

КРИТЕРИИ И МЕТОДИКА ОЦЕНИВАНИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ  
ОЛИМПИАДНЫХ ЗАДАНИЙ РЕГИОНАЛЬНОГО ЭТАПА ПО ХИМИИ С  
УКАЗАНИЕМ МАКСИМАЛЬНО ВОЗМОЖНОГО КОЛИЧЕСТВА БАЛЛОВ  
ЗА КАЖДОЕ ЗАДАНИЕ И ОБЩЕГО КОЛИЧЕСТВА МАКСИМАЛЬНО  
ВОЗМОЖНЫХ БАЛЛОВ ПО ИТОГАМ ВЫПОЛНЕНИЯ ВСЕХ ЗАДАНИЙ

для жюри

1 тур

2022–2023

## Теоретический тур

### Десятый класс

#### Решение задачи 10-1 (автор: Каргов С.И.)

1. Мольные доли этанола и пропанола в исходном растворе были равны 0.6 и 0.4, а после добавления пропанола стали равны 0.5 и 0.5.

Обозначим давление пара чистого этанола вещества  $P_1^*$ , а пропанола –  $P_2^*$ .

Применяя закон Рауля к двум растворам, получим систему уравнений:

$$0.6P_1^* + 0.4P_2^* = 168$$

$$0.5P_1^* + 0.5P_2^* = 155$$

откуда  $P_1^* = 220$  Торр,  $P_2^* = 90$  Торр.

2. Давление пара этанола над раствором равно

$$P_1 = x_1 P_1^* = 0.6 \cdot 220 = 132 \text{ Торр.}$$

Тогда мольные доли этанола и пропанола в паре равны

$$x_1 = \frac{P_1}{P} = \frac{132}{168} = 0.786,$$

$$x_2 = 1 - x_1 = 1 - 0.786 = 0.214.$$

3. а). Раствор кипит, когда давление паров над ним равно атмосферному давлению, то есть

$$P = P_1 + P_2 = P_1^* x_1 + P_2^* x_2 = P_1^* x_1 + P_2^* (1 - x_1) = 760,$$

или

$$1180x_1 + 580(1 - x_1) = 760,$$

откуда  $x_1 = 0.3$ . Следовательно, мольная доля этанола в оставшемся после перегонки растворе равна 0.3, а мольная доля пропанола  $x_2 = 1 - x_1 = 0.7$ .

б) Давление пара над дистиллятом равно 1060 Торр, то есть

$$1180x_1 + 580(1 - x_1) = 1060,$$

откуда  $x_1 = 0.8$ . Следовательно, мольная доля этанола в дистилляте равна 0.8, а мольная доля пропанола  $x_2 = 1 - x_1 = 0.2$ .

в) Пусть количество этанола в дистилляте равно  $x$  моль, а пропанола –  $y$  моль.

Тогда мольная доля этанола в ставшемся растворе равна

$$\frac{1-x}{2-x-y} = 0.3,$$

а мольная доля этанола в дистилляте равна

$$\frac{x}{x+y} = 0.8.$$

Решая полученную систему, получаем  $x = 0.64$ ,  $y = 0.16$ .

Таким образом, в дистилляте содержится 0.64 моль этанола и 0.16 моль пропанола.

### Система оценивания

1.	За правильный расчёт давлений пара чистых этанола и пропанола	3 балла
2.	За правильный расчёт мольных долей этанола и пропанола в паре	3 балла
3.	а). За правильный расчёт мольных долей этанола и пропанола в оставшемся после перегонки растворе – 2 балла, б). За правильный расчёт мольных долей этанола и пропанола в дистилляте – 2 балла, в). За правильный расчёт количеств этанола и пропанола в дистилляте – 5 баллов	9 баллов
ИТОГО:		15 баллов

### Решение задачи 10-2 (авторы: Крысанов Н.С., Шалыбкова А.А.)

1. Определим вещество **М** исходя из данных, представленных в условии задачи:

$$M(M) = \rho \cdot V_m = 4.416 \text{ г/л} \cdot 22.4 \text{ л/моль} = 98.92 \text{ г/моль}$$

Поскольку молярная масса **М** близка к целой, то в состав данной молекулы входит чётное число атомов хлора, причём их не более 2, так как молярная масса невелика:

$$M(A) = M(M) - 2M(Cl) = 98.92 \text{ г/моль} - 2 \cdot 35.453 \text{ г/моль} = 28.014 \text{ г/моль}$$

Данной молярной массе соответствуют монооксид углерода  $CO$ , азот  $N_2$  и этилен  $C_2H_4$ . Однако свойствам, описанным в условии задачи, больше всего удовлетворяет угарный газ **А** =  $CO$ , который раньше действительно обнаруживали с помощью канареек. Тогда **М** =  $COCl_2$  (фосген).

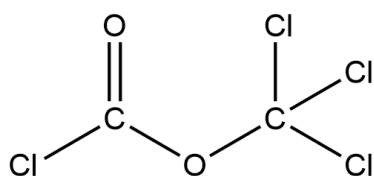
Поскольку конечные продукты синтеза, представленные пиктограммами, при нагревании разлагаются до фосгена, то они являются его олигомерами. На

верхней пиктограмме изображён квадратный метр, а на нижней – кубический метр, поэтому это дифосген  $M^2 = C_2O_2Cl_4$  и трифосген  $M^3 = C_3O_3Cl_6$ .

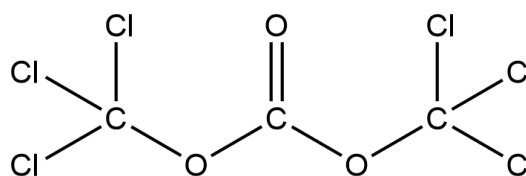
При нагревании CO с избытком водорода в присутствии катализатора образуется метиловый спирт  $V = CH_3OH$ .

Взаимодействие фосгена с одним эквивалентом  $V$  приводит к метилхлорформиату  $C = COCl(OCH_3)$ , а с двумя – к диметилкарбонату  $D = CO(OCH_3)_2$

2. Структурные формулы *дифосгена* и *трифосгена*:



$M^2$



$M^3$

3. Уравнения реакций:

- 1)  $CO + Cl_2 \rightarrow COCl_2$
- 2)  $CO + 2H_2 \rightarrow CH_3OH$
- 3)  $COCl_2 + CH_3OH \rightarrow COCl(OCH_3) + HCl$
- 4)  $COCl_2 + 2CH_3OH \rightarrow CO(OCH_3)_2 + 2HCl$
- 5)  $COCl(OCH_3) + 3Cl_2 \rightarrow COCl(OCCl_3) + 3HCl$
- 6)  $CO(OCH_3)_2 + 6Cl_2 \rightarrow CO(OCCl_3)_2 + 6HCl$
- 7)  $COCl(OCCl_3) \rightarrow 2COCl_2$
- 8)  $CO(OCCl_3)_2 \rightarrow 3COCl_2$

**Система оценивания:**

1.	Определение молекулярных формул веществ <b>A-D, M</b> и конечных продуктов синтеза по 1 баллу	<b>7 баллов</b>
2.	Изображение структурных формул конечных продуктов синтеза по 1.5 балла Указание тривиальных названий конечных продуктов синтеза по 0.5 балла	<b>4 балла</b>
3.	Уравнения реакций <b>1 – 8</b> по 0.5 балла	<b>4 балла</b>
<b>Итого: 15 баллов</b>		

### Решение задачи 10-3 (автор: Болматенков Д.Н.)

Из условия известно, что  $Y$  – кристаллогидрат. При наличии  $n$  молекул воды на формульную единицу безводной  $Y$  получим следующее соотношение:  $25.2/40 = 18 \cdot n/M(Y)$ , откуда  $M(Y) = 28.6 n$  г/моль, а масса безводной части  $Y$  равна  $M(\text{безв. } Y) = M(Y) - 18 n = 10.6 n$  г/моль.

Найдём значения молярной массы безводной  $Y$  при разных значениях  $n$  и определим возможный состав соли, полагая, что она содержит натрий (на что указывает окрашивание пламени горелки в жёлтый цвет):

$n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$M(\text{безв. } Y)$	10.6	21.2	31.8	42.4	53	63.6	74.2	84.8	95.4	106
Соль	-	-	-	NaF	-	-	NaClO	NaNO <sub>3</sub>	-	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>

NaNO<sub>3</sub> не даёт щелочную реакцию среды, а соль NaClO неустойчива при кипячении, поэтому среди найденных солей условию пока что соответствуют NaF·4H<sub>2</sub>O и Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>·10H<sub>2</sub>O. Раз в последнем вопросе задачи просят привести тривиальные названия солей, значит, эта соль имеет широкое применение и известна достаточно давно. Тогда можно предположить, что речь идёт о соде, т.е. декагидрате карбоната натрия. Кроме того, фторид натрия несколько хуже подходит по молярной массе.

Итак,  $Y$  - Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>·10H<sub>2</sub>O

В результате охлаждения раствора со 100 °С до 20 °С образовалось  $n = 40/286 = 0.14$  моль осадка, что соответствует уменьшению содержания соли в растворе на  $0.14 \cdot 106 = 14.84$  г и уменьшению содержания воды на  $0.14 \cdot 10 \cdot 18 = 25.2$  г.

В результате охлаждения раствора с 20 °С до 0 °С образовалось  $21.3/286 = 0.074$  моль осадка, что соответствует уменьшению содержания соли в растворе на  $0.074 \cdot 106 = 7.84$  г и уменьшению содержания воды на  $0.074 \cdot 10 \cdot 18 = 13.32$  г.

Обозначим начальное содержание соли и воды в растворе после кипячения при 100 °С как  $m_c^\circ$  и  $m_v^\circ$  соответственно. Тогда растворимость может быть выражена следующим образом:

$$S(20^{\circ}\text{C})/100 = \frac{m_c^0 - 14.84}{m_g^0 - 25.2}$$

$$S(0^{\circ}\text{C})/100 = \frac{m_c^0 - 14.84 - 7.84}{m_g^0 - 25.2 - 13.32} = \frac{m_c^0 - 22.68}{m_g^0 - 38.52}$$

Предположим, что исходная соль **X** – карбонат. Тогда её масса составляет  $m_c^{\circ} = 200 \cdot 0.2 = 40$  г. С учётом отличия растворимости в три раза можно записать:

$$\frac{S(20^{\circ}\text{C})}{S(0^{\circ}\text{C})} = \frac{(40 - 14.84)(m_g^0 - 38.52)}{(m_g^0 - 25.2)(40 - 22.68)} = \frac{25.16(m_g^0 - 38.52)}{17.32(m_g^0 - 25.2)} = 3$$

Данное уравнение имеет единственное решение  $m_b^{\circ} = 12.7$  г, которое, очевидно, не имеет смысла.

Тогда логично предположить, что карбонат натрия образовался в результате разложения другой соли. Этой солью может быть гидрокарбонат натрия:



В этом случае из 40 г  $\text{NaHCO}_3$  (0.476 моль) может быть получено 0.238 моль, или 25.2 г, среднего карбоната. Решим аналогичное уравнение с  $m_c^{\circ} = 25.2$  г:

$$\frac{S(20^{\circ}\text{C})}{S(0^{\circ}\text{C})} = \frac{(25.2 - 14.84)(m_g^0 - 38.52)}{(m_g^0 - 25.2)(25.2 - 22.68)} = \frac{10.36(m_g^0 - 38.52)}{2.52(m_g^0 - 25.2)} = 3$$

Уравнение имеет решение при  $m_b^{\circ} = 74.5$  г.

Таким образом, исходной солью **X** может быть гидрокарбонат натрия.

**2.** Сразу после кипячения раствор содержал 25.2 г  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и 74.5 г воды.

Массовая доля соли равна:

$$\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 25.2 / (25.2 + 74.5) = 0.253 \text{ или } 25.3 \%$$

После охлаждения до  $0^{\circ}\text{C}$  в растворе осталось  $25.2 - 22.68 = 2.52$  г соли и  $74.5 - 38.52 = 35.98$  г воды. Массовая доля соли равна:

$$\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 2.52 / (2.52 + 35.98) = 0.065 \text{ или } 6.5 \%$$

**3.** Рассчитаем растворимость при  $20^{\circ}\text{C}$ :

$$S(20^{\circ}\text{C})/100 = \frac{m_c^0 - 14.84}{m_g^0 - 25.2} = \frac{25.2 - 14.84}{74.5 - 25.2} = 0.21 \text{ или } 21 \text{ г соли на } 100 \text{ г воды}$$

При  $0^{\circ}\text{C}$  растворимость будет в 3 раза ниже, тогда при  $10^{\circ}\text{C}$  она составит  $(7+21)/2 = 14$  г соли на 100 г воды.

Пусть при охлаждении из раствора выпадет  $x$  моль соли. Тогда масса соли в растворе уменьшится на  $106 \cdot x$ , а масса воды – на  $180 \cdot x$ :

$$S(10^\circ\text{C})/100 = \frac{m_c^0 - 106x}{m_g^0 - 180x} = \frac{25.2 - 106x}{74.5 - 180x} = 0.14$$

Откуда  $x = 0.183$  моль, что соответствует  $0.183 \cdot 286 = 52.3$  г  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ .

4. Гидрокарбонат натрия имеет тривиальное название питьевая (пищевая) сода, декагидрат карбоната натрия – натрит, или кристаллическая сода.

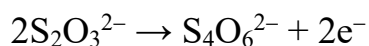
**Система оценивания:**

<b>1</b>	Формулы солей X и Y по 3 балла	<b>6 баллов</b>
<b>2</b>	Расчёт массовых долей при 100 и 0 °C по 2 балла	<b>4 балла</b>
<b>3</b>	Растворимость при 10 °C Масса осадка	<b>1 балл</b> <b>3 балла</b>
<b>4</b>	Тривиальные названия X и Y по 0.5 балла	<b>1 балл</b>
		<b>Итого 15 баллов</b>

### Решение задачи 10-4 (автор: Долженко В.Д.)

1. При анализе веществ **A – D** на стадии щелочного сплавления происходит окисление, при добавлении иодида натрия образуется коричневый раствор вследствие окисления иодид-иона:  $3\text{I}^- - 2\text{e}^- \rightarrow \text{I}_3^-$ .

В реакции с иодом тиосульфат является одноэлектронным восстановителем:



Вычислим количество вещества тиосульфата натрия, пошедшего на титрование, по формуле:  $v(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = C \cdot V$ .

Вещества анализируют на содержание **Y**, скорее всего именно этот элемент меняет степень окисления. Так как мы не знаем изменение степени окисления **Y** при добавлении иодида натрия, возможно вычислить только  $n \cdot v(\text{Y}) = v(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)$  (здесь  $n$  – изменение степени окисления).

Так как количество вещества определяли в 10 мл, а навеску после сплавления переносили в колбу на 100 мл, количество вещества следует умножить на 10, и молярная масса веществ в расчёте на один атом **Y** может быть определена по формуле:

$$M(\text{в-ва}) = \frac{m(\text{навески})}{v(\text{Y}) \cdot 10} = \frac{m \cdot n}{10 \cdot v(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)} = \frac{m \cdot n}{10 \cdot C \cdot V} :$$

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
$M/n$ , г/моль	22.67	25.33	27.11	33.33

Для получения целых чисел умножим полученные значения на 3:

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
$3 \cdot M/n$ , г/моль	68.00	76.00	81.33	100.00

Так как все молярные массы приведены на 1 атом **Y**, состав соединений можно представить в виде  $\text{X}_m\text{Y}$ . Вычтем из всех полученных молярных масс молярную массу **A**:

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
$\Delta M$ , г/моль	0	8.00	13.33	32.00

Полученные значения 8 и 32 позволяют предположить, что элемент **X** – это кислород ( $M = 16 \text{ г/моль}$ ) или сера ( $M = 32 \text{ г/моль}$ ).

Если **X** – кислород, а состав **A** =  $\text{YO}$ , тогда **B** =  $\text{Y}_2\text{O}_3$ , **D** =  $\text{YO}_3$ .

Если **X** – сера, тогда **A** =  $\text{Y}_2\text{S}$ , **B** =  $\text{Y}_4\text{S}_3$ , **D** =  $\text{Y}_2\text{S}_3$ .

Рассчитаем молярную массу **Y**. Если **X** – кислород, то  $M(\text{Y}) = 52 \text{ г/моль}$  (Cr), если **X** – сера, тогда  $M(\text{Y}) = 52 \text{ г/моль}$  (Cr). Для нестехиометричного  $\text{Cr}_4\text{S}_3$  трудно ожидать температуру плавления  $\sim 2700 \text{ }^\circ\text{C}$ . Кроме того в условии указано, что щелочной расплав после окисления не содержит сульфат-ионов. Таким образом, **X** – кислород, а **Y** – хром.

Установим состав **C**.  $M(\text{C}) = M(\text{Cr}_p\text{O}_q) = 52p + 16q = 81.33p \Rightarrow 29.33p = 16q$ . Умножим левую и правую часть на 3:  $88p = 48q \Rightarrow p : q = 48 : 88 = 6 : 11$ . Таким образом, состав **C** =  $\text{Cr}_6\text{O}_{11}$ .

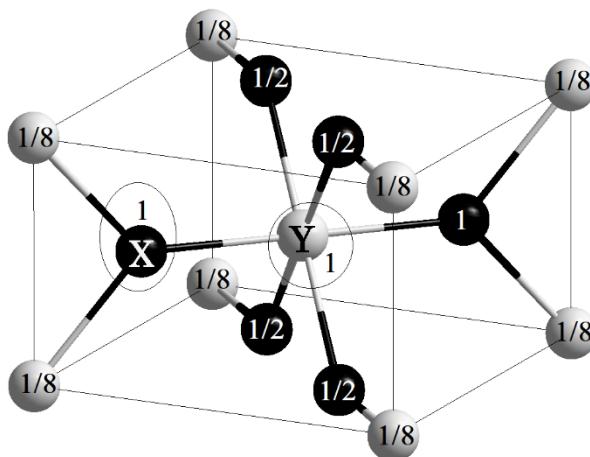
ИТОГО:

<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
CrO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>6</sub> O <sub>11</sub>	CrO <sub>3</sub>

В приведённой элементарной ячейке содержится 4 чёрных атома и 2 белых.

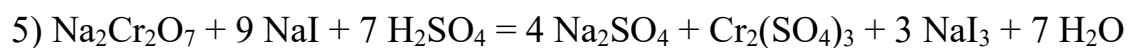
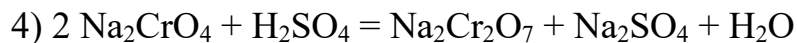
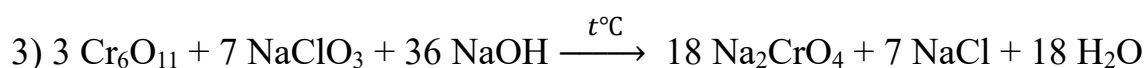
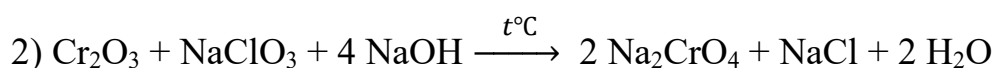
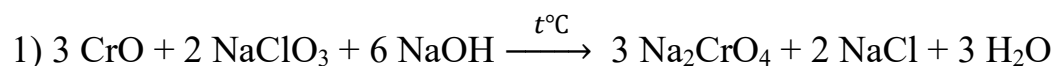


Атомы в вершинах принадлежат данной ячейке на 1/8, атомы на гранях – на 1/2, а атомы в объёме ячейки принадлежат ей полностью:

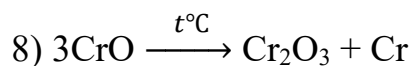
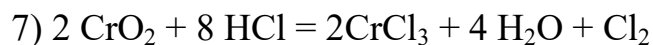
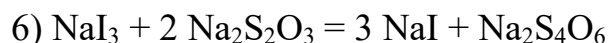


Таким образом, состав Cr : O = 2 : 4, т.е. состав оксида **Е** = CrO<sub>2</sub>.

## 2. Уравнения реакций:



Если в качестве продукта указан I<sub>2</sub>, то за уравнение выставляется только половина баллов.



### Система оценивания:

1	Элементы X и Y по 1 баллу	7 баллов
	Вещества А – Е по 1 баллу	
2	Уравнения реакций 1 – 8 по 1 баллу	8 баллов
		<b>Итого: 15 баллов</b>

### Решение задачи 10-5 (автор: Плодухин А.Ю.)

Судя по тому, что при обработке магнием соединение **A**, содержащее 2 атома галогена, даёт углеводороды, оно содержит только С, Н и галоген Hal. Так как соединение **B** присоединяет только 1 экв. Br<sub>2</sub>, то оно содержит только одну кратную связь. Значит, **B** – это циклоалкен, а **A** – дигалогенциклоалкан; их формулы: **A** = C<sub>n</sub>H<sub>2n-2</sub>Hal<sub>2</sub> и **B** = C<sub>n</sub>H<sub>2n-2</sub>. Поскольку плотности паров пропорциональны молярным массам соединений, можно принять, что

$$\frac{M(C_nH_{2n-2}Hal_2)}{M(C_nH_{2n-2})} = 2.95,$$

тогда

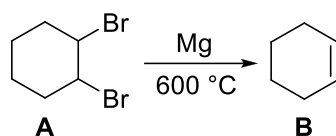
$$12n + 2.02n - 2.02 + 2M(Hal) = 2.95 (12n + 2.02n - 2.02)$$

$$3.94 + 2M(Hal) = 27.3n$$

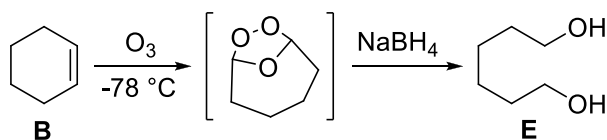
Далее определим n перебором атомной массы галогена. Составим таблицу:

Hal	F	Cl	Br	I
M(Hal), г/моль	19	35.5	79.9	127
n	1.54	2.75	6.00	9.45

Таким образом, при переборе масс целое значение n оказалось только в случае брома. Значит, **B** – циклогексен, а **A** – 1,2-дибромциклогексан (другие изомерные дибромциклогексаны не смогут дать циклогексен при дегалогенировании). Таким образом,

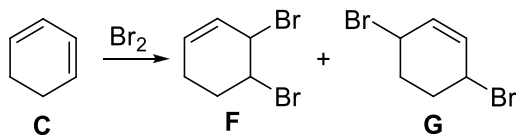


Озонолиз **B** и обработка озонида сильным восстановителем приводят к образованию ациклического двухатомного спирта **E**:

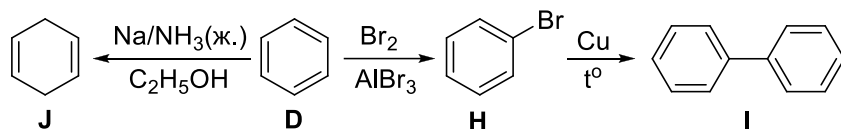


Перейдём к расшифровке структуры углеводорода **C**. Возможность взаимодействия **C** с бромом без катализатора и при комнатной или пониженной температуре указывает на то, что это точно не ароматический углеводород, а поскольку все исходные углеводороды имеют разное число кратных связей,

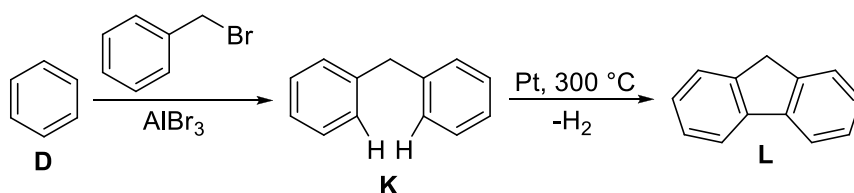
можно предположить, что это диен. Такая разнообразная реакционная способность с бромом при разных температурах наталкивает на мысль, что это сопряжённый диен. В самом деле, при электрофильном присоединении 1 экв. брома к сопряжённым диенам возможно образование как продуктов 1,2-присоединения, так и продуктов 1,4-присоединения. При низких температурах преобладает продукт 1,2-присоединения, который образуется быстрее (продукт кинетического контроля). При более высоких температурах преобладает более термодинамически устойчивый продукт 1,4-присоединения (продукт термодинамического контроля). Таким образом,



Совершенно очевидно, что **D** – бензол. Бромирование бензола даёт бромбензол **H**, нагревание которого с металлической медью (реакция Ульмана) даёт дифенил **I**. Восстановление бензола натрием в жидком аммиаке и этиловом спирте (по Бёрчу) приводит к образованию 1,4-циклогексадиена **J**. О структурах этих продуктов можно догадаться и не зная этих реакций, поскольку в условии сказано, что **I** и **J** – углеводороды, при этом **J** – изомер **C**.

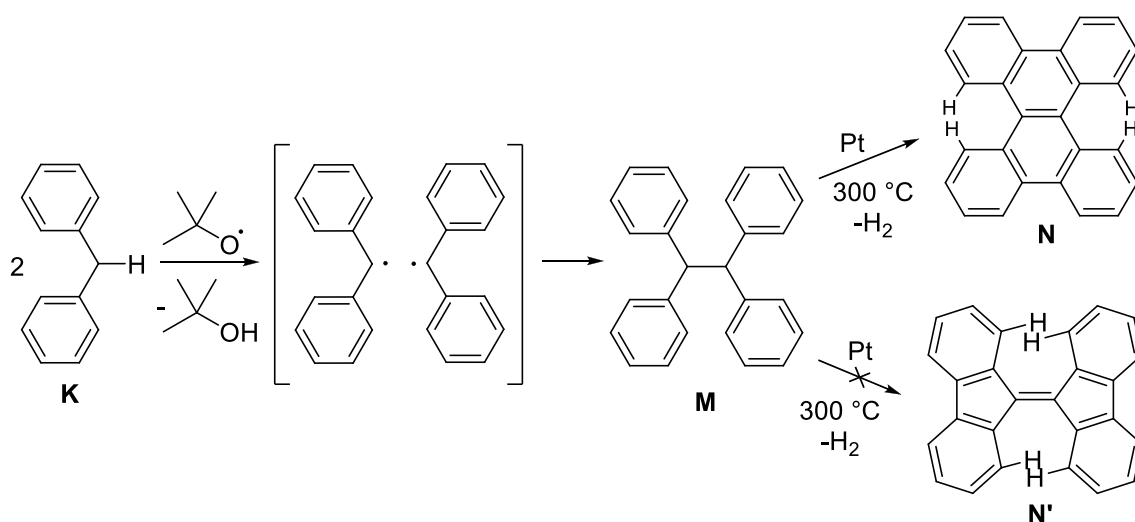


Бензол в присутствии кислоты Льюиса  $AlBr_3$  реагирует с бензилбромидом с образованием дифенилметана **K** (реакция Фриделя-Крафтса), что подтверждается данными элементного анализа. Действительно, расчётная массовая доля углерода в **K** составляет  $\omega(C) = (12 \cdot 13 \cdot 100) / (12 \cdot 13 + 12 \cdot 1.01) = 92.8\%$ . Поскольку дифенилметан содержит два шестичленных цикла, а продукт его нагревания над платиновым катализатором – 3 цикла, то единственным путём превращения дифенилметана является его дегидрирование с образованием C–C связи между ароматическими циклами. Таким образом, **L** – флуорен.



С другой стороны, в присутствии радикалов дифенилметан превращается в дифенилметильный радикал. Димеризация двух дифенилметильных радикалов приводит к образованию 1,1,2,2-тетрафенилэтана **M**. При нагревании в присутствии платинового катализатора он также подвергается дегидрированию с образованием полностью сопряжённой почти плоской гексациклической системы **N**, содержащей только шестичленные циклы. Структуру **N** также можно дополнительно проверить по заданному в условии массовому содержанию углерода.

Альтернативный вариант образования **N'** подразумевает образование связей С–С между другими парами бензольных колец. В этом случае продукт будет содержать два пятичленных и 4 шестичленных цикла. Однако для такого соединения возникают значительные стерические препятствия из-за более близкого расположения атомов водорода бензольных колец. Это приводит к тому, что искажается геометрия связи С=С, соединяющей две π-системы: эти π-системы оказываются не в одной плоскости. Этот эффект менее выражен для соединения **N**, поскольку атомы Н здесь расположены дальше друг от друга.



### Система оценивания:

1.	Структуры соединений <b>A</b> – <b>N</b> – по 1 баллу	<b>14 баллов</b>
2.	Структура соединения <b>N'</b> – 1 балл	<b>1 балл</b>
	<b>ИТОГО:</b>	<b>15 баллов</b>

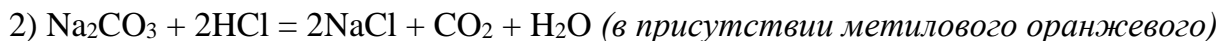
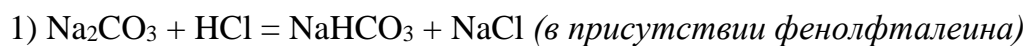
## ДЛЯ ЖЮРИ

### Решение (авторы: Филатова Е.А., Фурлетов А.А.)

1. Для приготовления раствора гидроксида натрия NaOH, не содержащего карбонат-ионов, можно использовать ряд приемов:

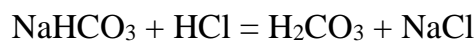
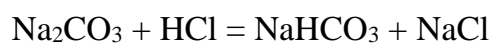
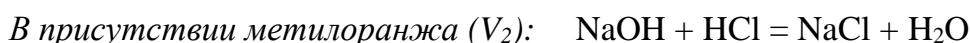
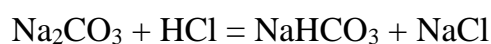
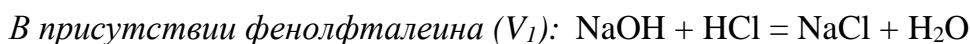
- а) добавление в раствор небольшого количества хлорида бария BaCl<sub>2</sub>;
- б) разбавление прокипяченной водой концентрированного раствора NaOH;
- в) растворение металлического натрия Na в этаноле C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH с последующим гидролизом алкоголята.

2. Уравнения реакций:



Объем соляной кислоты HCl, израсходованный на титрование карбоната натрия Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> в присутствии метилового оранжевого (реакция 2), будет больше в 2 раза объема соляной кислоты HCl, израсходованного на титрование карбоната натрия Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> в присутствии фенолфталеина (реакция 1).

3. Уравнения реакций:



Как видно из уравнений реакций, разность  $V_2 - V_1$  идет на титрование гидрокарбоната натрия NaHCO<sub>3</sub> до угольной кислоты H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Точно такой же объем раствора соляной кислоты HCl идет на титрование карбоната натрия Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> до гидрокарбоната натрия NaHCO<sub>3</sub>.

Отсюда

$$c(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot V(\text{Na}_2\text{CO}_3) = c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl})$$

$$c(\text{Na}_2\text{CO}_3), \text{ мг/л} = 1000 \cdot c(\text{HCl}) \cdot \frac{V_2 - V_1}{V_0} \cdot M(\text{Na}_2\text{CO}_3)$$

Концентрация NaOH в исходном растворе может быть найдена по формуле

$$c(\text{NaOH}), \text{ мг/л} = 1000 \cdot c(\text{HCl}) \cdot \frac{2V_1 - V_2}{V_0} \cdot M(\text{NaOH})$$

### Система оценивания

1. Способы приготовления NaOH без Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> — 2 способа по 1 б 2 балла
2. Уравнения реакций — 2 уравнения по 1 б 2 балла  
(если неверно уравнены — по 0.5 б)
3. Отношение объемов HCl 1 балл  
(если правильно определено, в каком случае объем HCl больше — 0.5 б)
4. Вывод формул — 2 формулы по 2 б 4 балла
5. Определение, в какой колбе какое вещество находится 2 балла
6. Точность титрования оценивается, исходя из разницы ( $\Delta V$ , мл) между величиной среднего объема HCl, который участник затратил на титрование **в присутствии метилового оранжевого**, и ожидаемым значением, в соответствии с таблицей:

Определение NaOH		Определение Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	
$\Delta V$ , мл	Баллы	$\Delta V$ , мл	Баллы
$\leq 0.1$	6	$\leq 0.1$	6
0.1 – 0.2	5	0.1 – 0.2	5
0.2 – 0.3	4	0.2 – 0.3	4
0.3 – 0.4	3	0.3 – 0.4	3
0.4 – 0.5	2	0.4 – 0.5	2
0.5 – 1.0	1	0.5 – 1.0	1
$> 1.0$	0	$> 1.0$	0

7. Правильность расчета массы гидроксида натрия и карбоната натрия (оценивается, исходя из среднего объема титранта, полученного участником, безотносительно точности титрования) — 2 значения по 1 б 2 балла

**ИТОГО**

**25 баллов**

В случае, если участнику понадобится дополнительное количество реактива, долив реактива производится 1 раз без штрафа, в последующих случаях — со штрафом 1 балл, но не более 4 баллов суммарно.