

# **Республиканская олимпиада по химии 2021**

## **Районный этап Решение**

11 класс

**Районный этап республиканской олимпиады по химии 2021**  
**Комплект заданий для 11 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 -

РАСТВОРИМОСТЬ НЕКОТОРЫХ ВЕЩЕСТВ В ВОДЕ (при t=25°C) И ИХ МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ИЛИ ФОРМУЛЬНЫЕ МАССЫ																																	
АНИОНЫ	КАТИОНЫ	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>					
ОН <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																																	
РАДИКАЛЫ	ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ГРУППЫ									РАСТВОРИМОСТЬ										РАСТВОРИМОСТЬ													
		-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
Х	0,63	0,69	0,72	0,80	0,82	0,86	0,86	1,08	1,22	1,28	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	
Е <sub>с</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
Х - ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ ЭЛЕКТРООТРИЦАТЕЛЬНОСТИ																																	
ПО А.С.ПОВАРЕННЫХ (ДЛЯ УГЛЕРОДА Х=2,5)																																	
Е <sub>с</sub> - СРОДСТВО К ЭЛЕКТРОНУ, в кДж/МОЛЬ																																	
Составитель - Г.П. Лапаев; © Составление, дизайн - Г.П. Лапаев, 1997 Компьютерный набор - Р.Р. Фейзулин																																	
129041, Москва, Проспект мира, д.68 ООО "Каллиграф", 2002 Подп. в печать 02.09.2002. Печать офс. Зак. 542 Тип. "Р-Мастер". Изд. 2", испр. и доп.																																	



### Задача 1 (5 баллов)

При сжигании  $\text{H}_2\text{S}$  объемом 33,6 л (н.у.) образуется сернистый газ, который пропустили через 1,5 л раствора  $\text{NaOH}$  с массовой долей 7,34 % ( $\rho = 1,09 \text{ г/мл}$ ).

1. Определите количество вещества  $\text{H}_2\text{S}$  (1 балл)

$$n(\text{H}_2\text{S}) = 33,6 / 22,4 = 1,5 \text{ моль} \quad (1 \text{ балл})$$

2. Вычислите количество вещества  $\text{NaOH}$  (1 балл)

$$m(\text{NaOH}) = 1500 \text{ мл} \cdot 1,09 \text{ г/мл} = 1635 \text{ г} \quad (0,25 \text{ балла})$$

$$m(\text{NaOH}) = 1635 \cdot 0,0734 = 120 \text{ г} \quad (0,25 \text{ балла})$$

$$n(\text{NaOH}) = 120 / 40 = 3 \text{ моль} \quad (0,5 \text{ балла})$$

3. Найдите массовую долю полученной соли в растворе. (3 балла)



$$n(\text{SO}_2) = n(\text{H}_2\text{S}) = 1,5 \text{ моль}$$

$$m(\text{SO}_2) = 1,5 \cdot 64 = 96 \text{ г} \quad (0,25 \text{ балла})$$

$$\text{соотношение } n(\text{NaOH}) : n(\text{SO}_2) = 2:1, \text{ отсюда}$$



$$\begin{array}{ccc} 1,5 \text{ моль} & 3 \text{ моль} & +1,5 \text{ моль} \\ -1,5 \text{ моль} & -3 \text{ моль} & \end{array}$$

$$n(\text{Na}_2\text{SO}_3) = n(\text{SO}_2) = 1,5 \text{ моль}$$

$$m(\text{Na}_2\text{SO}_3) = 1,5 \cdot 126 = 189 \text{ г} \quad (0,25 \text{ балла})$$

$$\text{Общая масса раствора: } m(\text{р-ра}) = m(\text{SO}_2) + m(\text{NaOH})_{\text{р-ра}} = 96 + 1635 = 1731 \text{ г} \quad (0,5 \text{ балла})$$

$$w(\text{Na}_2\text{SO}_3) = 189 / 1731 \cdot 100 = 10,92 \% \quad (1 \text{ балл})$$

### Задача 2 (7 баллов)

Макзины-новый вид двумерных материалов используемых в батареях и суперкапациаторах. Первый из макзинов ( $\text{Ti}_3\text{C}_2$ ) был найден в Дрексельском университете профессором Юрием Гоготцием и его коллегами. Препаратором этого соединения является соединение  $\text{Ti}_3\text{AlC}_2$ . Сами же макзины получают путем удаления  $\text{Al}$  из прекурсора с помощью плавиковой кислоты при комнатной температуре, так же в ходе реакции выделяется водород.

- 1) Предложите метод синтеза  $\text{Ti}_3\text{AlC}_2$  из элементарных компонентов (2 балла)

Элементарные составляющие  $\text{Ti}_3\text{AlC}_2$  это  $\text{Ti}$ ,  $\text{Al}$  и  $\text{C}$ .



- 2) Напишите реакцию получения макзинов (2 балла)

Макзин это  $Ti_3C_2$ . Для получения его из  $Ti_3AlC_2$ , нужно удалить из него Al путем реакции с HF. Так же мы знаем что выделяется водород.

Мы имеем реагенты:  $Ti_3AlC_2$  и HF

Продукты:  $Ti_3C_2$ ,  $H_2$  и третий надо найти. Так как выходит алюминий, и остается фтор мы можем предположить что третий продукт это  $AlF_3$ .



**(1,5 балла за реакцию, 0,5 балла за баланс)**

- 3) Найдите сколько потребуется прекурсора и раствора плавиковой кислоты с концентрацией 30% для получения 150 г макзина (3 балла)

$$M_r(Ti_3C_2) = 48 \cdot 3 + 12 \cdot 2 = 168 \text{ г/моль}$$

$$n(Ti_3C_2) = 150 / 168 = 0,89 \text{ моль } \textbf{(0,5 балла)}$$

$$n(Ti_3C_2) = n(Ti_3AlC_2)$$

$$M_r(Ti_3AlC_2) = 195 \text{ г/моль}$$

$$m(Ti_3AlC_2) = 0,89 \text{ моль} \cdot 195 \text{ г/моль} = 173,55 \text{ г } \textbf{(0,75 балла)}$$

$$n(HF) = 0,89 \cdot 3 = 2,67 \text{ моль (по балансу) } \textbf{(0,5 балла)}$$

$$\text{Масса чистой плавиковой кислоты} = 2,67 \text{ моль} \cdot 20 \text{ г/моль} = 53,4 \text{ г } \textbf{(0,5 балла)}$$

$$\text{Масса раствора плавиковой кислоты} = 53,4 / 0,3 = 178 \text{ г } \textbf{(0,75 балла)}$$

### Задача 3 (12 баллов)

Пока вы ребенок, для вас Зима – магическая пора чудес, снежных замков и ворчливых снеговиков. Как только вы начинаете стареть и заботиться о своих житейских делах, вам начинает надоедать снег на тротуаре из-за которого вы идете как пингвин (что довольно медленно) или снег на дорогах, из-за которых вашу машину водит из стороны в сторону. Кто-то скажет это неотъемлемая часть зимы, а кто-то воспользуется нашими знаниями о коллигативных свойствах растворов и будет посыпать дороги солью, дабы снег растаял.

Для начала, нам нужно познакомиться с необычной метрикой измерения концентрации: моляльностью.

$$m = \text{моляльность} = \frac{\nu_{\text{растворенного в-ва}}}{m_{\text{кг растворителя}}}$$

1. Посчитайте моляльность 10% (по массе) раствора NaCl в воде (2 балла)

Положим массу раствора как  $m$  (в граммах). Тогда, масса NaCl  $0,1m$  и масса воды  $0,9m$ .

$$\text{Масса растворителя в килограммах} = \frac{0,9m}{1000}. \text{ Кол-во моль NaCl найти легко: } \frac{0,1m}{58,5}$$

В итоге, моляльность:

$$\frac{\frac{0.1m}{58.5}}{\frac{0.9m}{1000}} = \frac{0.1 * 1000}{58.5 * 0.9} = 1.90 \frac{\text{моль}}{\text{кг}}$$

2 балла за ответ с выводом. 0 баллов за ответ без вывода. 0.5 балла если при выводе ученик выбирает конкретную массу раствора (например, 100 г).

2. Одна из наиболее распространенных метрик концентрации – молярность. Выведите формулу для конвертации молярной концентрации ( $c$ ) в моляльность ( $m$ ), если вам известна плотность раствора ( $\rho$  в кг/л) и молярная масса растворенного вещества ( $M_2$  в  $\frac{\text{г}}{\text{моль}}$ ). (3 балла)

В первую очередь, найдем количество моль растворенного вещества. Для этого нам нужно знать объем раствора. Положим его как  $V$ . Тогда

$$\nu_{\text{растворенное в-во}} = c \cdot V$$

Мы так-же можем найти массу раствора (в кг):

$$m_{\text{р-ра}} = \rho V$$

Масса растворителя – масса раствора минус масса растворенного вещества.

$$m_{\text{растворенное в-во}} = c \cdot V \cdot \frac{M_2}{1000}$$

Мы делим на 1000, чтобы перевести массу в килограммы.

В итоге:

$$m_{\text{растворителя}} = \rho V - \frac{cVM_2}{1000}$$
$$m = \frac{cV}{\rho V - \frac{cVM_2}{1000}} = \frac{1000c}{1000\rho - cM_2}$$

3 балла за формулу с выводом. 0 баллов без вывода. 1,5 балла если при выводе ученик использовал конкретный объем раствора (например, 1л)

Феномен понижения температуры замерзания наблюдается при растворении нелетучего вещества в растворителе, в результате чего понижается давление насыщенного пара, а вместе с ним и понижается температура равновесия твердое-жидкость. Именно благодаря этому феномену соленая вода замерзает при более

низкой температуре, по сравнению с чистой водой. Математически, это можно выразить:

$$-\Delta T = K_f \cdot m \cdot i$$

Где  $K_f$  – криоскопическая константа, характерная для растворителя,  $m$  – моляльность,  $i$  – изотонический фактор, равный количеству молекул растворенного в-ва, образующихся при растворении. Например,  $i$  для  $NaCl$  равен двум, а для  $CaCl_2$  равен трем.

3. Если в 1000 кг воды растворить мешок поваренной соли (25 кг), при какой температуре будет замерзать раствор? Криоскопическая константа воды равна 1.86 К/(кг моль) (3 балла)

Найдем моляльность:

$$m = \frac{\frac{25000}{58.5}}{1000} = 0.427 \frac{\text{моль}}{\text{кг}}$$

Найдем понижение температуры замерзания:

$$-\Delta T = 1.86 \cdot 0.427 \cdot 2 = 1.59$$

$$T_1 - T_2 = 1.59$$

$$T_2 = -1.59$$

3 балла за ответ с выводом. 1 балл если в качестве ответа дано значение  $-\Delta T$ . 0 балл за ответ без вывода.

4. В этом задании предлагаем вам определить наиболее и наименее экономически выгодное вещество, для понижения температуры замерзания воды. На выбор: сахар  $C_{12}H_{22}O_{11}$ , поваренная соль и пищевая сода. Известно, что 25 кг сахара стоят 10000 тенге, соль стоит 40 тг/кг, а сода 350 тг/кг. (4 балла)

Положим  $x$  как массу воды (в кг, в целях сравнения) и  $y$  как массу вещества (в кг), которое мы будем растворять. В таком случае, моляльность раствора:

$$m = \frac{1000 \frac{y}{M}}{x} = \frac{1000y}{Mx}$$

Тогда, понижение температуры замерзания в условных единицах будет равно:

$$-\frac{\Delta T}{K_f} = m \cdot i = \frac{1000y}{Mx} i$$

Если взять удельную стоимость (тг/кг) растворенного вещества как  $z$ , то понижение температуры замерзания за один тенге будет равно:

$$-\frac{\Delta T}{K_f} = \frac{1000y}{Mx \cdot yz} i = \frac{1000}{Mxz} i$$

Поскольку масса воды во всех случаях будет одинаковой, мы можем преобразовать выражение, оставив все переменные в правой части уравнения:

$$-\frac{\Delta T x}{K_f 1000} = \frac{i}{Mz}$$

В итоге, чтобы сравнить три вещества, нам нужно найти отношение трех величин. Составим таблицу:

Вещество	$i$	$M$	$Z$	$\frac{i}{Mz}$
$C_{12}H_{22}O_{11}$	1	342.3	400	$7.3 \cdot 10^{-6}$
$NaCl$	2	58.5	40	$8.5 \cdot 10^{-4}$
$Na_2CO_3$	3	106	350	$8.1 \cdot 10^{-5}$

В итоге, наиболее экономически выгодно использовать соль, а наименее – сахар. 4 балла за финальный ответ с обоснованием. 0 баллов если для сравнения используется только цена.

#### Задача 4 (11 баллов)

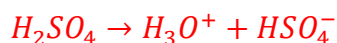
В повседневной жизни вы сталкиваетесь с разными характеристиками жидкостей: объем, масса, температура, цвет и иногда вкус. Как только вы начинаете изучать химию, вы открываете новый параметр: pH раствора. Возможно, он кажется вам абстрактным и незнакомым, но он такой же естественный для любой жидкости, как и ее цвет или масса. Давайте потренируемся с поиском pH разных растворов.

Напоминаем:  $pH = -\log[H^+]$  или  $pH = -\log[H_3O^+]$

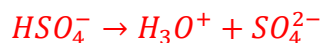
1. Запишите уравнения диссоциации серной кислоты по двум ступеням ( $H_2SO_4$ ) и найдите pH 0.05M раствора серной кислоты считая, что диссоциация по двум ступеням происходит полностью. (2 балла)



Или







По 0.5 балла за каждое уравнение. 0 баллов если указано равновесие ( $\rightleftharpoons$ ).

Поскольку диссоциация происходит полностью, можно сказать:

$$[H^+] = 2[H_2SO_4]_0 = 0.1M$$

Тогда:

$$pH = -\log(0.1) = 1$$

1 балл за финальное значение pH. Всего 2 балла за пункт.

Для поиска  $pH$  слабых кислот необходимо знать их значение  $K_a$ , которое имеет форму:

$$K_a = \frac{[H^+][A^-]}{[HA]}$$

Где  $[HA]$  концентрация непродиссоциированной кислоты, а  $[A^-]$  концентрация образующегося кислотного остатка.

2. На самом деле, вторая ступень диссоциации слабой кислоты протекает не полностью. Иными словами, серная кислота по второй ступени считается слабой. Найдите  $pH$  0.05M раствора уксусной кислоты, если  $K_a$  (2 ступень) =  $1.02 \cdot 10^{-2}$  (3 балла)

Поскольку первая ступень протекает полностью, мы можем сказать, что:

$$[HSO_4^-] = [H^+] = 0.05$$

Из уравнения диссоциации по второй ступени заметим, что в уравнении образуется равное количество  $[SO_4^{2-}]$  и  $[H^+]$ . Обозначим это кол-во за  $x$ . Так же, пользуясь законом о сохранении массы или материальным балансом:

$$[HSO_4^-]_0 = [SO_4^{2-}] + [HSO_4^-] = [SO_4^{2-}] + x = 0.05$$

Тогда можем записать выражение для  $K_a$

$$K_a = \frac{[SO_4^{2-}][H^+]}{[HSO_4^-]} = \frac{x(0.05 + x)}{0.05 - x}$$

В итоге, имеем квадратное уравнение:

$$1.02 \cdot 10^{-2} = \frac{x(0.05 + x)}{0.05 - x}$$

Решая это уравнение, получаем корни:  $-6.78 \cdot 10^{-2}$  и  $7.55 \cdot 10^{-3}$

В итоге,  $pH = -\log(0.05 + 7.55 \cdot 10^{-3}) = 1.24$

1 балл за использование материального баланса, 1 балл за составление квадратного уравнения, 1 балл за ответ. Всего 3 балла. 0 баллов если дан только ответ.

$pH$  раствора зависит от температуры. Более конкретно,  $K_a$  зависит от температуры, а поскольку  $pH$  зависит от  $K_a$ , то и  $pH$  зависит от температуры. Эта зависимость имеет следующий вид в дифференциальной форме:

$$\frac{d \ln(K(T))}{dT} = \frac{-Q}{RT^2} \quad (3)$$

Где  $Q$  – теплота процесса диссоциации (в Дж/моль),  $K_a(T)$  – значение  $K_a$  при температуре  $T$  (в кельвинах).  $R = 8.314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$ . Подсказка: для перевода температуры из цельсия в кельвины вы можете пользоваться следующей формулой  $T(K) = T(C) + 273$

3. Проинтегрируйте уравнение (3) в диапазоне температур от  $T_1$  до  $T_2$  (3 балла)

$$\begin{aligned} d(\ln(K(T))) &= \frac{-Q}{R} \frac{dT}{T^2} \\ \int_{K(T_1)}^{K(T_2)} d(\ln(K(T))) &= \frac{-Q}{R} \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T^2} \\ \ln(K(T_2)) - \ln(K(T_1)) &= \frac{-Q}{R} \left( \frac{-1}{T_2} - \frac{-1}{T_1} \right) \\ \ln \left( \frac{K(T_2)}{K(T_1)} \right) &= \frac{Q}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \end{aligned}$$

3 балла за выражение в интегральной форме с выводом. 0 баллов если нет вывода.

4. Найдите  $pH$  воды при  $25^\circ\text{C}$  и  $100^\circ\text{C}$  если  $K_w = 10^{-14}$  при  $25^\circ\text{C}$ . Примите теплоту автоионизации воды равной  $-45605$  Дж/моль. (3 балла) Подсказка:  $K_w = [H^+][OH^-]$

Найти  $pH$  воды при  $25^\circ\text{C}$  легко: поскольку  $[H^+] = [OH^-]$ , мы имеем

$$K_w = [H^+]^2$$

Или  $[H^+] = \sqrt{10^{-14}} = 10^{-7}$

$$pH = -\log(10^{-7}) = 7$$

2 балла за значение  $pH$  с выводом. 0 баллов за значение  $pH$  без вывода.

Теперь найдем  $K_w$  при  $100^\circ C$ :

$$\ln\left(\frac{x}{10^{-14}}\right) = \frac{-45606}{8.314} \cdot \left(\frac{1}{373} - \frac{1}{293}\right)$$

Решая уравнение, находим  $x = 5.54 \cdot 10^{-13}$ . Тогда

$$pH = 6.13$$

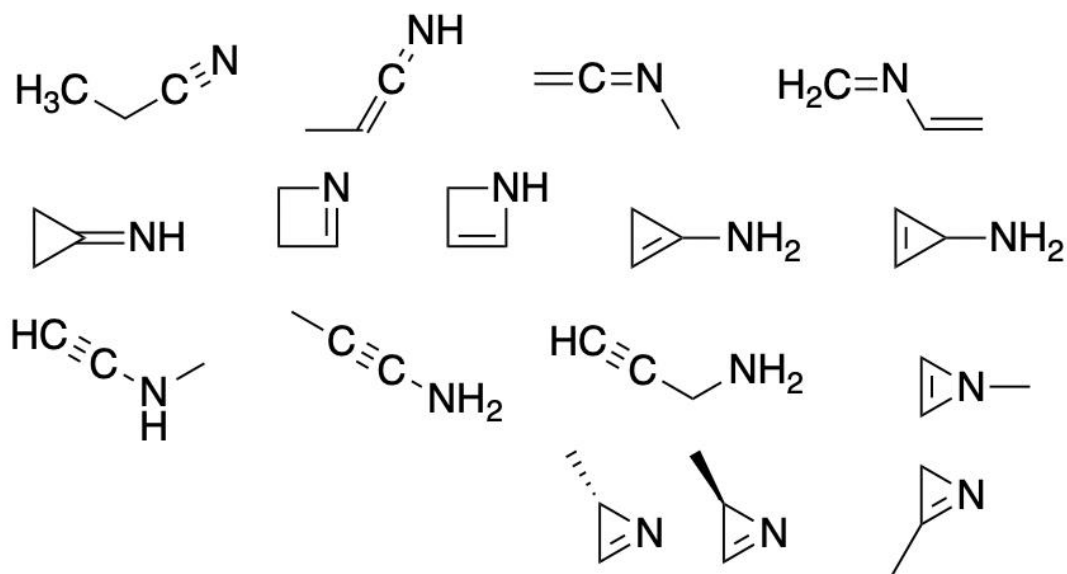
3 балла за значение  $pH$  с выводом. 0 баллов за значение  $pH$  без вывода.

### Задача 5 (10 баллов)

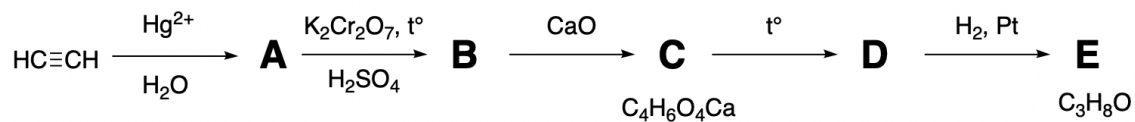
Органическая химия прекрасна своим разнообразием. Теоретически может существовать  $10^{63}$  различных стабильных органических соединений, содержащих 30 атомов углерода или меньше. Вы спросите – а это много? Да! Настолько, что во всей Вселенной не хватит атомов углерода, чтоб сделать хотя бы по одной копии каждой из молекул.

1. Нарисуйте все изомеры с молекулярной формулой  $C_3H_5N$  (5 баллов)

Если ученик нарисует 12 изомеров – полные 5 баллов. Если рисует 11 или меньше, кол-во баллов высчитывается по формуле:  $\frac{N}{11} * 4$ , где  $N$  – кол-во нарисованных структур



2. Расшифруйте следующую цепочку превращений и нарисуйте структуры соединений **A-E** (5 балла)



За каждую структуру по 1 баллу

