

# **Республиканская олимпиада по химии 2021**

## **РЕШЕНИЕ**

**Областной этап  
I-тур**

9 класс

**Областной этап республиканской олимпиады по химии 2021**  
**Комплект заданий I-тура для 9 класса**

1																	18
1 H 1.008	2											13	14	15	16	17	2 He 4.003
3 Li 6.94	4 Be 9.01											5 B 10.81	6 C 12.01	7 N 14.01	8 O 16.00	9 F 19.00	10 Ne 20.18
11 Na 22.99	12 Mg 24.31	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13 Al 26.98	14 Si 28.09	15 P 30.97	16 S 32.06	17 Cl 35.45	18 Ar 39.95
19 K 39.10	20 Ca 40.08	21 Sc 44.96	22 Ti 47.87	23 V 50.94	24 Cr 52.00	25 Mn 54.94	26 Fe 55.85	27 Co 58.93	28 Ni 58.69	29 Cu 63.55	30 Zn 65.38	31 Ga 69.72	32 Ge 72.63	33 As 74.92	34 Se 78.97	35 Br 79.90	36 Kr 83.80
37 Rb 85.47	38 Sr 87.62	39 Y 88.91	40 Zr 91.22	41 Nb 92.91	42 Mo 95.95	43 Tc -	44 Ru 101.1	45 Rh 102.9	46 Pd 106.4	47 Ag 107.9	48 Cd 112.4	49 In 114.8	50 Sn 118.7	51 Sb 121.8	52 Te 127.6	53 I 126.9	54 Xe 131.3
55 Cs 132.9	56 Ba 137.3	57-71	72 Hf 178.5	73 Ta 180.9	74 W 183.8	75 Re 186.2	76 Os 190.2	77 Ir 192.2	78 Pt 195.1	79 Au 197.0	80 Hg 200.6	81 Tl 204.4	82 Pb 207.2	83 Bi 209.0	84 Po -	85 At -	86 Rn -
87 Fr -	88 Ra -	89-103	104 Rf -	105 Db -	106 Sg -	107 Bh -	108 Hs -	109 Mt -	110 Ds -	111 Rg -	112 Cn -	113 Nh -	114 Fl -	115 Mc -	116 Lv -	117 Ts -	118 Og -

57 La 138.9	58 Ce 140.1	59 Pr 140.9	60 Nd 144.2	61 Pm -	62 Sm 150.4	63 Eu 152.0	64 Gd 157.3	65 Tb 158.9	66 Dy 162.5	67 Ho 164.9	68 Er 167.3	69 Tm 168.9	70 Yb 173.0	71 Lu 175.0
89 Ac -	90 Th 232.0	91 Pa 231.0	92 U 238.0	93 Np -	94 Pu -	95 Am -	96 Cm -	97 Bk -	98 Cf -	99 Es -	100 Fm -	101 Md -	102 No -	103 Lr -

Областной этап республиканской олимпиады по химии 2021  
Комплект заданий I-тура для 9 класса

РАСТВОРИМОСТЬ НЕКОТОРЫХ ВЕЩЕСТВ В ВОДЕ (при t=25°C) И ИХ МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ИЛИ ФОРМУЛЬНЫЕ МАССЫ																												
РАСТВОРИМОСТЬ		H <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Li <sup>+</sup>	Rb <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ba <sup>2+</sup>	Sr <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Be <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Mn <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Cr <sup>2+</sup>	Cr <sup>3+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	Cd <sup>2+</sup>	Co <sup>2+</sup>	Co <sup>3+</sup>	Ni <sup>2+</sup>	Sn <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Ag <sup>+</sup>	Hg <sup>2+</sup>
OH <sup>-</sup>	ГИДРОКСИД-	18	35	24	102	56	171	122	74	40	58	43	78	89	99	86	103	90	107	146	93	110	93	153	241	98	125	235
F <sup>-</sup>	ФТОРИД-	20	37	26	104	58	175	126	78	42	62	47	84	93	103	90	109	94	113	150	97	116	97	157	245	102	127	238
Cl <sup>-</sup>	ХЛОРИД-	36,5	53,5	42,5	121	74,5	208	159	111	58,5	95	80	133	126	136	123	158	127	162	183	130	165	130	190	278	134	143	272
Br <sup>-</sup>	БРОМИД-	81	98	87	165	119	297	247	200	103	184	169	267	215	225	212	292	216	296	272	219	299	219	279	367	223	188	360
I <sup>-</sup>	ИОДИД-	128	145	134	212	166	391	341	294	150	278	263	408	309	319	306	433	310	?	366	313	440	313	373	461	317	235	454
S <sup>2-</sup>	СУЛЬФИД-	34	68	46	203	110	169	120	72	78	56	41	150	87	97	84	200	88	208	144	91	214	91	151	239	96	248	233
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	СУЛЬФАТ-	98	132	110	267	174	233	184	136	142	120	105	342	151	161	148	392	152	400	208	155	406	155	215	303	160	312	297
HSO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	ГИДРОСУЛЬФАТ-	98	115	104	182	136	?	282	?	120	?	?	?	249	259	?	?	?	?	?	?	?	?	?	401	?	205	?
SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	СУЛЬФИТ-	82	116	94	251	158	217	168	120	126	104	89	294	135	145	?	344	136	?	192	139	?	139	199	287	144	296	281
ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	ПЕРХЛОРАТ-	100	117	106	185	138	336	287	239	122	223	208	325	254	264	251	350	255	354	311	258	357	258	?	406	262	207	400
ClO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	ХЛОРАТ-	84	101	90	169	122	304	255	207	106	191	176	277	222	232	?	302	?	?	279	226	?	226	?	374	230	191	368
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	НИТРАТ-	63	80	69	147	101	261	212	164	85	148	133	213	179	189	?	238	180	242	236	183	245	183	243	331	188	170	325
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	НИТРИТ-	47	64	53	131	85	229	180	132	69	116	101	?	147	157	?	?	?	?	?	151	?	151	?	299	156	154	293
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	(ОРТО)ФОСФАТ-	98	149	116	351	212	602	453	310	164	263	217	122	355	386	346	147	357	151	527	367	?	366	546	812	381	419	792
HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	ГИДРОФОСФАТ-	98	132	?	267	174	233	184	136	142	120	105	342	151	161	?	392	152	?	?	155	?	?	215	303	160	312	297
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	ДИГИДРОФОСФАТ-	98	115	104	182	136	331	282	234	120	218	203	318	249	259	?	?	250	?	306	?	?	?	313	401	?	205	395
CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup>	АЦЕТАТ-	60	77	66	144	98	255	206	158	82	142	127	204	173	183	170	229	174	233	230	177	236	177	237	325	182	167	319
Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>2-</sup>	ДИХРОМАТ-	218	252	230	387	294	353	304	256	262	240	225	?	?	335	?	?	272	760	?	?	?	?	335	423	280	432	417
CrO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	ХРОМАТ-	118	152	130	287	194	253	204	156	162	140	125	?	171	181	?	?	?	460	228	175	?	175	235	323	180	332	317
MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	ПЕРМАНГАНАТ-	120	137	126	204	158	375	326	278	142	262	247	384	?	303	?	?	?	?	350	?	?	297	?	?	?	227	?
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	КАРБОНАТ-	62	96	74	231	138	197	148	100	106	84	69	?	115	125	112	284	116	292	172	119	298	119	179	267	124	276	261
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	ГИДРОКАРБОНАТ-	62	79	68	146	100	259	210	162	84	146	?	?	?	187	174	235	178	?	234	?	?	181	?	329	?	169	?
SiO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	(МЕТА)СИЛИКАТ-	78	?	90	247	154	213	164	116	122	100	85	282	131	141	?	332	132	340	189	?	?	?	195	283	140	292	277

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МАССЫ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ										РАСТВОРЯЕТСЯ (>1 г на 100 г воды)		НЕ РАСТВОРЯЕТСЯ (< 0,1 г на 100 г воды)		249		НЕТ ДАННЫХ О РАСТВОРИМОСТИ		
РАДИКАЛЫ		ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ГРУППЫ								МАЛО РАСТВОРЯЕТСЯ (от 0,1 г до 1 г на 100 г воды)		РАЗЛАГАЕТСЯ В ВОДЕ		?		НЕТ ДАННЫХ О СУЩЕСТВОВАНИИ ВЕЩЕСТВА		
		-H	-Cl	-Br	-OH	-NO <sub>2</sub>	-NH <sub>2</sub>	-CHO	-COOH	-C <sub>6</sub> H <sub>5</sub>								
CH <sub>3</sub> -	МЕТИЛ-	16	50	95	32	61	31	44	60	92								
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> -	ЭТИЛ-	30	65	109	46	75	45	58	74	106								
C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> -	ПРОПИЛ-	44	79	123	60	89	59	72	88	120								
C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> -	БУТИЛ-	58	93	137	74	103	73	86	102	134								
CH <sub>2</sub> =CH-	ВИНИЛ-	28	63	107	-	73	43	56	72	104								
C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> -	ФЕНИЛ-	78	113	157	94	123	93	106	122	154								
CH <sub>3</sub> CO-	АЦЕТИЛ-	44	78	123	60	89	59	72	88	120								

РЯД ЭЛЕКТРООТРИЦАТЕЛЬНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ																																	
Эл.-ты	Cs	K	Ba	Sr	Na	Ca	Li	Mg	Cd	Ag	Zn	Cu	Be	Hg	Al	Pb	Sn	Au	Si	B	As	P	H	Cr	S	Mn	C	I	Br	N	Cl	O	F
χ	0,63	0,69	0,72	0,80	0,82	0,86	0,86	1,08	1,22	1,28	1,29	1,29	1,31	1,35	1,43	1,57	1,63	1,66	1,82	1,86	1,92	1,98	2,07	2,27	2,41	2,45	2,50	2,58	2,60	2,82	2,86	3,91	4,29
E <sub>c</sub>	46	48	0	0	53	0	60	0	0	126	0	119	0	0	43	35	107	223	134	27	78	72	73	64	200	0	122	295	325	0	349	141	328

χ – ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ ЭЛЕКТРООТРИЦАТЕЛЬНОСТИ  
по А.С.Поваренных (для углерода χ=2,5)  
E<sub>c</sub> – СРОДСТВО К ЭЛЕКТРОНУ, в кДж/МОЛЬ

Составитель – Г.П. Лапаев; 129041, Москва, Проспект мира, д.68  
© Составление, дизайн – ООО "Каллиграф", 2002  
Г.П. Лапаев, 1997  
Пол. в печать 02.09.2002. Печать офс. Зак. 542  
Компьютерный набор – Р.Р. Файзулин  
Тип. "Р-Мастер".  
Изд. 2", испр. и доп.

### Задача 1 (5 баллов)

К 30%-ному раствору NaOH массой 250 г добавили Na<sub>2</sub>O. В результате, массовая доля NaOH в конечном растворе увеличилась до 40%.

1. Вычислите массу и количество вещества NaOH в исходном растворе. (1 балл)

$$m(\text{NaOH}) = 250 \cdot 0.3 = 75 \text{ г.} \quad (0.5 \text{ балла})$$

$$n(\text{NaOH}) = 75 / 40 = 1.875 \text{ моль} \quad (0.5 \text{ балла})$$

2. Определите массу Na<sub>2</sub>O. (3 балла)



Возьмем массу Na<sub>2</sub>O как x г, тогда масса раствора составит (250 + x) г.

$$m(\text{Na}_2\text{O}) = x \text{ г}$$

$$n(\text{Na}_2\text{O}) = x/62 \text{ моль}$$

$$n(\text{NaOH}) = 2 \cdot n(\text{Na}_2\text{O}) = 2x / 62 \text{ моль}$$

$$m(\text{NaOH}) = 40 \cdot 2x/62 = 80x/62 \text{ г} = 1.29x \text{ г}$$

Следовательно, масса NaOH в конечном растворе станет равной (75 + 1,29x) г.

Отсюда:

$$\omega(\text{NaOH}) = m(\text{NaOH}) / m(\text{р-ра}) \cdot 100\%;$$

$$40 / 100 = (75 + 1,29x) / (250 + x)$$

$$x = 28.09 \quad (1,5 \text{ балла за решение})$$

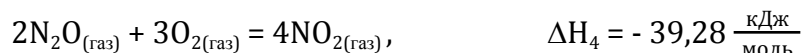
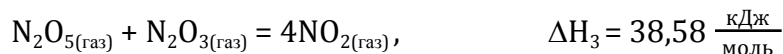
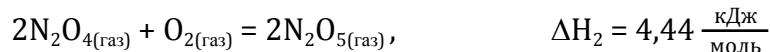
$$m(\text{Na}_2\text{O}) = 28.09 \text{ г} \quad (1 \text{ балл})$$

3. Рассчитайте массу NaOH в конечном растворе. (1 балл)

$$m(\text{NaOH})_{\text{в конечном растворе}} = 75 + 1.29 \cdot 28.09 = 111.24 \text{ г} \quad (1 \text{ балл})$$

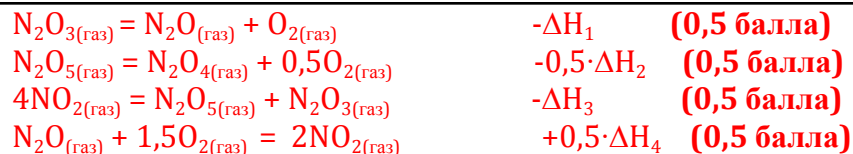
### Задача 2 (6 баллов)

1) Найдите энтальпию реакции димеризации диоксида азота при температуре 273 К на основании следующих данных: (3.5 балла)





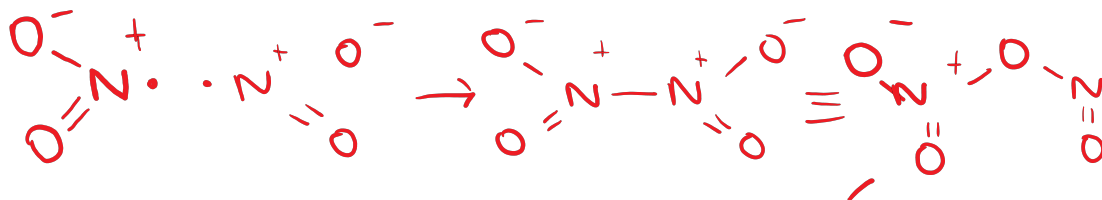
**Областной этап республиканской олимпиады по химии 2021  
Комплект заданий I-тура для 9 класса**



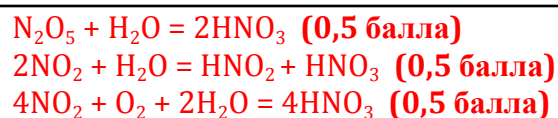
$\Delta H_5 = -(-3,16) - 0,5 \cdot 4,44 - 38,58 - 0,5 \cdot 39,28 = -57,28 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$  **(1 балл)**

2) Нарисуйте схему димеризации диоксида азота: (1 балл)

Обе структуры димера принимаются **(1 балл)**



3) Напишите три реакции образования азотной кислоты в присутствии любого оксида азота: (1,5 балла)



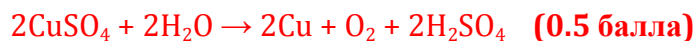
### **Задача 3 (8 баллов)**

**А)** В процессе электролиза на электродах происходят так называемые полуреакции. Обычно на катоде происходит полуреакция с участием катиона более пассивного металла, а на аноде происходит полуреакция с участием аниона, содержащего меньшее число атомов кислорода. В этой части мы рассмотрим обычный электролиз раствора сульфата меди.

Через 250г 12,8%-ного раствора сульфата меди провели ток до тех пор, пока вся медь не выделилась из раствора.

а.1) Запишите общую реакцию электролиза. (0,5 балла)

Общая реакция электролиза в данном случае будет выглядеть следующим образом:



Областной этап республиканской олимпиады по химии 2021  
Комплект заданий I-тура для 9 класса

а.2) Рассчитайте количество выделившихся на электродах веществ. (1 балл)

$$n(\text{Cu}) = n(\text{CuSO}_4) = (250 \cdot 0.128) / 160 = 0.2 \text{ моль}$$

$$n(\text{O}_2) = n(\text{Cu}) / 2 = 0.1 \text{ моль (1 балл)}$$

а.3) Найдите конечную массу раствора. (1 балл)

$$\text{Масса раствора: } m = 250 - 0.2 \cdot 64 - 0.1 \cdot 32 = 234 \text{ г (1 балл)}$$

а.4) Рассчитайте массовые доли веществ в растворе после электролиза. (1 балл)

$$\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{0.2 \times 98}{234} = 0.0838 \text{ (8.38\%)} \text{ (1 балл)}$$

**б)** При электролизе раствора соли металла средней активности могут происходить дополнительные процессы в зависимости от концентрации соли. При этом решение задачи на такой электролиз будет не столь прямолинейным, как в случае с солями активных или пассивных металлов. В этой части задачи вам предлагается попробовать выяснить, что же в итоге происходит при электролизе раствора соли свинца. Примечание: свинец является металлом средней активности.

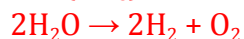
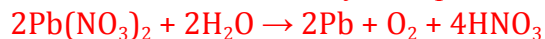
Через 300 г 33,1%-ного раствора нитрата свинца провели ток и на аноде выделился кислород объемом 3,36 л (н.у.). Электролиз остановили, когда массовая доля нитрата свинца в растворе стала равной 24,15%.

б.1) Рассчитайте количество кислорода, выделившегося на аноде. (0,5 балла)

$$\text{Посчитаем количество выделившегося на аноде кислорода: } n(\text{O}_2) = 3.36 / 22.4 = 0.15 \text{ моль. (0,5 балла)}$$

б.2) Найдите массу раствора после электролиза. (3 балла)

Очевидно, что здесь происходит одновременное выделение свинца и водорода на катоде. Соответственно, у нас протекают две реакции электролиза:



Пусть в первой реакции получилось  $x$  моль кислорода, а во второй –  $y$  моль кислорода. Тогда количество выделившегося свинца будет равно  $2x$  моль, а количество выделившегося водорода –  $2y$  моль. В таком случае можно будет составить два уравнения исходя из приведенных условий задачи.

$$x + y = 0,15$$

$$0,2415 = \frac{300 \times 0,331 - 662x}{300 - 32 \times 0,15 - 414x - 4y}$$

Решив данную систему мы найдем, что  $x = 0,05$  моль, а  $y = 0,1$  моль.

Значит количества выделившихся на катоде веществ:

$$n(\text{Pb}) = 2x = 0,1 \text{ моль}$$

$$n(\text{H}_2) = 2y = 0,2 \text{ моль}$$

Масса раствора после электролиза:  $300 - 4,8\text{г}$  (кислород)  $- 20,7\text{г}$  (свинец)  $- 0,4\text{г}$  (водород) =  $274,1\text{г}$  **(3 балла)**

б.3) Какое вещество останется в растворе помимо воды и нитрата свинца? Найдите его массовую долю. (1 балл)

Помимо нитрата свинца и воды в растворе остается азотная кислота и ее массовая доля равна:

$$\omega(\text{HNO}_3) = \frac{0,2 \times 63}{274,1} = 0,046 \text{ (4,6\%)} \text{ (1 балл)}$$

#### Задача 4 (7 баллов)

Принято считать, что соли, образованные элементами одной группы периодической системы, хорошо растворимы в воде, но в каждом правиле есть исключения. Одним из таких исключений является соль **A** (содержит 26.75% металла **X** по массе), которую можно получить тремя способами:

- Взаимодействием 2.81 г соли **B** с кислотой **C** (реакция 1), при этом выделяется газ, при пропускании которого через избыток раствора гидроксида кальция выделяется 3.8 г белого осадка.
- Реакцией обмена между соединениями **D** ( $\omega(\text{X}) = 16.35\%$ ) и **E** (реакция 2). В ходе данной реакции из 1.426 г **E** получается 1.000 г **A**.
- Реакцией нейтрализации между кислотой **C** и основанием **F** (реакция 3)

1. Установите элемент **X**. Как называется группа элементов, к которой он относится? Ответ подтвердите расчетом. Для расчетов берите точные атомные массы элементов. (1.5 балла)

В первом способе получения **A** выделившимся газом, дающим белый осадок с гидроксидом кальция, скорее всего является углекислый газ, тогда **B** может быть карбонатом неизвестного металла **X**. Рассмотрим случай, когда **X** – одновалентный металл, тогда формула **A** –  $\text{X}_2\text{CO}_3$ .

$$n(\text{X}_2\text{CO}_3) = n(\text{C}) = n(\text{CaCO}_3) = \frac{3,8 \text{ г}}{100 \text{ г/моль}} = 0,038 \text{ моль} \text{ (0.25 балла)}$$

$$M(\text{X}_2\text{CO}_3) = \frac{m}{n} = \frac{2,81 \text{ г}}{0,038 \text{ моль}} = 73,94 \text{ г/моль} \text{ (0.25 балла)}$$

Рассчитанная молярная масса соответствует карбонату лития, значит **X** – **Li**, **(0.5 балла)**

Литий принадлежит к группе щелочных металлов. **(0.5 балла)**

Областной этап республиканской олимпиады по химии 2021  
Комплект заданий I-тура для 9 класса

2. Расшифруйте соединения **A-F**, подтвердив ответ расчетами. Напишите уравнения реакций 1-3. (5 баллов)



Рассмотрим простейший случай, когда **A** является бинарным соединением с формулой  $\text{LiЭ}$ , где **Э** – второй неизвестный элемент.

$$M(\text{Э}) = \frac{6.94}{0.2675} - 6.94 = 19 \text{ г/моль (0.25 балла)}$$

Данная молярная масса соответствует фтору, значит **A** –  $\text{LiF}$ . Тогда **C** –  $\text{HF}$ , **F** –  $\text{LiOH}$ .

Повторив аналогичный расчет через массовую долю, можно установить, что **D** –  $\text{LiCl}$ .  
Осталось установить только формулу неизвестного фторида **E**:

$$n(\text{фтора}) = n(\text{A}) = \frac{1.000}{25.94} = 0.03855 \text{ моль}$$

Вновь рассмотрим простейший случай одновалентного фторида, тогда молярная масса катиона равна:

$$M = \frac{1.426 \text{ г}}{0.03855 \text{ моль}} - 19 \frac{\text{г}}{\text{моль}} = 18 \text{ г/моль (0.25 балла)}$$

Такая молярная масса соответствует катиону аммония, тогда **E** –  $\text{NH}_4\text{F}$ .

**(A-F по 0.5 балла за каждое вещество, общий 3 балла)**



Другая малорастворимая соль **G**, также содержащая элемент **X**, может быть получена смешиванием растворов вещества **D** и вещества **H** (реакция 4). Соединение **H** состоит из 3 элементов, окрашивает пламя горелки в фиолетовый цвет и дает желтый осадок с нитратом серебра (реакция 5). Соль **G** образует кристаллогидрат, который при прокаливании при  $120^\circ\text{C}$  теряет 65.1% своей массы (реакция 6).

3. Установите формулы веществ **G**, **H**, а также упомянутого кристаллогидрата. Напишите уравнения реакций 4-6. (3.5 балла)

Окрашивают пламя горелки в фиолетовый цвет соли калия, а желтый осадок с нитратом серебра дают фосфаты и иодиды. Учитывая, что **H** содержит 3 элемента, можно сделать вывод, что **H** –  $\text{K}_3\text{PO}_4$ , а **G** –  $\text{Li}_3\text{PO}_4$ . (по 0.5 балла за вещество, общий 1 балл)

При прокаливании кристаллогидрат фосфата лития теряет воду. Это означает, что массовая доля кристаллизационной воды равна 65.1%. Обозначим формулу кристаллогидрата как  $\text{Li}_3\text{PO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , тогда:



$$\omega(H_2O) = \frac{18n}{18n+115.82} = 0.651$$

Откуда получается  $n = 12$ . **(0.5 балла)**

Формула кристаллогидрата –  $Li_3PO_4 \cdot 12H_2O$ . **(0.5 балла)**

$3LiCl + K_3PO_4 = Li_3PO_4 + 3KCl$  **(0.5 балла)**

$K_3PO_4 + 3AgNO_3 = Ag_3PO_4 + 3KNO_3$  **(0.5 балла)**

$Li_3PO_4 \cdot 12H_2O = Li_3PO_4 + 12H_2O$  **(0.5 балла)**

Низкая растворимость солей элемента X объясняется схожими размерами его катионов с катионами элемента Y, образующего множество нерастворимых солей.

4. Определите элемент Y. Как называется такой вид сходства? (1 балл)

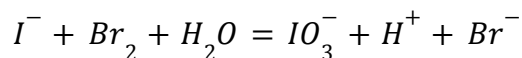
Размер катиона лития схож по размерам с катионом магния. **(0.5 балла)**

Такой вид сходства называется диагональным. **(0.5 балла)**

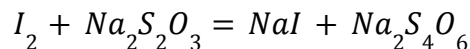
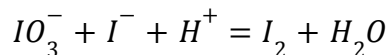
### Задача 5 (9 баллов)

Анализ водных проб является важным этапом в процессе водоподготовки. Количественный анализ содержания различных ионов в образце воды позволяет оценить качество воды и предотвращает от использования воды с опасным для здоровья содержанием ионов. Одним из важных для контроля содержания элементов является иод. В воде он представлен в виде двух основных форм: иодида и иодата. Общее содержание иода в воде варьируется от 0.005 до 1 мг/л, поэтому для точного определения данного элемента в воде необходимо брать большие пробы.

В аналитическую лабораторию привезли образец морской воды. Отобрав пробу объемом 0.80 л, лаборант путем выпаривания и нескольких экстракций получил из нее сухой остаток, содержащий все растворенные в пробе неорганические соединения. Далее лаборант аккуратно растворил полученный сухой остаток в 5 мл дистиллированной воды, добавил в него необходимое количество серной кислоты, а в полученный подкисленный раствор добавил необходимое количество бромной воды. После нагревания и охлаждения полученного раствора все формы иода (иодид и иодат) перешли в молекулярный иод, на титрование которого лаборанту потребовалось 9.85 мл 0.0001 М раствора тиосульфата натрия  $Na_2S_2O_3$ . Суммарно весь ход анализа можно описать с помощью следующих реакций:

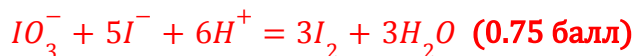
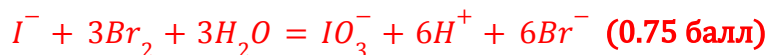


Областной этап республиканской олимпиады по химии 2021  
Комплект заданий I-тура для 9 класса



1. Расставьте коэффициенты в уравнениях реакций, описывающих ход анализа.

(2 балла)



2. Рассчитайте общую концентрацию иода (как элемента) в анализируемой воде в мг/л.

(1.5 балла)

$$n(I) = 2 \cdot n(I_2) = 2 \cdot \frac{1}{2} n(Na_2S_2O_3) = 9.85 \cdot 0.0001 = 9.85 \cdot 10^{-4} \text{ ммоль (0.5 балла)}$$

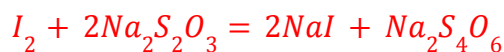
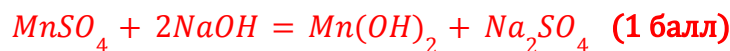
$$m(I) = 9.85 \cdot 10^{-4} \cdot 127 = 0.125 \text{ мг (0.5 балла)}$$

$$c(I) = \frac{m}{V} = \frac{0.125}{0.8} = 0.156 \text{ мг/л (0.5 балла)}$$

Соотношение количества иодата к количеству иодида в морской воде напрямую зависит от концентрации растворенного в ней кислорода. Концентрацию растворенного кислорода можно определить с помощью титрования по Винклеру:

К пробе морской воды объемом 250 мл добавляют необходимый объем сульфата марганца (II) и небольшое количество гидроксида натрия. Полученный гидроксид марганца связывается с растворенным в пробе кислородом, при этом выпадает осадок оксида марганца (IV). К полученному в растворе осадку добавляют определенное количество серной кислоты и иодида калия, при этом через некоторое время после растворения осадка выделяется иод, который титруют 0.01 М раствором тиосульфата натрия. На титрование ушло 7.65 мл раствора тиосульфата.

3. Запишите уравнения описанных реакций. (4 балла)



4. Рассчитайте концентрацию растворенного кислорода в пробе воды в мг/л.

(1.5 балла)

$$n(O_2) = \frac{1}{4} n(Na_2S_2O_3) = \frac{1}{4} \cdot 0.01 \cdot 7.65 = 0.019125 \text{ ммоль (0.5 балла)}$$

$$m(O_2) = 0.019125 \cdot 32 = 0.612 \text{ мг (0.5 балла)}$$

$$c(O_2) = \frac{0.612 \text{ мг}}{0.25 \text{ л}} = 2.448 \text{ мг/л (0.5 балла)}$$

### Задача 6 (11 баллов)

Скорость большинства химических реакций зависит от температуры. Чаще всего эта зависимость прямая: чем выше температура, тем быстрее протекает реакция. Объяснить это можно с точки зрения теории активных столкновений: с повышением температуры повышается скорость и энергия сталкивающихся частиц, тем самым увеличивается вероятность того, что при столкновении произойдет химическое превращение.

Самую первую зависимость скорости реакции от температуры открыл нидерландский химик Якоб Хендрик Вант-Гофф, который, к слову, был самым первым лауреатом Нобелевской премии по химии в 1901 году. Эта зависимость носит название «Правила Вант-Гоффа» и имеет следующий вид:

$$\frac{r(T_2)}{r(T_1)} = \gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}}$$

Иными словами, при повышении температуры на 10°C, скорость химической реакции увеличится в  $\gamma$  раз.  $\gamma$  – температурный коэффициент скорости. Как правило, значение  $\gamma$  находится в диапазоне от 2 до 4. Важно заметить, что данное правило носит эмпирический характер, т.е. оно было получено в ходе анализа экспериментальных данных.

1. Скорость реакции между этиловым спиртом и уксусным ангидридом при 29°C равна  $1.7 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Найдите скорость этой реакции при 39°C если температурный коэффициент равен 2. (1.5 балла)

Заметим, что температура повышается ровно на 10°C, а значит, скорость реакции увеличится ровно в 2 раза. Таким образом, скорость при 39°C будет равна  $3.4 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . (1.5 балла)

2. При увеличении температуры на 4°C, скорость некоторой реакции увеличилась в 1.55 раз. Найдите температурный коэффициент. (1.5 балла)

Воспользуемся правилом Вант-Гоффа.

$$1.55 = \gamma^{0.4}$$

Возведем обе части уравнения в пятую степень, а затем извлечем квадратный корень. Тогда:

$$\gamma = \sqrt{1.55^5} = 2.99 \approx 3$$

1.5 балла за значение температурного коэффициента с расчетом. 0 баллов за ответ без расчета.

3. Скорость некоторой реакции  $A + 2B \rightarrow$  продукты имеет второй порядок по веществу  $B$ . При увеличении концентрации  $B$  в два раза и повышении температуры на  $7^\circ\text{C}$ , время протекания реакции сократилось с 480 минут до 60 минут. Найдите температурный коэффициент. Вы можете считать, что изначально вещество  $B$  было в избытке. (3 балла)

В первую очередь необходимо заметить, что время протекания реакции обратно пропорционально скорости реакции.

$$r = \frac{\Delta C}{\Delta T}$$

Таким образом, поскольку вещество  $B$  было в избытке, количество вещества, которое прореагирует не изменится, оно только прореагирует быстрее. Тогда мы можем записать правило Вант-Гоффа в следующей форме:

$$\frac{t(T_1)}{t(T_2)} = \gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}}$$

Время реакции сократилось в 8 раз. Однако, учитывая то, что скорость реакции имеет второй порядок по  $B$  и концентрация вещества  $B$  увеличилась в два раза, время реакции сократилось в 4 раза за счет изменения концентрации и лишь в два раза за счет изменения температуры (1.5 балла за использование этой идеи)

Таким образом:

$$2 = \gamma^{0.7}$$

Или  $\gamma \approx 2.7$  (1.5 балла за значение температурного коэффициента с расчетом). 0 баллов если указан только ответ.

В силу эмпирического характера «Правила Вант-Гоффа» его можно применять к физическим процессам, состоящим из множества различных химических реакций. Например, известно, что тигровые креветки могут храниться в морозильнике при  $-20^\circ\text{C}$  в течение месяца.

4. Как долго могут пролежать креветки в холодильнике при температуре 10°C прежде чем они испортятся, если температурный коэффициент равен 2.2? А если положить их в нулевую зону (с температурой 0°C)? (2 балла)

Снова необходимо заметить обратную пропорциональность времени хранения и скорости процессов, которые происходят при порче продуктов питания.

$$\frac{t(T_1)}{t(T_2)} = \gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}}$$

Тогда

$$t(10^\circ\text{C}) = \frac{t(-20^\circ\text{C})}{2.2^3} = \frac{30 \text{ дней}}{10.65} = 2.8 \approx 3 \text{ дня}$$

$$t(0^\circ\text{C}) = \frac{t(-20^\circ\text{C})}{2.2^2} = \frac{30 \text{ дней}}{4.84} = 6.19 \approx 6 \text{ дней}$$

По 1 баллу за срок хранения при 10°C и 0°C. 0 баллов если указан ответ без вычислений.

Конечно, хоть правило Вант-Гоффа и может хорошо описывать экспериментальные данные и давать довольно точные предсказания, оно не несет под собой теоретического обоснования, а поэтому мы не можем остановиться на нем. Другой лауреат Нобелевской премии по химии, шведский ученый Сванте Август Аррениус в 1889 году предложил концепцию энергии активации – энергии, которой необходимо обладать реагентам, чтобы превратиться в продукты. Если обозначить эту энергию как  $E_a$ , то из формул статистической механики следует, что доля молекул, обладающих энергией  $E_a$  или выше при температуре  $T$  пропорциональна:

$$\frac{N(E \geq E_a)}{N} = e^{-\frac{E_a}{RT}}$$

Таким образом, константа скорости любой реакции имеет следующий вид:

$$k = A \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}}$$

Где  $A$  – константа пропорциональности, также известная как преэкспоненциальный или частотный фактор, а  $T$  – температура в кельвинах. Примечание:  $T(K) = T(^\circ\text{C}) + 273$

5. Найдите температурный коэффициент Вант-Гоффа для реакции с энергией активации в 60 кДж/моль при температурах вблизи комнатной (25°C). (3 балла)

По определению, температурный коэффициент показывает во сколько раз увеличивается скорость реакции при увеличении температуры на 10°C. В данном



Областной этап республиканской олимпиады по химии 2021  
Комплект заданий I-тура для 9 класса

задании, учащийся мог взять температурный диапазон 15-25, 20-30 или 25-35°C (за использование любого из диапазонов, содержащих 25°C учащийся получает полный балл). Для примера возьмем диапазон 20-30°C.

$$\gamma = \frac{k(T_2)}{k(T_1)} = \frac{A \exp\left(-\frac{E_a}{RT_2}\right)}{A \exp\left(-\frac{E_a}{RT_1}\right)} = \exp\left(\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)\right) = \exp\left(\frac{60000}{8.314} \left(\frac{1}{293} - \frac{1}{303}\right)\right) = 2.25$$

Если учащийся использовал диапазон 15-25, он должен был получить значение 2.32.  
Если учащийся использовал диапазон 25-35, он должен был получить значение 2.20.

Таким образом, учащийся получает 3 балла за значение в диапазоне [2.20; 2.32] при наличии расчетов. 0 баллов за верное значение без расчетов.