

10 класс

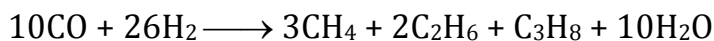
РЕШЕНИЯ И КРИТЕРИИ

(максимум 142 балла)

1. Получение алканов из синтез-газа по методу Фишера-Тропша протекает на кобальтовом катализаторе по общей схеме  $\text{CO} + \text{H}_2 \longrightarrow \text{C}_n\text{H}_{2n+2} + \text{H}_2\text{O}$ . В реактор ввели оксид углерода (II) и водород при 180 °С в объёмном соотношении 1 : 2. Объём и температуру реактора поддерживали постоянными, степень превращения угарного газа составила 10 %. В результате реакции была получена смесь первых трёх представителей ряда алканов в молярном соотношении 3:2:1. Вычислите, во сколько раз изменилось общее давление в системе. Оцените суммарный тепловой эффект реакции, если энергия связи С-С составляет 88 ккал/моль, Н-Н 104 ккал/моль, С-Н – 100 ккал/моль (принять энергии всех связей С-Н равными), С-О 256 ккал/моль, О-Н 111 ккал/моль.

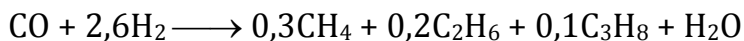
РЕШЕНИЕ

Уравнение реакции с учётом соотношения продуктов в смеси можно записать следующим образом:



(2 балла за верное указание продуктов, 2 балла за правильную расстановку коэффициентов – всего до 4 баллов за уравнение)

Все реагенты и продукты реакции находятся в газовой фазе, соответственно, изменение давления будет пропорционально изменению количества вещества в системе (1 балл)



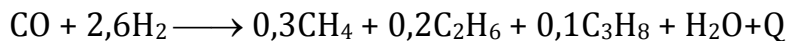
Рассчитаем, во сколько раз изменится количество вещества с учётом неполного превращения угарного газа. Положим, что изначально в системе было  $x$  моль СО, тогда, исходя из начального соотношения,  $\text{H}_2$  было  $2x$  моль. В реакцию вступило  $0,1x$  моль СО и  $0,1 \cdot (26/10)x = 0,26x$  моль  $\text{H}_2$ . Соответственно, осталось  $x - 0,1x = 0,9x$  моль СО и  $2x - 0,26x = 1,74x$  моль  $\text{H}_2$ . Количество продуктов:  $0,3 \cdot 0,1x = 0,03x$  моль  $\text{CH}_4$ ,  $0,2 \cdot 0,1x = 0,02x$  моль  $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $0,1 \cdot 0,1x = 0,01x$  моль  $\text{C}_3\text{H}_8$ ,  $1 \cdot 0,1x = 0,1x$  моль  $\text{H}_2\text{O}$ .

(1 балл за каждый логический шаг, всего до 5 баллов).

Начальное количество вещества в системе  $1x+2x=3x$  моль, конечное  $0,9x+1,74x+0,03x+0,02x+0,01x+0,1x=2,8x$  моль (2 балла)

Соотношение между количеством вещества, а, следовательно, и между давлением в системе  $3x/2,8x=1,071$  (давление уменьшается в 1,071 раз) (1 балл).

Оценим тепловой эффект реакции (на один моль CO):



$$Q = E(\text{C-O}) + 2,6E(\text{H-H}) - 0,3 \cdot 4E(\text{C-H}) - 0,2 \cdot (6E(\text{C-H}) + E(\text{C-C})) - 0,1 \cdot (8E(\text{C-H}) + 2E(\text{C-C})) - 2 \cdot E(\text{O-H}) = E(\text{C-O}) + 2,6E(\text{H-H}) - 3,2E(\text{C-H}) - 0,4E(\text{C-C}) - 2E(\text{O-H}) = 256 + 2,6 \cdot 104 - 3,2 \cdot 100 - 0,4 \cdot 88 - 2 \cdot 111 = -50,8 \text{ ккал/моль}$$

(3 балла, из них 2 балла за составление формулы и 1 балл за верную подстановку и расчёт)

всего – до 16 баллов за задачу

2. Теплота образования  $\text{Э}_2\text{O}$  из простых веществ при стандартных условиях составляет 22 кДж/моль. Рассчитайте энергию связи O–Э в этой молекуле, если энергии связей в молекулах  $\text{O}_2$  и  $\text{Э}_2$  составляют соответственно 498 и 159 кДж/моль. Напишите соответствующие термохимические уравнения. Предположите, какой элемент скрывается за символом Э, если известно, что при смешении паров вещества  $\text{Э}_2\text{O}$  и водой происходит взрыв, при этом выделяется эквимольное веществу количество  $\text{O}_2$ . Напишите соответствующее уравнение химической реакции. Какова степень окисления кислорода в этом соединении.

## РЕШЕНИЕ

По определению стандартной теплоты образования вещества запишем термохимическое уравнение:  $\text{Э}_2 + 0,5\text{O}_2 = \text{Э}_2\text{O} + 22 \text{ кДж}$  2 балла

Энергия связи — энергия (теплота), которая выделяется при образовании 1 моль вещества из атомов. В многоатомной молекуле энергия связи может быть определена формально как частное от деления теплоты реакции образования 1 моль молекул из атомов на число связей. В соответствии с определением энергии связей составим термохимические уравнения образования молекул  $\text{O}_2$ ,  $\text{Э}_2$  и  $\text{Э}_2\text{O}$  из атомов:

$$2\text{O} = \text{O}_2 + 498 \text{ кДж}; 1 \text{ балл}$$

$$2\text{Э} = \text{Э}_2 + 159 \text{ кДж}; 1 \text{ балл}$$

$$\text{Э} + 0,5\text{O} = 0,5\text{Э}_2\text{O} + Q. 1 \text{ балл}$$

Буквой Q обозначили энергию связи O–Э.

Для нахождения Q воспользуемся следствием из закона Гесса:

$22 - 2Q = -159 - 0,5 \cdot 498$ , откуда  $Q = 0,25 \cdot 498 + 0,5 \cdot 159 + 0,5 \cdot 22 = 215$  (кДж/моль).  
2 балла

Предположим, какой элемент зашифрован как Э. Вещество  $Э_2O$  является окислителем в реакции с водой (об этом говорит выделение кислорода). Подобными свойствами обладают лишь немногие соединения элементов с кислородом. В частности, это фтор.  $Э = F$ , а вещество  $Э_2O$  – фторид кислорода  $OF_2$ . 2 балла за ответ с обоснованием.

$OF_2 + H_2O = 2HF + O_2$  (2 балла, 1 из них за уравнивание)

Степень окисления кислорода в  $OF_2$  равна +2 (1 балл)

Всего до 12 баллов за задачу

3. Массовая доля углерода в трёх углеводородах составляет 85,7 %. Установите молекулярные формулы этих углеводородов, если плотность их по самому лёгкому из них составляет 1; 1,5; 2. Приведите структурные формулы изомеров этих углеводородов и назовите их.

#### РЕШЕНИЕ

Углеводороды – соединения с общей формулой  $C_nH_m$ . (1 балл)

Определим  $n$  и  $m$  в рассматриваемых в задаче углеводородах:

$12n / (12n + m) = 0,857$ , откуда  $m = 2n$  (2 балла)

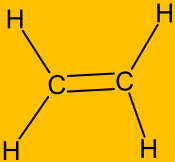
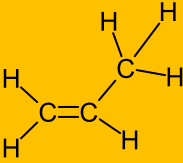
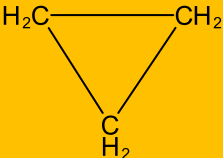
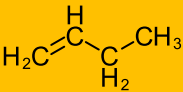
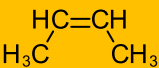
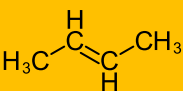
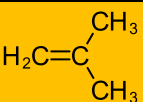
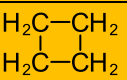
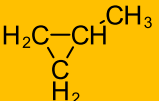
Следовательно, общая формула рассматриваемых углеводородов –  $C_nH_{2n}$ . Это алкены или циклические углеводороды без кратных связей (1 балл)

Молярные массы этих углеводородов соотносятся как их относительные плотности 2:3:4 и пропорциональны числу атомов углерода в молекуле. (1 балл)

С учётом того, что понятие «плотность вещества по» применяется только для газообразных веществ, вещества с формулой  $C_8H_{16}$  уже не могут быть в решении задачи, так как являются жидкими. Три рассматриваемыми веществами являются вещества  $C_2H_4$ ,  $C_3H_6$ ,  $C_4H_8$  (1 балл)

Изобразим изомеры и назовём их

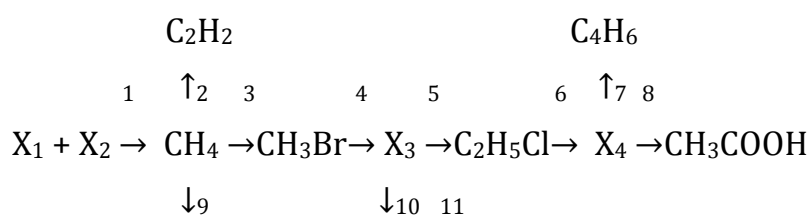
Брутто-формула	Название (по 1 баллу за каждую клеточку)	Структурная формула (по 1 баллу за каждую клеточку)

$C_2H_4$	этен (этилен)	
$C_3H_6$	пропен (пропилен)	
	циклопропан	
$C_4H_8$	бутен-1	
	цис-бутен-2	
	транс-бутен-2	
	метилпропен (изобутилен)	
	циклобутан	
	метилциклопропан	

За правильное указание количества изомеров без правильного их изображения по «утешительному» 1 баллу для каждой брутто-формулы  
За отсутствие упоминания цис-транс изомерии бутена-2 балл ставится как за один скелетный изомер (максимум 2 балла из 4 возможных)  
до 18 баллов за содержимое таблицы.

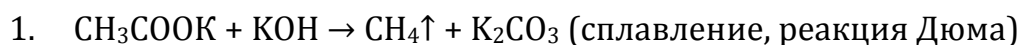
Всего до 24 баллов за задачу

4. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить следующие превращения:

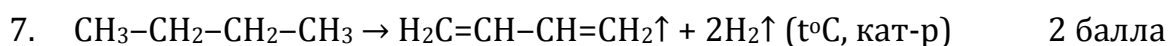
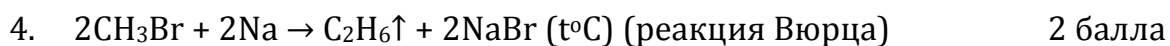
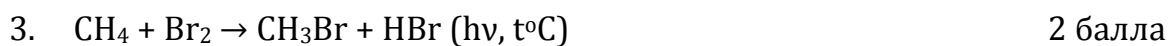
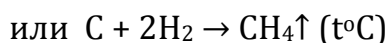
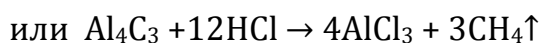
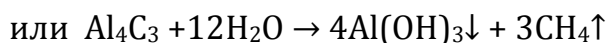




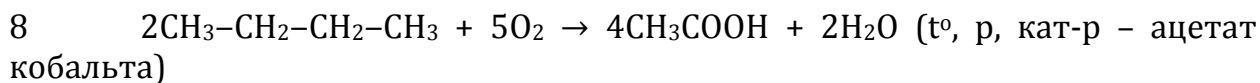
## РЕШЕНИЕ



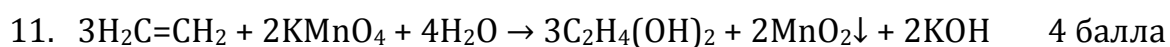
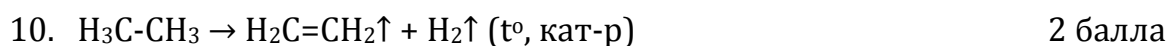
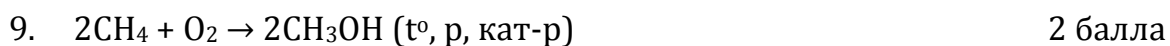
2 балла



бутадиен-1,3



(реакция Эмануэля) 4 балла



(реакция Вагнера) этиленгликоль, этандиол-1,2

За неправильную расстановку коэффициентов или условий реакции – штраф 50%

Итого – до 26 баллов за задачу

4. Две безводные соли  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  и  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  смешали в молярном соотношении 1: 2 и нагревали в течение длительного времени примерно при  $500^\circ\text{C}$  на воздухе. В результате реакции конденсации масса образца уменьшилась на 8,92%. Твёрдый продукт реакции представляет собой белое кристаллическое соединение X, хорошо растворимое в воде. Соединение X используется, среди прочего, в стиральных порошках в качестве смягчителя воды. Образец X с массой 0,938 г растворили в воде. Полученный раствор, который является сильно щелочным, подкислили соляной кислотой и оставили на несколько часов. Затем для количественного определения фосфатов (V) в раствор добавили избыточное количество раствора хлорида аммония и магния. Осаждённую соль формулы  $\text{MgNH}_4\text{PO}_4$  (ортофосфат магния и аммония) отфильтровали, промыли и прокалили при  $1100^\circ\text{C}$  до достижения постоянной массы 0,851 г. Продуктом этой конденсации была соль Y, содержащая только один тип катиона. Напишите уравнение для реакции получения X, рассчитайте состав X, предположите его структурную формулу. Объясните причину щелочной среды в растворе X и напишите в ионной форме соответствующее уравнение реакции. Напишите уравнение для реакции конденсации, приводящей к образованию Y (подтвердите расчётом её состав).

#### РЕШЕНИЕ

В реакциях конденсации более мелкие молекулы или ионы объединяются в более крупные и сопровождаются образованием побочного продукта, например, воды. В неорганической химии примером такой реакции является конденсация гидрофосфатов, в ходе которой вода отщепляется и образуется полифосфат. Состав фосфатной смеси известен по условию задачи  $n(\text{NaH}_2\text{PO}_4):n(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 1: 2$ . Молярная масса этой смеси равна (в расчёте на «формульную» единицу  $(\text{NaH}_2\text{PO}_4)(\text{Na}_2\text{HPO}_4)_2$ ) составляет 404 г/моль (2 балла)

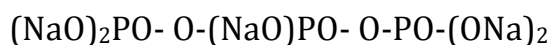
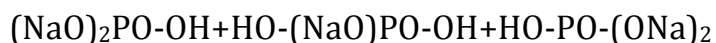
Потеря массы составляет (в расчёте на эту «формульную» единицу)  $404\text{г/моль} \cdot 0,0892 = 36\text{ г/моль}$  (2 балла), что соответствует 2 молекулам воды (1 балл)

Запишем уравнение (2 балла)



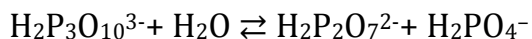
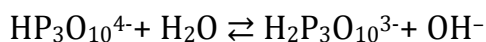
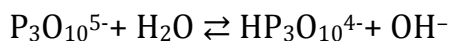
Последнее вещество (соль) и названа X.

Изобразим возможную структуру X:



(2 балла)

$\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$  в воде подвергается гидролизу как соль слабой кислоты, а затем и до мономерного гидрофосфата. (1 балл+3 балла за уравнения)

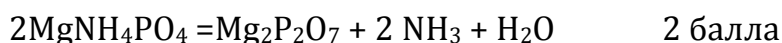


$\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{PO}_4^-$  и другие (для оценки на 3 балла достаточно написать два правильных уравнения с гидроксид-ионами в правой части и с мономерными фосфатами)

Подкисление в дальнейшем смещает равновесие в сторону образования ортофосфорной кислоты, при добавлении к которой избытка солей магния и аммония выпадет совместный фосфат  $\text{MgNH}_4\text{PO}_4$  (1 балл).

Если соль Y содержит только один тип аниона, то при её нагревании должен выделяться аммиак, а в результате реакции конденсации - вода.

Реакция может протекать по уравнению:



$\text{Y} = \text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$  – 1 балл

Подтвердим расчётом состав Y. Все атомы фосфора, имеющиеся в Y могли появиться только из X. (2 балла)

Рассчитаем количество X ( $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ ) в образце. Оно составляет  $0,938 \text{ г} / 368 \text{ г} / \text{моль} = 2,55 \text{ ммоль}$  (2 балла, из них 1 за расчёт молярной массы)

что соответствует  $3 \times 2,55 = 7,65 \text{ ммоль}$  атомов фосфора (1 балл)

Это, в свою очередь, соответствует  $7,65 / 2 = 3,825 \text{ ммоль Y (Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7)$ . (1 балл)

Молярная масса этой соли составляет  $222,6 \text{ г/моль}$ , что означает, что в результате конденсации образовалось  $0,851 \text{ г Y}$ . Это соответствует данному в задаче значению массы, что и требовалось доказать. (1 балл)

Всего до 7 баллов за подтверждающий расчёт

Итого – до 24 баллов за задачу

6. Десять пронумерованных пробирок содержат  $0,5 \text{ М}$  водные растворы следующих химических соединений: хлорид бария, хлорид натрия, нитрат магния, нитрат свинца (II), сульфат алюминия, сульфат натрия, сульфат магния, фосфат натрия, карбонат натрия, гидроксид натрия. В каждой пробирке примерно по  $20 \text{ мл}$  раствора, каждая пробирка содержит разные растворы. Также дана промывалка с дистиллированной водой и набор из десяти чистых пробирок (пробирке можно использовать мыть и использовать неоднократно). Проведите *в мысленном эксперименте* качественный анализ – обоснованно определите, в какой пробирке какой раствор содержится, и напишите уравнения протекающих химических реакций в молекулярной и ионной форме.

## РЕШЕНИЕ

Необходимо начать решение задачи с составления теоретической таблицы, содержащей возможные результаты попарного сливания растворов в пробирке.

	BaCl <sub>2</sub>	NaCl	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	MgSO <sub>4</sub>	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	NaOH
BaCl <sub>2</sub>		-	-	осадок	осадок	осадок	осадок	осадок	осадок	-
NaCl			-	осадок	-	-	-	-	-	-
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>				-	-	-	-	осадок	осадок	осадок
Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	осадок	осадок			осадок	осадок	осадок	осадок	осадок	осадок
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	осадок			осадок		-	-	осадок	осадок	осадок
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	осадок			осадок						
MgSO <sub>4</sub>	осадок			осадок				осадок	осадок	осадок
Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	осадок		осадок	осадок	осадок		осадок			
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	осадок		осадок	осадок	осадок		осадок			
NaOH			осадок	осадок	осадок		осадок			

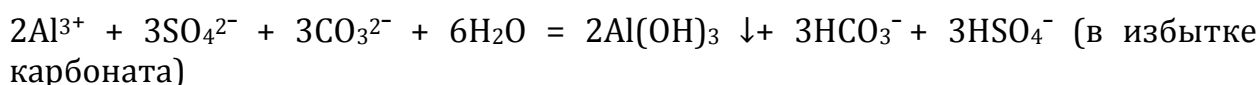
Из таблицы видно, что

- 1) хлорид натрия дает 1 осадок
- 2) нитрат свинца дает 8 осадков
- 3) нитрат магния дает 3 осадка
- 4) сульфат натрия образует 2 осадка
- 5) хлорид бария дает 6 осадков
- 6) гидроксид натрия дает 4 осадка
- 7) остальные соединения дают по 5 осадков

Как различить растворы, образующие 5 осадков? Для сульфата магния и Это позволяет сделать реакция с избытком гидроксида натрия. Осадок гидроксида алюминия растворяется в избытке гидроксида натрия, чего не происходит с гидроксидом магния. Фосфат и карбонат натрия не дают осадок с гидроксидом натрия.

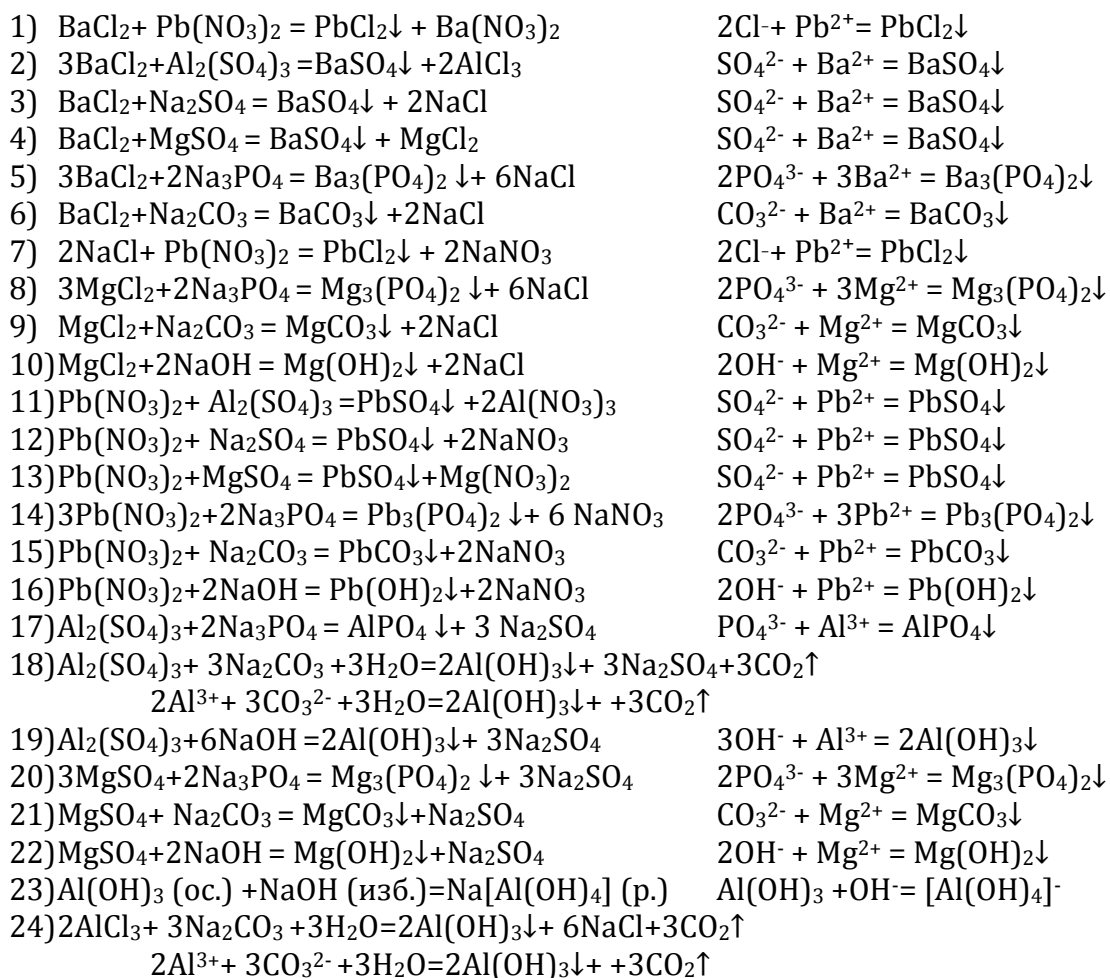
Фосфат и карбонат натрия различить труднее. Это можно сделать, сначала получив раствор хлорида алюминия в реакции сульфата алюминия с хлоридом бария. Тогда только при приливании раствора хлорида алюминия к карбонату натрия будет наблюдаться и выпадение осадка, и выделение газа.

Попытка аналогичного различения с помощью приливания раствора сульфата алюминия неправильна так как выделение углекислого газа может не наблюдаться из-за образования ионов HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>.



Уравнения реакций:





Разбалловка:

- 1) Составление таблицы (систематизация наблюдений) – 6 баллов.
- 2) Описание «открытия» каждого раствора – по 1 б – всего 10 баллов.
- 3) Уравнения реакции – по 1 б каждое (0,5 б за молекулярную форму, 0,5 б – за ионную, если коэффициенты расставлены неправильно – 0,25 б) – всего 24 балла.

Итого за задачу 40 баллов