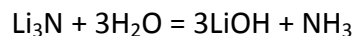
$$n(\text{Si}) : n(\text{Ag}) = 36 / 0,75 = 48.$$

#### Решение задачи 5. Кубические нанокристаллы (8 баллов)



Состав полупроводниковых нанокристаллов – InN.

2. В качестве растворителя использовали неполярный толуол, чтобы не происходил гидролиз реагентов. В воде нитрид лития разлагается:



3. С одной стороны, суммарный объём нанокристаллов  $V$  равен

$$V = \frac{m}{\rho}$$

С другой стороны, объём одного кубического нанокристалла  $V_1$  с длиной ребра  $a$  равен

$$V_1 = a^3$$

Поэтому суммарный объём  $N$  нанокристаллов равен

$$V = NV_1$$

Следовательно, число нанокристаллов равно

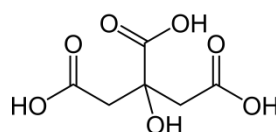
$$N = \frac{V}{V_1}$$

$$N = \frac{m}{\rho a^3}$$

$$N = \frac{2 \cdot 10^{-6} \text{ г}}{6,9 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} \cdot (12 \cdot 10^{-7} \text{ см})^3} = 1,68 \cdot 10^{11}$$

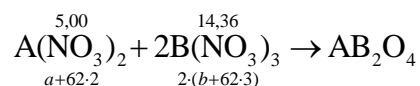
### Решение задачи 6. Благородная шпинель (20 баллов)

1. Структурная формула лимонной кислоты:



Лимонная кислота координирует катионы металлов **A** и **B**, образуя устойчивые комплексные соединения. При уменьшении количества воды они, а также продукты их окисления концентрированной азотной кислотой образуют гель, при высушивании которого остаётся пористый сухой продукт. Таким образом, лимонная кислота позволяет синтезировать однородный пористый продукт.

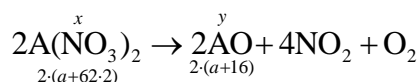
2. Конечным продуктом синтеза из нитратов металлов **A** и **B** является соединение состава **AB<sub>2</sub>O<sub>4</sub>**. Пусть  $M(\mathbf{A}) = a$  г/моль, а  $M(\mathbf{B}) = b$  г/моль. Тогда



$$5 \cdot 2 \cdot (b + 62 \cdot 3) = 14,36 \cdot (a + 62 \cdot 2)$$

$$b = 1,436a - 7,936$$

С другой стороны,



$$x \cdot 2 \cdot (a + 16) = y \cdot 2 \cdot (a + 62 \cdot 2)$$

$$\frac{x}{y} = \frac{a + 62 \cdot 2}{a + 16} = 3,68$$

$$3,68 \cdot (a + 16) = a + 62 \cdot 2$$

$$a = 24,3$$

Следовательно, металл **A** – это магний Mg.

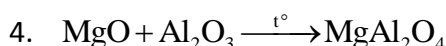
Так как молярная масса металла **B** равна

$$b = 1,436 \cdot 24,3 - 7,936 = 26,96,$$

то металл **B** – это алюминий Al.

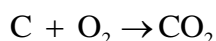
Благородная шпинель –  $MgAl_2O_4$ .

Уравнение реакции термического разложения нитрата магния:



5. Серая окраска геля обусловлена наличием сажи, которая образуется при обугливание лимонной кислоты концентрированной азотной кислотой.

6. В процессе отжига, проходящего на воздухе, сажа выгорает, поэтому порошок обесцвечивается.



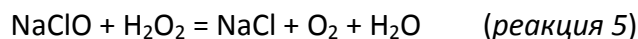
7. Количество благородной шпинели  $MgAl_2O_4$  равно количеству нитрата магния, поэтому

$$\frac{5,00}{148,3} = \frac{z}{142,26}$$

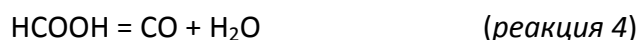
$$z = \frac{5,00 \cdot 142,26}{148,3} = 4,8 \text{ г}$$

### Решение задачи 7. Фотоэлектрохимическое разложение воды (20 баллов)

1. Из описания опытов, приведенных в условии задачи, можно предположить, что газ Z – это кислород  $O_2$ .



Газ M – угарный газ CO. Его получают действием на муравьиную кислоту концентрированной серной кислоты



Из условий задачи можно предположить, что Y – это простое вещество, а жидкость N представляет собой карбонил металла. Запишем его формулу в виде  $Y(CO)_n$ .

$$(M(Y) + 28n) / M(Y) = 3,51$$

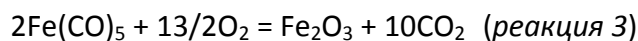
$$M(Y) = 11,16n,$$

при  $n = 5$ ,  $M(Y) = 55,8$  г/моль,  $Y - Fe$ ,  $N - Fe(CO)_5$ .

При нагревании карбонил разлагается, образуется чистое железо



При разложении в атмосфере кислорода образуется оксид железа(III)  $Fe_2O_3$  – вещество X.

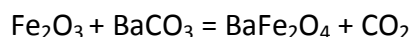
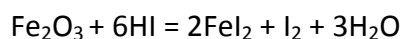
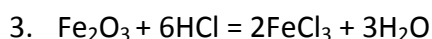


$$2M(Fe(CO)_5) / M(Fe_2O_3) = 2 \cdot 196 / 160 = 2,45$$

Образование X из Y:



2. Нанопроволоки быстрее образуются на тех участках поверхности Y, которые были процарапаны напильником, так как именно в этих местах поверхность железа не покрыта оксидной пленкой, препятствующей реакции



4. Газ Z (кислород), полученный при взаимодействии гипохлорита натрия с пероксидом водорода, пропускают через раствор гидроксида натрия для очистки от хлора.



### **Решение задачи 8. Взаимодействие белка с наночастицами (20 баллов)**

1. Возьмем общую массу 70 кг, вычтем 65% воды, от оставшейся величины возьмем 75% и получим общую массу белков в организме:

$$m_{\text{общ}}(\text{белков}) = 70 \cdot 0,35 \cdot 0,75 = 18 \text{ кг} \quad (\text{принимается любая оценка от 15 до 25 кг})$$

Масса крови – около 5 кг, масса белков в крови:

$$m(\text{белков в крови}) = 5 \cdot 0,02 \cdot 0,9 = 0,09 \text{ кг} = 90 \text{ г} \quad (\text{принимается любая разумная оценка}).$$

(по 1 баллу за каждый правильный ответ)

2. В среднем, на один аминокислотный остаток приходится  $115 \pm 5$  а.е.м, поэтому число аминокислотных остатков в альбумине – около  $65000 / 115 \approx 570$ .

$$V(\text{молекулы}) = \frac{m}{\rho} = \frac{6 \cdot 10^{23}}{1} = 1.1 \cdot 10^{-19} \text{ см}^3 = 110 \text{ нм}^3$$

$$r(\text{молекулы}) = \sqrt[3]{\frac{3V}{4\pi}} = \sqrt[3]{\frac{330}{4\pi}} = 3 \text{ нм}$$

*(по 2 балла за каждый правильный ответ)*

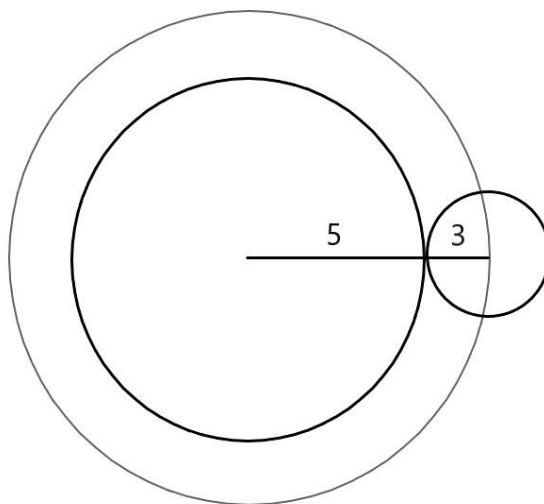
3. При  $\text{pH} = 7$  среда – более щелочная, чем в изоэлектрической точке, поэтому альбумин будет заряжен отрицательно и легче будет притягиваться к положительным частицам.

*(Ответ без объяснения – 1 балл).*

4. Радиус молекулы альбумина – 3 нм, а диаметр – 6 нм. Толщина «короны» – 6 нм, что соответствует одному слою.

*(1 балл за ответ «2 слоя», 0 баллов за ответ без обоснования)*

5. Для оценки максимального числа маленьких шаров на поверхности большого шара поделим площадь сферы, проходящей через середины маленьких шаров, находящихся на поверхности, на площадь сечения молекулы альбумина по экватору. Радиус сферы равен сумме радиусов наночастицы и альбумина:  $r = 5 + 3 = 8$  нм.

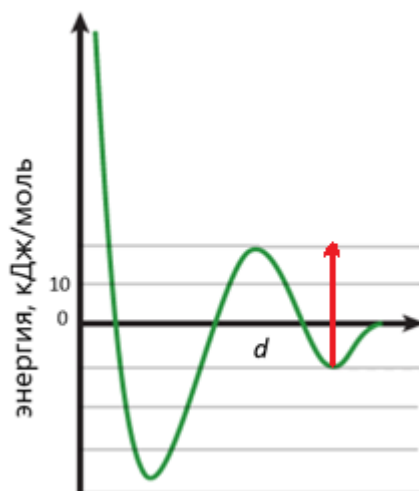


$$N(\text{альб.}) = 4\pi \cdot 8^2 / (\pi \cdot 3^2) \approx 28 \text{ молекул.}$$

Принимается любая другая разумная оценка, например, через объем поверхностного слоя, деленный на объем молекулы. Эта оценка хуже поверхностной, потому что надо учитывать, что шары не полностью заполняют пространство.

*(0 баллов за ответ без обоснования)*

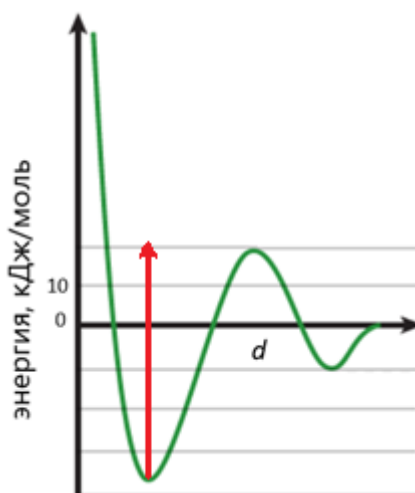
6. Адсорбция осуществляется из небольшого потенциального минимума:



Энергия активации адсорбции  $E(\text{адс}) = 20 - (-10) = 30$  кДж/моль

(принимается также значение 20 кДж/моль, рассчитанное от нулевой энергии, соответствующей невзаимодействующим веществам).

Десорбция происходит из глубокого потенциального минимума:



Энергия активации десорбции  $E(\text{дес}) = 20 - (-36) = 56$  кДж/моль

Теплота адсорбции:  $Q = E(\text{дес}) - E(\text{адс}) = 56 - 30 = 26$  кДж/моль (принимается также значение 36 кДж/моль).

(по 2 балла за каждый правильный ответ)