Константы

Число Авогадро, N_A	6.022×10^{23} моль$^{-1}$
Элементарный заряд, e	1.602×10^{-19} Кл
Универсальная газовая постоянная, R	8.314 Дж моль$^{-1}$ К$^{-1}$
Постоянная Фарадея, F	$96\,485$ Кл моль$^{-1}$
Постоянная Планка, h	6.626×10^{-34} Дж с
Температура в Кельвинах (К)	$T_{\text{К}} = T_{\circ\text{C}} + 273.15$
Ангстрем, Å	1×10^{-10} м
пико, п	1 пм $= 1 \times 10^{-12}$ м
нано, н	1 нм $= 1 \times 10^{-9}$ м
микро, мк	1 мкм $= 1 \times 10^{-6}$ м

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 -

Задача №1. Разминка

Автор: Каиров Н.

Всего	Вес(%)
10	13

1.1 (10 баллов)

По описанию цвета можно понять, что газ **В** — Cl_2 (1 балл). В таком случае также можно предположить, что кислота **Д** — HCl (1 балл), что подтверждается тем, что она газообразна. Из этого момента следует, что вещество **Б** содержит в себе водород.

Газ **Ж**, входящий в состав воздуха, может быть кислород O_2 или азот N_2. Так как второй продукт **З** ядовит и имеет такую же плотность, что и **Ж**, и так как в реагентах был углерод, можно утверждать, что **З** — CO (1 балл), а **Ж** — N_2 (1 балл). В таком случае становится ясно, что соединения **Б** и **Г** должны содержать азот, приводя к выводу, что газ **Б** с резким запахом — NH_3 (1 балл), а **Г** — нитрид металла.

Зная, что масса нитрида **Г** в обеих реакциях одинакова, можно сказать, что количества веществ **А** и **Е** равны. Учитывая, что степень окисления металла **X** равна в этих соединениях, можно составить следующее уравнение:

$$\frac{2.655\ \text{g}}{M(\mathbf{X}) + 35.45\ \text{g/mol} \cdot n} = \frac{1.118\ \text{g}}{M(\mathbf{X}) + 16\ \text{g/mol} \cdot (n/2)}$$

Развивая это уравнение, получаем:

$$M(\mathbf{X}) = 11.9454\ \text{g/mol} \cdot n$$

(3 балла за любое правильно составленное уравнение, использующее массы)

Подставляя $n = 4$, получаем $M(\mathbf{X}) = 11.9454 \cdot 4 = 47.7816$ g/mol, что соответствует **титану**. Округлённо можно записать как 47.78 g/mol.

В таком случае:

X = Ti (1 балл), **А** = $TiCl_4$ (1 балл), **Г** = TiN (1 балл), **Е** = TiO_2 (1 балл).

Наличие других степеней окисления и другие массы в реакции 1 могут подтвердить это. Реакции:

$$2\,TiCl_4 + 2\,NH_3 \longrightarrow 2\,TiN + 6\,HCl + Cl_2 \quad (1.5\ \text{балл})$$

$$2\,TiO_2 + 4\,C + N_2 \longrightarrow 2\,TiN + 4\,CO \quad (1.5\ \text{балл})$$

В сумме: 15 баллов.

За все неизвестные вещества — по 1 баллу (включая **А–З**, **X** — всего 9 баллов). За составленное уравнение и решение — 3 балла. За реакции — по 1.5 балла (в сумме 3 балла).

Задача №2. Электролиз Раствора

Автор: Каиров Н.

Всего	Вес(%)
10	14

2.1 (10 баллов)

1. Заряд и количество электронов (3 балла)

Время:

$$t = 268 \text{ ч} = 268 \cdot 3600 \text{ с} = 964800 \text{ с}.$$

Заряд:

$$Q = It = 10 \cdot 964800 = 9648000 \text{ Кл}.$$

Количество электронов:

$$n(e^-) = \frac{Q}{F} \approx \frac{9648000}{96485} \approx 100 \text{ моль}.$$

2. Стехиометрия электролиза воды (2 балла)

В щелочном растворе при электролизе фактически разлагается вода:

$$2H_2O \rightarrow 2H_2 + O_2.$$

Для разложения 2 моль воды требуется 4 моль электронов, то есть на 1 моль электронов разлагается 0.5 моль воды:

$$n(H_2O, \text{разлож}) = 0.5 \cdot n(e^-) = 0.5 \cdot 100 = 50 \text{ моль}.$$

Масса разложившейся воды:

$$m(H_2O, \text{разлож}) = 50 \cdot 18 = 900 \text{ г}.$$

3. Масса раствора до и после электролиза (2 балла)

Пусть начальная масса раствора m_0. В процессе электролиза из раствора уходит 900 г воды в виде газов(водород и кислород), масса NaOH при этом не меняется.

По условию после окончания электролиза:

$$m_{\text{кон}} = 100 \text{ г}.$$

Тогда:

$$m_0 - 900 = 100 \quad \Rightarrow \quad m_0 = 1000 \text{ г}.$$

4. Масса и доля NaOH (3 балла)

В конечном растворе (100 г, 24%-ный) масса NaOH:

$$m(NaOH) = 0.24 \cdot 100 = 24 \text{ г}.$$

Так как NaOH не расходуется в реакции, его масса в начале была такой же:

$$m_0(NaOH) = 24 \text{ г}.$$

Тогда первоначальная массовая доля:

$$w_0(NaOH) = \frac{24}{1000} = 0.024 = 2.4\%.$$

Ответ: первоначальная концентрация раствора ≈ 2,4% по массе. (итого 10 б)

Задача №3. Чувствительное вещество

Автор: Бекхожин Ж.

3.1	3.2	Всего	Вес(%)
8	2	10	14

3.1 (8 баллов)

Из образования фиолетовых паров, золотистого осадка с нитратом свинца, можно понять что **Б** - I_2 (**1** балл), **Г** - PbI_2 (**0.5** балла). Тогда **В** - йодид катиона. Используя массовую долю йода, перебор всех возможных масс катионов в **В** дает 18.04, 36.09, 54.14, 72.18, 90.23, 108.27, 126.32, 144.36 г моль$^{-1}$. Лишь первое значение соответствует катиону аммония, остальные массы не могут быть стабильными катионами образующимися из бинарных газов. **В** - NH_4I (**2** балла), **А** - NH_3 (**1** балл). Так как йод восстановился до йодида, аммиак окислился до бинарного **Д**, которое тоже содержит йод из задачи, при этом раз водороды перешли в **В**, **Д** содержит лишь азот и водород, тогда **Д** - NI_3 (**2.5** балла). Из массовой доли йода, предполагая одну молекулу NI_3 так как аммиак теряется в процессе, получаем молярные массы **Е** и **Ж** без **Д**, составляющие 85.2 и 17.03 г моль$^{-1}$, соответствующие 5 и 1 молекулам аммиака для **Е** и **Ж**. **Е** - $NI_3 * 5NH_3$, **Ж** - $NI_3 * NH_3$, **0.5** балла за каждое вещество.

3.2 (2 балла)

$$4NH_3 + 3I_2 -> 3NH_4I + NI_3$$ (**0.5** балла)

Газ, образующийся при разложении $NI_3 * NH_3$, является азотом в виду его бесцветности и отсутствии запаха. Из массы, получаем что разложилось 0.01214 моль $NI_3 * NH_3$, выделив (разделив объем азота на молярный объем) 0.00759 моль азота. Целое отношение количеств получается если 8 молекул $NI_3 * NH_3$ выделило 5 молекул азота, тогда уравнение:

$$8NI_3 * NH_3 -> 5N_2 + 6NH_4I + 9I_2$$ (**1.5** балла)

Задача №4. Анализ раствора AquaLab-10

Автор: Сарсенбай А.

4.1	4.2	4.3	4.4	Всего	Вес(%)
2	2	3	3	10	16

4.1 (2 балла)

Осадок CaF_2 не образуется, если произведение ионных концентраций не превышает константу растворимости:

$$K_{sp} = [Ca^{2+}][F^-]^2.$$

Найдём максимальную концентрацию $[F^-]_{max}$:

$$[F^-]_{max} = \sqrt{\frac{K_{sp}}{[Ca^{2+}]}} = \sqrt{\frac{3.5 \cdot 10^{-11}}{0.010}} = \sqrt{3.5 \cdot 10^{-9}} \approx 5.92 \cdot 10^{-5}\ \text{M}.$$

(2 балла)

4.2 (2 балла)

Сначала найдём количество молей HCl и NaOH:

$$n(\text{HCl}) = 0.050\ \text{л} \cdot 0.020\ \text{М} = 1.0 \cdot 10^{-3}\ \text{моль},$$

$$n(\text{NaOH}) = 0.025\ \text{л} \cdot 0.040\ \text{М} = 1.0 \cdot 10^{-3}\ \text{моль}.$$

Так как количество HCl и NaOH одинаково, они полностью нейтрализуют друг друга:

$$n(\text{H}^+) - n(\text{OH}^-) = 0.$$

Значит, в смеси остаётся нейтральный раствор, и

$$\text{pH} = 7.00.$$

(2 балла)

4.3 (3 балла)

Реакции на электродах:

$$\text{Анод (окисление): } \text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-, \quad \text{Катод (восстановление): } \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}.$$

ЭДС элемента:

$$E_{\text{cell}} = E^\circ_{\text{катод}} - E^\circ_{\text{анод}} = 0.34 - (-0.76) = 1.10\ \text{В}.$$

Полярности: Zn — анод (отдаёт электроны), Cu — катод (принимает электроны). **(3 балла)**

4.4 (3 балла)

На катоде происходит реакция:

$$\text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Mg}.$$

Количество электричества:

$$Q = I \cdot t = 10\ \text{А} \cdot 30\ \text{мин} \cdot 60\ \text{с/мин} = 10 \cdot 1800 = 18000\ \text{С}.$$

По закону Фарадея:

$$n(\text{Mg}) = \frac{Q}{2F} = \frac{18000}{2 \cdot 96485} = 0.0932\ \text{моль}.$$

Масса магния:

$$m(\text{Mg}) = n \cdot M = 0.0932 \cdot 24.305 \approx 2.26\ \text{г}.$$

(3 балла)

Задача №5. Коллигативные эффекты

5.1	5.2	Всего	Вес(%)
8	5	13	13

5.1 (13 балла)

2.1

Определение вещества A по массовой доле хлора.

Массовая доля хлора:

$$w(\mathrm{Cl}) = \frac{M_{\mathrm{Cl}}}{M_{\text{соли}}} \cdot 100\% = 60.65\%.$$

Молярная масса Cl: $M_{\mathrm{Cl}} = 35.45$ г/моль.

$$M_r = \frac{35.45}{0.6065} \approx 58.45 \text{ г/моль}.$$

$$58.45 - 35.45 = 23 \text{ г/моль } (Na).$$

Вещество A — NaCl.

Вычисление понижения температуры замерзания.

Количество молей вещества A:

$$n = \frac{m}{M} = \frac{2.12 \text{ г}}{58.45 \text{ г/моль}} \approx 0.0363 \text{ моль}.$$

Моляльность раствора:

$$m = \frac{n}{M_{\text{растворителя}}} = \frac{0.0363}{2 \text{ кг}} \approx 0.01815 \text{ моль/кг}.$$

Коэффициент Вант-Гоффа для NaCl: $i = 2$.

Понижение температуры замерзания:

$$\Delta T_f = i \cdot K_f \cdot m = 2 \cdot 1.86 \cdot 0.01815 \approx 0.0675 \text{ °C}.$$

Ответ: вещество A — NaCl (3 б), $\Delta T_f \approx 0.0675$ °C (5 б).

2.2

Масса сахарозы $m_{\text{сахароза}} = 229.33$ г, масса растворителя $M_{\text{вода}} = 2.5$ кг, повышение температуры кипения $\Delta T_b = 0.137$ °C.

Вычисление количества молей сахарозы.

Молярная масса сахарозы: $M_{\text{сахароза}} \approx 342$ г/моль.

$$n = \frac{m_{\text{сахароза}}}{M_{\text{сахароза}}} = \frac{229.33 \text{ г}}{342.3 \text{ г/моль}} \approx 0.67 \text{ моль}.$$

Моляльность раствора.

$$m = \frac{n}{M_{\text{растворителя}}} = \frac{0.67 \text{ моль}}{2.5 \text{ кг}} \approx 0.268 \text{ моль/кг}.$$

Вычисление константы эбуллиоскопии воды.

Формула повышения температуры кипения:

$$\Delta T_b = i \cdot K_b \cdot m.$$

Для сахарозы $i = 1$ (неэлектролит), следовательно:

$$K_b = \frac{\Delta T_b}{i \cdot m} = \frac{0.137}{1 \cdot 0.268} \approx 0.511\ ^\circ\text{С·кг/моль}.$$

Ответ: моляльность раствора $m \approx 0.268$ моль/кг (2 б); константа эбуллиоскопии воды $K_b \approx 0.511\ ^\circ$С·кг/моль (3 б).