

**Материалы заданий олимпиады 2022–2023 учебного года**  
**Многопредметная олимпиада Пермского государственного национального**  
**исследовательского университета «Юные таланты» Предмет (комплекс предметов):**  
**Химия**

2.2. Критерии оценивания заданий Теоретического тура

2.2.3. Задания 11 класса

**Задача №11-1**

1. Определение металла X:

Предположим, что X – железо Fe.

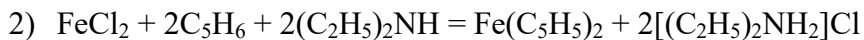
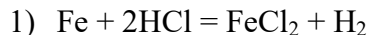
Сделаем проверку:

$$\frac{1 \text{ г}}{55,847 \frac{\text{г}}{\text{моль}}} = 0,0179 \text{ моль}$$

$$V = \frac{0,0179 \times 8,314 \times 293 \times 10^6}{101325} = 430 \text{ мл}$$

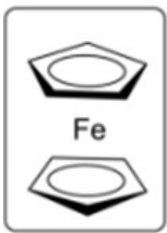
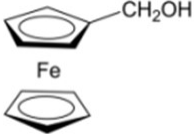
Полученный объем водорода согласуется с условием.


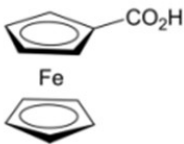
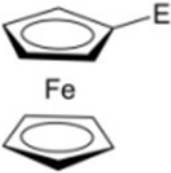
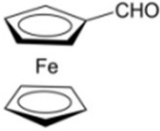
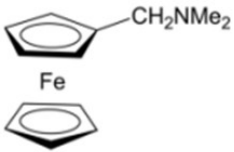
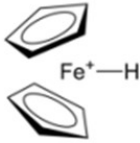
2. Уравнения реакций:



A – ферроцен.

1. Структурные формулы веществ:

<b>A</b>		<b>F</b>	
----------	---	----------	---

<b>B</b>		<b>G</b>	
<b>C</b>		<b>H</b>	
<b>D</b>		<b>I</b>	

**Источник:** Astruc, D. (2017), Why is Ferrocene so Exceptional?. Eur. J. Inorg. Chem., 2017: 6-29. <https://doi.org/10.1002/ejic.201600983>

#### Разбалловка

Вещество X	0,56.
Уравнения реакций 1 и 2	2*0,56. = 16.
Название А	0,56.
Структурные формулы веществ А-І	8*16.= 86.
<b>ИТОГО</b>	106.

#### Задача №11-2

1. Судя по описанию, в задаче описаны химические свойства серебра Ag, так как именно для него свойственно на воздухе покрываться черной пленкой сульфида Ag<sub>2</sub>S. Проверим это:

$$\omega(\text{Ag}) = 107,87 \times 2 / (107,87 \times 2 + 32) = 0,8708 = 87,08\% \text{ - соответствует условию.}$$

При действии на черный Ag<sub>2</sub>S азотной кислоты он превращается в белый сульфат Ag<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, а при реакции со смесью соляной кислоты и пероксида водорода – в белый хлорид AgCl. Растворение хлорида серебра в растворе тиосульфата натрия может приводить к веществам состава Na<sub>x</sub>[Ag(S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)<sub>y</sub>]. Рассчитаем молярные массы, исходя из известных массовых долей:

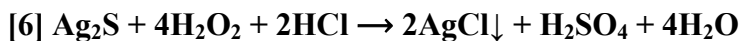
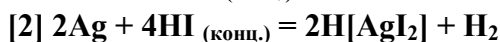
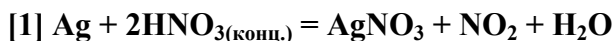
$$M(\Gamma) = 107,87 / 0,2691 = 400,9 \text{ г/моль} - \text{Na}_3[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]$$

$$M(\text{Д}) = 107,87 / 0,193 = 558,9 \text{ г/моль} - \text{Na}_5[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_3]$$

Таким образом,

X	A	Б	В	Г	Д
Ag	Ag <sub>2</sub> S	Ag <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	AgCl	Na <sub>3</sub> [Ag(S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ]	Na <sub>5</sub> [Ag(S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ]

2. Уравнения реакций:



3. В кубической гранецентрированной ячейке атомы соприкасаются на диагонали грани (обозначим  $d_{\text{гр}}$ ), то есть  $d_{\text{гр}} = 4r$ . Диагональ грани по теореме Пифагора  $d_{\text{гр}}^2 = a^2 + a^2 = 2a^2$ , откуда

$$d_{\text{гр}} = a \cdot \sqrt{2} = 4r, \quad r_{\text{ат}} = a \cdot \sqrt{2} / 4 = 408,6 \cdot \sqrt{2} / 4 = 144,5 \text{ пм}$$

Плотность можно найти по формуле:

$$\rho(\text{X}) = \frac{M_{\text{X}} \cdot N_{\text{X}}}{a^3 \cdot N_{\text{A}}}, \text{ где } N - \text{число атомов в одной элементарной ячейке (для гранецентрированной ячейки } N = 4), \text{ то}$$

ванной ячейки  $N = 4$ ), то

$$\rho(\text{Ag}) = 107,87 \times 4 / ((4,086 \cdot 10^{-8})^3 \times 6,02 \cdot 10^{23}) = 10,5 \text{ г/см}^3.$$

4. Диссоциация сульфида серебра может быть представлена схемой



исходя из которой  $IP(\text{Ag}_2\text{S}) = [\text{Ag}^+]^2 \cdot [\text{S}^{2-}]$

Из уравнения электролитической диссоциации следует  $[\text{Ag}^+] = 2[\text{S}^{2-}]$ ,

тогда  $IP(\text{Ag}_2\text{S}) = (2[\text{S}^{2-}])^2 \cdot [\text{S}^{2-}] = 4[\text{S}^{2-}]^3$ .

Также, из уравнения диссоциации видно, что  $C_{\text{M}}(\text{Ag}_2\text{S}) = [\text{S}^{2-}]$ , то

$C_{\text{M}}(\text{Ag}_2\text{S}) =$

Тогда,  $C(\text{S}^{2-}) = [\text{S}^{2-}] = 2,62 \cdot 10^{-17} \text{ моль/л,}$

$$C(\text{Ag}^+) = [\text{Ag}^+] = 2 \times 2,62 \cdot 10^{-17} = 5,24 \cdot 10^{-17} \text{ моль/л,}$$

1 мкг ( $10^{-6}$  г) ионов серебра будет содержаться в объеме раствора:

$$V(\text{р-ра}) = m / (C \times M) = 10^{-6} / (5,24 \cdot 10^{-17} \times 107,87) = 1,77 \cdot 10^8 \text{ л}$$

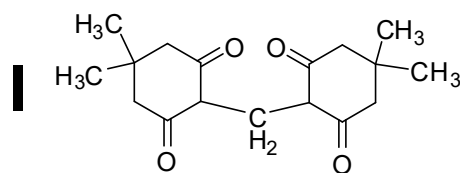
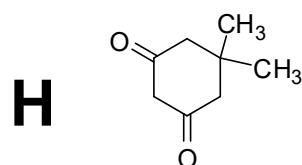
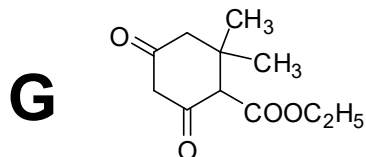
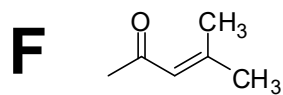
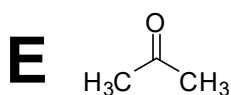
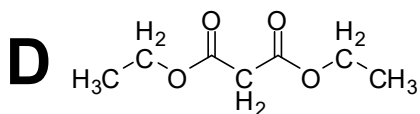
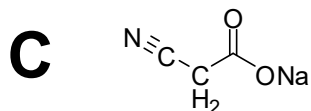
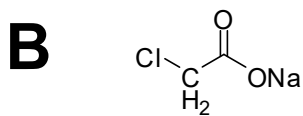
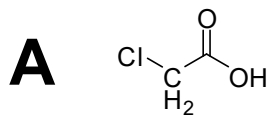
#### Разбалловка

№	Элемент ответа	Баллы
1.	Формулы X и веществ А–Д	<b>6×0,5 = 3 б</b>
2	Уравнения реакций 1–7	<b>7×0,5 = 3,5 б</b>
3.	Радиус и плотность X	<b>2×1 = 2 б</b>
4	Молярные концентрации ионов	<b>2×0,5 = 1 б</b>
	Объем насыщенного водного раствора	<b>0,5 б</b>
	<b>Итого</b>	<b>10 баллов</b>

#### Задача № 11-3

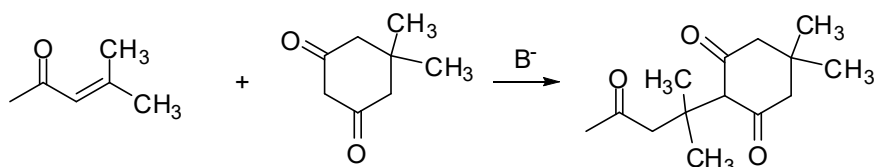
1. Вещество А – монохлоруксусная кислота, вещество Е – ацетон, т.к. фенол нельзя получить пиролизом ацетатов щелочноземельных металлов.

В таком случае вещества **A–H** имеют следующие формулы:

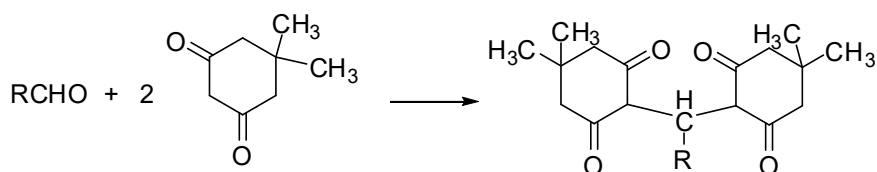


2. Второе соединение, получаемое кумольным способом – фенол

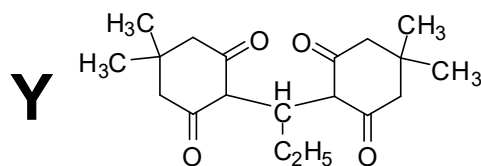
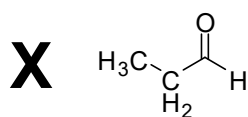
3. Реакция Михаэля между веществами **H** и **F**:



4. Исходя из структуры **I**, взаимодействие **X** и **Y** будет протекать по схеме:



Молярную массу неизвестного альдегида можно выразить как  $(R+29)$  г/моль, а молярную массу продукта реакции –  $(R+291)$  г/моль. Тогда получим уравнение:  $0,58/(R+29) = 3,2/(R+291)$ , откуда  $R = 29$  г/моль, что соответствует группе  $C_2H_5$ . Следовательно, формулы неизвестных веществ:



### Разбалловка

1	Структурные формулы А-Е, Структурные формулы Ни I	$5 \times 0,5 \text{ б} = 2,5 \text{ б}$ $4 \times 1 \text{ б} = 4 \text{ б}$
2	Структурная формула фенола	0,5 б
3	Структурная формула продукта	1 б
4	Структурные формулы X и Y (без расчета баллы снижаются вдвое)	$2 \times 1 \text{ б} = 2 \text{ б}$
	ИТОГО	10 б

### Задача №11-4

1. Рассчитаем молярную массу газа В:

$$M(B) = 1,96 \times 22,4 = 44 \text{ г/моль.}$$

Такую молярную массу имеют  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{C}_3\text{H}_8$ . Последние два газа не могут выделяться при разложении природных минералов в качестве единственного газообразного продукта, поэтому В – углекислый газ.

Если предположить, что при разложении на 1 моль А выделяется 1 моль В, то

$$M(A) = 44/0,44 = 100 \text{ г/моль} - \text{это карбонат кальция.}$$

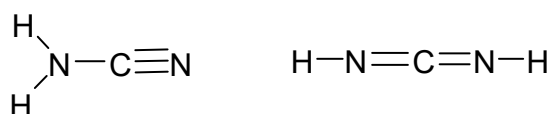
Твердый продукт при разложении карбоната кальция – это оксид кальция. При нагревании оксида кальция с углем образуется карбид  $\text{CaC}_2$ , который при гидролизе дает ацетилен  $\text{C}_2\text{H}_2$  - легковоспламеняющийся газ G. При длительном нагревании  $\text{CaC}_2$  в атмосфере азота при  $1000\text{--}1100^\circ\text{C}$  он превращается в цианамид кальция  $\text{CaCN}_2$ . При гидролизе цианамида кальция сначала образуется свободный цианамид  $\text{NH}_2\text{CN}$  (M), который далее гидролизуется в мочевины или карбамид  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$  (L). Впервые в лаборатории мочевины была получена при изомеризации цианата (изоцианата) аммония  $\text{NH}_4\text{OCN}$ . При действии на мочевины метиламином образуется N-метилмочевина (Q), которая при обработке нитритом натрия в кислой среде превращается в N-нитрозометилмочевину (R). При разложении в щелочной среде N-нитрозометилмочевину выделяет диазометан  $\text{CH}_2\text{N}_2$  (S)

Формулы веществ:

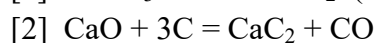
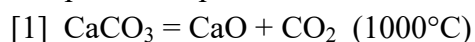
A	B	D	E	G	L	M
$\text{CaCO}_3$	$\text{CO}_2$	$\text{CaO}$	$\text{CaC}_2$	$\text{C}_2\text{H}_2$	$\text{CaCN}_2$	$\text{NH}_2\text{CN}$

N	O	P	Q	R	S
$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$	$\text{NH}_4\text{OCN}$ $(\text{NH}_4\text{NCO})$	$\text{NH}_3$	$\text{H}_3\text{C}-\text{NH}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{NH}_2$	$\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{NO}}{\underset{\text{O}}{\parallel}}{\text{N}}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{NH}_2$	$\text{CH}_2\text{N}_2$

Структурные формулы изомеров M:



2. Уравнения реакций:



- [3]  $\text{CaC}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{C}_2\text{H}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2$   
 [4]  $\text{CaC}_2 + \text{N}_2 = \text{CaCN}_2 + \text{C}$   
 [5]  $\text{CaCN}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{NH}_2\text{CN} + \text{Ca}(\text{OH})_2$   
 [6]  $\text{NH}_2\text{CN} + \text{H}_2\text{O} = (\text{NH}_2)_2\text{CO}$   
 [7]  $\text{NH}_4\text{OCN} = (\text{NH}_2)_2\text{CO}$   
 [8]  $(\text{NH}_2)_2\text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + 2\text{NH}_3$

3. Ученый, осуществивший синтез мочевины из цианата (изоцианата) аммония – Велер.

4. Анализ кристаллической решетки  $\text{CaC}_2$ :

Рассмотрим кристаллическую решетку типа NaCl с параметром  $a$  (см. рисунок справа). Пусть, зеленые шарики – это ионы кальция. Кратчайшее расстояние между катионами кальция обозначим за  $L$ . Из рисунка видно, что  $L = \sqrt{2} \times a/2$ .

Определим параметр  $a$ :

$$a = \sqrt[3]{\frac{M \cdot Z}{\rho \cdot N_A}}, \text{ где } M \text{ – молярная масса } \text{CaC}_2 \text{ (64 г/моль), } Z \text{ – количество формульных единиц в ячейке (в нашем случае } Z = 4)$$

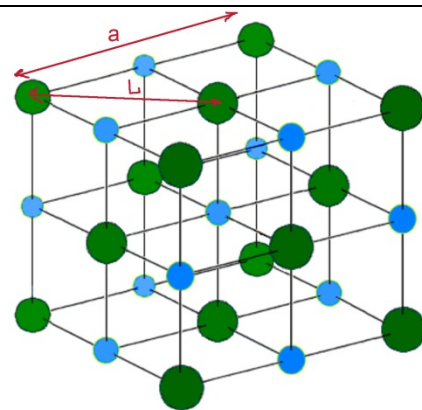
Определим параметр  $a$ :

$$a = \sqrt[3]{\frac{64 \cdot 4}{2,22 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}} = 5,76 \cdot 10^{-8} \text{ см} = 5,76 \cdot 10^{-10} \text{ м} = 5,76 \text{ \AA} = 576 \text{ пм}$$

пм

Расстояние между катионами кальция:

$$L = \sqrt{2} \times 576/2 = 407 \text{ пм} = 4,07 \text{ \AA} = 4,07 \cdot 10^{-8} \text{ см} = 4,07 \cdot 10^{-10} \text{ м}$$

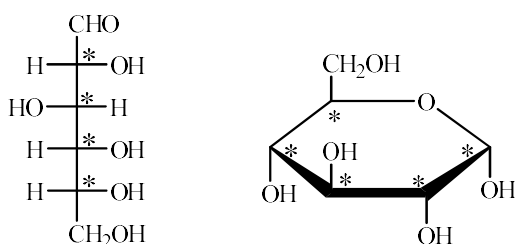


### Разбалловка

№	Элемент ответа	Баллы
1.	Формулы веществ <b>A–P</b> Формулы веществ <b>Q, R, S</b> Структурные формулы <b>M</b>	$10 \times 0,25 = 2,5 \text{ б}$ $3 \times 0,5 = 1,5 \text{ б}$ $2 \times 0,25 = 0,5 \text{ б}$
2	Уравнения реакций 1–8	$8 \times 0,5 = 4 \text{ б}$
3.	Фамилия ученого	<b>0,5 б</b>
4	Расстояние между двумя катионами в <b>E</b>	<b>1 б</b>
	<b>Итого</b>	<b>10 баллов</b>

### Задача №11-5

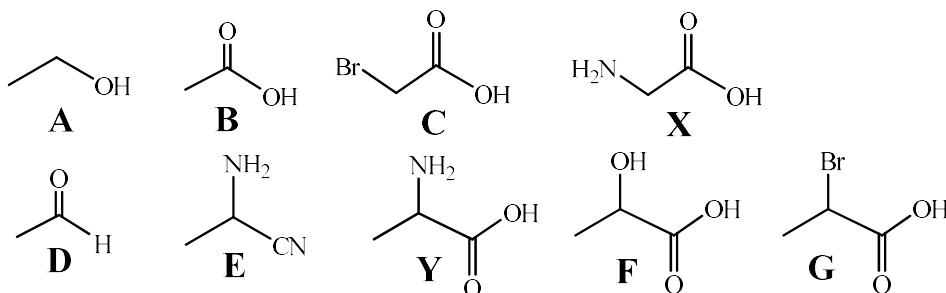
1. Структурные формулы открытой и циклической форм глюкозы:



В открытой форме глюкоза содержит 4 хиральных центра, но при образовании циклической формы возникает дополнительный центр хиральности, поэтому суммарно в циклической форме глюкозы 5 хиральных центров.

ской форме глюкозы 5 хиральных центров (указаны звездочками на проекционных формулах).

2. Структурные формулы веществ:



Тривиальные названия:

X – глицин      Y – аланин

3. Реагенты, с помощью которых можно различить глюкозу и аминокислоты глицин и аланин (засчитывается любой из вариантов):

1) Гидроксид меди  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  или реактивы Фелинга/Бенедикта-Фелинга (тартратные или цитратные комплексы меди II)

Голубой осадок  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  растворяется в них с образованием **растворов василькового цвета**, но при последующем **нагревании** только в растворе глюкозы образуется **кирпично-красный осадок  $\text{Cu}_2\text{O}$** .

2) Гидроксид диамминсеребра – реактив Толленса  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH}$  (старое название – аммиачный раствор оксида серебра).

При нагревании глюкозы с данным реактивом протекает реакция «серебряного зеркала» - на стенках пробирки / колбы образуется блестящий налет металлического серебра. Глицин и аланин данную реакцию не дают.

**Разбалловка**

№	Элемент ответа	Баллы
1.	Структурные формулы открытой и циклической форм глюкозы	$2 \times 1 = 2 \text{ б}$
	Число хиральных центров	$2 \times 0,5 = 1 \text{ б}$
2	Структурные формулы веществ А–G, X и Y	$9 \times 0,5 = 4,5 \text{ б}$
	Тривиальные названия веществ X и Y	$2 \times 0,5 = 1 \text{ б}$
3.	Формула реагента	<b>0,5 б</b>
	Признаки реакций	<b>1 б</b>
	<b>Итого</b>	<b>10 баллов</b>