

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**  
**Государственное Образовательное Учреждение**  
**Высшего Профессионального Образования**  
**«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ»**  
**МИИТ**

Одобрено кафедрой  
«Физика и химия»

# **ХИМИЯ**

## **УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ**

Задания на контрольную работу №1  
с методическими указаниями для студентов 1 курса направлений:  
*271501.65 «Строительство железных дорог, мостов, транспортных тоннелей»,*  
*190901.65 «Наземные транспортно-технологические средства»,*  
*190901.65 «Системы обеспечения движения поездов»*  
*190300.65 «Подвижной состав железных дорог»,*  
*190401.65 «Эксплуатация железных дорог»,*

*(для всех специализаций)*

Составители: ст. преп. М.А. Журавлева  
к.х.н. проф. Н.В.Заглядинова  
к.х.н. доц. А.А. Махнин  
к.х.н. доц. В.В. Ефанова

## **ЗАДАНИЕ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

В процессе изучения курса химии студент должен выполнить одну контрольную работу. Решение задач и ответы на теоретические вопросы должны быть коротко, но четко обоснованы. При решении задач нужно приводить весь ход решения и математические преобразования.

Контрольная работа должна быть аккуратно оформлена, написана четко и ясно и иметь поля для замечаний рецензента.

Номера и условия задач необходимо переписывать в том порядке, в каком они указаны в задании.

В начале работы следует указать учебный шифр студента, номер варианта и полный список номеров задач этого варианта. В конце работы следует дать список использованной литературы с указанием года издания.

Работа должна иметь подпись студента и дату.

Если контрольная работа **не зачтена**, ее следует выполнить повторно в соответствии с указаниями рецензента и представить вместе с незачтенной работой. Исправления следует выполнять в конце работы, после рецензии, а не в тексте.

Контрольная работа, выполненная не по своему варианту, преподавателем не рецензируется и не засчитывается как сданная.

Каждый студент выполняет **вариант контрольных заданий, обозначенный двумя последними цифрами номера студенческого билета (1101-Д-1594, две последние цифры 94, им соответствует вариант контрольного задания 94)**

### Варианты контрольного задания

Номер варианта	Номера задач, относящиеся к данному варианту										
<i>01 35 69</i>	1	31	61	76	91	111	126	145	165	185	205
<i>02 36 70</i>	2	32	62	77	92	112	127	146	166	186	206
<i>03 37 71</i>	3	33	63	78	93	113	128	147	167	187	207
<i>04 38 72</i>	4	34	64	79	94	114	129	148	168	188	208
<i>05 39 73</i>	5	35	65	80	95	115	130	149	169	189	209
<i>06 40 74</i>	6	36	66	81	96	116	131	150	170	190	210
<i>07 41 75</i>	7	37	67	82	97	117	132	151	171	191	211
<i>08 42 76</i>	8	38	68	83	98	118	133	152	172	192	212
<i>09 43 77</i>	9	39	69	84	99	119	134	153	173	193	213
<i>10 44 78</i>	10	40	70	85	100	120	135	154	174	194	214
<i>11 45 79</i>	11	41	71	86	101	121	136	155	175	195	215
<i>12 46 80</i>	12	42	72	87	102	122	137	156	176	196	216
<i>13 47 81</i>	13	43	73	88	103	123	138	157	177	197	217
<i>14 48 82</i>	14	44	74	89	104	125	139	158	178	198	218
<i>15 49 83</i>	15	45	75	90	105	111	140	159	179	199	219
<i>16 50 84</i>	16	46	61	76	106	112	141	160	180	200	205
<i>17 51 85</i>	17	47	62	77	107	113	142	161	181	201	206
<i>18 52 86</i>	18	48	63	78	108	114	143	162	182	202	207
<i>19 53 87</i>	19	49	64	79	109	115	144	163	183	203	208
<i>20 54 88</i>	20	50	65	80	110	116	126	164	184	204	209
<i>21 55 89</i>	21	51	66	81	91	117	127	158	165	185	210
<i>22 56 90</i>	22	52	67	82	92	118	128	159	166	186	211
<i>23 57 91</i>	23	53	68	83	93	119	129	160	167	187	212
<i>24 58 92</i>	24	54	69	84	94	120	130	161	168	188	213
<i>25 59 93</i>	25	55	70	85	95	121	131	162	169	189	214
<i>26 60 94</i>	26	56	71	86	96	122	132	163	170	190	215
<i>27 61 95</i>	27	57	72	87	97	123	133	164	171	191	216
<i>28 62 96</i>	28	58	73	88	98	124	134	145	172	192	217
<i>29 63 97</i>	29	59	74	89	99	125	135	146	173	193	218
<i>30 64 98</i>	30	60	75	90	100	121	136	147	174	194	219
<i>31 65 99</i>	1	51	61	89	101	120	137	148	175	195	205
<i>32 66 00</i>	2	52	62	88	102	119	138	149	176	196	206
<i>33 67</i>	3	53	64	87	103	118	139	150	177	197	207
<i>34 68</i>	4	41	66	86	104	117	140	151	178	198	208

## СТРОЕНИЕ АТОМА. ХИМИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ И СТРОЕНИЕ МОЛЕКУЛ.

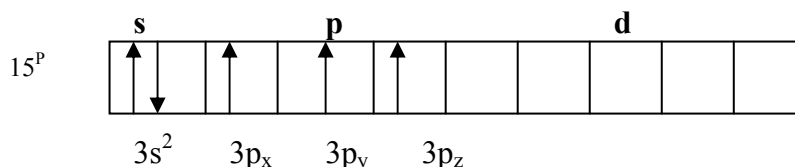
**Пример 1.** Описать свойства атома индия и его положение в периодической системе элементов.

**Решение.** Так как  $Z=49$ , заряд ядра атома  $Jn$  и общее количество электронов равны 49. Зная, что свойства атома определяет структура его валентных электронов, начнем с ее построения. Индий находится в 5 периоде III A группы, отсюда его валентные электроны имеют следующую структуру:  $5s^25p^1$ .

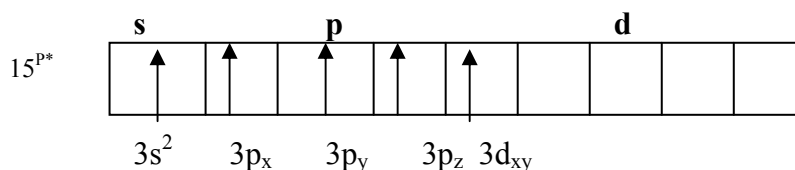
Наличие трех электронов на внешнем уровне и большой радиус атома ( $n=5$ ) предполагают достаточную легкость отдачи электронов (небольшая энергия ионизации) и как следствие – металлические свойства и достаточно высокую химическую активность.

**Пример 2.** Какую валентность, обусловленную неспаренными электронами (спин-валентность), может проявлять фосфор в нормальном и возбужденном\* состояниях?

**Решение.** Распределение электронов внешнего энергетического уровня фосфора  $\dots 3s^23p^3$  (учитывая правило Хунда,  $3s^23p_x3p_y3p_z$ ) по квантовым ячейкам имеет вид:



Атомы фосфора имеют свободные d – орбитали, поэтому возможен переход одного 3s – электрона в 3d – состояние:



Отсюда валентность (спинвалентность) фосфора в нормальном состоянии равна трем, а в возбужденном – пяти.

**Пример 3.** Укажите тип связей в молекулах  $F_2$ ,  $KCl$ ,  $HCl$ . Приведите электронные модели их строения.

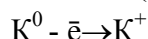
**Решение.** 1. Молекула  $F_2$  состоит из двух одинаковых атомов фтора, поэтому ковалентная связь будет неполярной. Так как структура валентных электронов фтора  $\dots 2s^22p^5$ , строение молекулы можно представить:

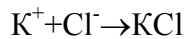
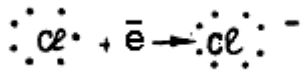


или перекрыванием одноэлектронных p-p-орбиталей:

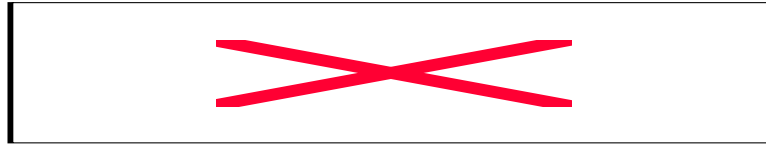


2. Молекула  $KCl$  состоит из двух резко отличающихся по электроотрицательности атомов металла (K) и неметалла (Cl), что определяет ионный тип связи;

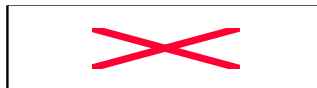




3. Молекула HCl тоже состоит из двух разных атомов H и Cl, поэтому в данном случае имеем ковалентную полярную связь, причем общая электронная пара смещена к более электроотрицательному атому хлора:



При этом происходит перекрывание s-p - валентных орбиталей водорода и хлора:



**Пример 4.** Определите тип кристаллической решетки SiC и сделайте вывод о свойствах данного вещества.

**Решение.** Валентные электронные структуры кремния и углерода сходны ( $\dots 3s^2 3p^2$  и  $\dots 2s^2 2p^2$ ), поэтому в результате перекрывания они образуют ковалентную связь (малополярную). Так как их насыщенность в соединении высока (четыре связи), вещество является твердым и образует атомную кристаллическую решетку. А это влечет за собой высокую твердость вещества, его тугоплавкость, малую растворимость и диэлектрические свойства.

#### Контрольные задания.

1. Чем отличается последовательность заполнения электронами d – элементов от s- и p- элементов? Как это различие отражается на их свойствах?
2. У какого из элементов – лития, цезия или бериллия – больше энергия ионизации? Сделайте вывод о химических свойствах их атомов.
3. Какие из элементов S или Se проявляют более окислительные свойства? Почему?
4. Почему Cu, Ag, Au – благородные металлы? Дайте объяснение их свойств на основе электронных структур и справочного материала.
5. Объясните различие величин радиусов и свойств атомов Cu и Zn.
6. Радиусы атомов Si и V равны ( $r=1,34\text{Å}$ ), почему же так различны их свойства?
7. Почему Mn и Cl расположены в одной группе периодической системы, но в разных подгруппах? Дайте сравнительную характеристику свойств этих элементов на основе их электронных структур.
8. Установите химические свойства элемента с номером 32.
9. Установите химические свойства элемента с номером 40.
10. Почему свойства всех элементов II периода очень сильно отличаются от свойств элементов всех последующих периодов?
11. Укажите заполнение орбиталей для каждого из перечисленных ниже нейтральных атомов и определите число валентных электронов на них: K, As. Сделайте вывод о химических свойствах.
12. Изобразите с помощью энергетических ячеек строение атомов кислорода, германия. Сделайте вывод о химических свойствах.

13. Выделите валентные орбитали атомов кремния, ванадия. Сделайте вывод о химических свойствах этих атомов.
14. У какого из элементов As или Cl электроотрицательность выше? Почему? Сделайте вывод о химических свойствах.
15. Рассмотрите классификацию элементов периодической системы по электронным семействам.
16. Укажите тип химической связи в молекулах  $N_2$ , NaCl. Приведите схемы перекрывания их электронных облаков.
17. Укажите тип химической связи в молекулах  $NH_3$ ,  $H_2O$ . Приведите электронные модели их строения.
18. Какую валентность, обусловленную неспаренными электронами, может проявлять свинец в нормальном и возбужденном состояниях? Сделайте вывод о химических свойствах соединений Pb с разной степенью окисления.
19. Укажите тип кристаллической решетки в кристаллах  $H_2O$ , CsF. Сделайте вывод о свойствах этих кристаллов.
20. Докажите, что Mg,  $MgCl_2$  – кристаллы. Укажите тип их решетки и дайте сравнительную характеристику свойств.
21. Почему  $H_2O$  – жидкость, а  $H_2S$  – газ? Сравните их  $t_{кип}$ ,  $t_{пл}$ .
22. Оцените физико-химические свойства вещества Cг. Ответ обоснуйте.
23. Определите тип связи молекул NaJ,  $CH_4$ . Сделайте вывод о свойствах (прочность, реакционная способность, агрегатное состояние).
24. У каких из кристаллов  $H_2O$ ,  $SiO_2$ , KCl, Li температура плавления наибольшая? Ответ обоснуйте.
25. Определите тип кристаллической решетки  $SiO_2$ . Сделайте вывод о свойствах. Ответ обоснуйте.
26. Какой тип кристаллической решетки характерен для веществ с самой низкой температурой плавления? Ответ обоснуйте.
27. Почему кислород и сера, имея в наружном слое одинаковое число электронов, проявляют разную валентность?
28. Проанализируйте валентные возможности атомов Be, Al в основном и возбужденном состояниях.
29. Укажите, какие из перечисленных молекул являются полярными и какие неполярными:  $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $SO_2$ ,  $CH_4$ . Ответ мотивируйте.
30. Как изменяются химические свойства соединений марганца и характер связей в них с увеличением степени окисления?

## ХИМИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА. ЭНЕРГЕТИКА ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

**Пример 1.** Укажите в каком направлении повышается устойчивость карбонатов  $MgCO_3(к)$ ;  $CaCO_3(к)$ ;  $BaCO_3(к)$ .

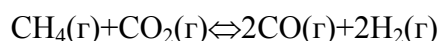
**Решение.** Устойчивость веществ определяется значениями величин  $\Delta H^0_{образ}$  (термическая устойчивость) и  $\Delta G^0_{образ}$  (химическая устойчивость). Чем меньше эти значения, тем вещество более устойчиво. Для ответа сравним величины  $\Delta H^0_{образ}$  и  $\Delta G^0_{образ}$  данных карбонатов:

Наименование карбоната	$\Delta H^0_{образ}$ , кДж/моль	$\Delta G^0_{образ}$ , кДж/моль
$MgCO_3$	-1096,21	-1029,3
$CaCO_3$	-1206	-1128,8
$BaCO_3$	-1202	-1164,8

Из сравнения величин  $\Delta G$  и  $\Delta H$  следует, что устойчивость карбонатов в ряду  $MgCO_3 \rightarrow CaCO_3 \rightarrow BaCO_3$  повышается (термическая устойчивость  $CaCO_3$  и  $BaCO_3$  почти

одинакова, т.к.  $\Delta H^0_{образCaCO_3} \approx \Delta G^0_{образBaCO_3}$

**Пример 2.** Прямая или обратная реакция будет протекать при стандартных условиях в системе:



**Решение.** Для ответа на вопрос следует вычислить  $\Delta G^0_{298}$  прямой реакции (значения  $\Delta G^0_{298}$  соответствующих веществ приведены в табл.1 и в Приложении в табл.2). Зная, что  $\Delta G^0_{298}$  есть функция состояния и что  $\Delta G$  для простых веществ, находящихся в устойчивых при стандартных условиях агрегатных состояниях, равны 0, находим  $\Delta G^0_{298}$  процесса по формуле:

$$\Delta G^0_{х.р.} = \sum \Delta G^0_{образ.пр.} - \sum \Delta G^0_{образ.исх.}$$

$$\Delta G^0_{х.р.} = 2(-137,27) + 2(0) - (-50,79 - 394,38) = +170,63 \text{ кДж}$$

То, что  $\Delta G^0_{298} > 0$ , указывает на невозможность самопроизвольного протекания прямой реакции при  $T=298 \text{ К}$  и равенстве давлений взятых газов  $1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$  (760 мм рт.ст.=1 атм).

Таблица 1

Вещество	Состояние	$\Delta G^0_{298}$ , кДж/моль	Вещество	Состояние	$\Delta G^0_{298}$ , кДж/моль
BaCO <sub>3</sub>	к	-1138,8	FeO	к	-244,3
CaCO <sub>3</sub>	к	-1128,75	H <sub>2</sub> O	ж	-237,19
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	к	-1014,2	H <sub>2</sub> O	г	-228,59
BeCO <sub>3</sub>	к	-944,75	PbO <sub>2</sub>	к	-219,0
CaO	к	-604,2	CO	г	-137,27
BeO	к	-581,61	CH <sub>4</sub>	г	-50,79
BaO	к	-528,4	NO <sub>2</sub>	г	+51,84
CO <sub>2</sub>	г	-394,38	NO	г	+86,69
NaCl	к	-384,03	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	г	+209,20
ZnO	к	-318,2			

**Пример 3.** Вычислите  $\Delta H^0$ ,  $\Delta S^0$ ,  $\Delta G^0_T$  реакции, протекающей по уравнению  $Fe_2O_3(к)+3C=2Fe+3CO$ .

Возможна ли реакция восстановления  $Fe_2O_3$  углеродом при температурах 500 и 1000 К?

**Решение.**  $\Delta H_{x.p.}$  и  $\Delta S_{x.p.}$  находим по формулам ( $\Delta H$ ,  $S$  – функции состояния систем):

$$\Delta H^0_{x.p.} = \sum \Delta H^0_{\text{прод.}} - \sum \Delta H^0_{\text{исх.}}$$

$$\Delta S^0_{x.p.} = \sum \Delta S^0_{\text{прод.}} - \sum \Delta S^0_{\text{исх.}}$$

$$\Delta H^0_{x.p.} = [3(-110,52) + 2 \cdot 0] - [-822,10 + 3 \cdot 0] = -331,56 + 822,10 = +490,54 \text{ кДж/моль}$$

$$\Delta S^0_{x.p.} = (2 \cdot 27,2 + 3 \cdot 197,91) - (89,96 + 3 \cdot 5,69) = 541,1 \text{ Дж/моль}$$

Энергию Гиббса при соответствующих температурах находим из соотношения

$$\Delta G^0_T = \Delta H^0 - T \Delta S^0:$$

$$\Delta G_{500} = 490,54 - 500 \frac{541,1}{1000} = +219,99 \text{ кДж}$$

$$\Delta G_{1000} = 490,54 - 1000 \frac{541,1}{1000} = -50,56 \text{ кДж}$$

Так как  $\Delta G_{500} > 0$ , а  $\Delta G_{1000} < 0$ , то восстановление  $Fe_2O_3$  углеродом возможно при 1000 К и не возможно при 500 К.

**Пример 4.** Реакция восстановления  $Fe_2O_3$  водородом протекает по уравнению

$Fe_2O_3(к)+3H_2(г)=2Fe(к)+3H_2O(г)$ ,  $\Delta H = +96,61$  кДж. Возможна ли эта реакция при стандартных условиях, если изменение энтропии  $\Delta S = 0,1387$  кДж/(моль·К)? При какой температуре начнется восстановление  $Fe_2O_3$ ?

**Решение.** Вычисляем  $\Delta G^0$  реакции:

$$\Delta G^0_T = \Delta H^0 - T \Delta S^0 = 96,61 - 298 \cdot 0,1387 = +55,28 \text{ кДж.}$$

Так как  $\Delta G^0 > 0$ , то реакция при стандартных условиях невозможна; наоборот, при этих условиях идет обратная реакция окисления железа (коррозия). Найдем температуру, при которой  $\Delta G = 0$ :

$$\Delta H = T \Delta S; \quad T = \frac{\Delta H}{\Delta S} = \frac{96,61}{0,1387} = 696,5 \text{ К.}$$



Следовательно, при температуре  $\approx 696,5$  К, начнется реакция восстановления  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Иногда эту температуру называют температурой начала реакции.

### Контрольные вопросы.

31. При сгорании 1 л ацетилена (н.у.) выделилось 56 кДж теплоты. Вычислите теплоту образования ацетилена  $\text{C}_2\text{H}_2$ ,  $\Delta G^0_{298}$ .

32. Вычислите  $\Delta H^0$ ,  $\Delta S^0$ ,  $\Delta G^0_{500}$  реакции  $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{к}) + 3\text{H}_2 = 2\text{Fe}(\text{к}) + 3\text{H}_2\text{O}(\text{г})$ .

33. Реакция протекает по уравнению  $\text{TiO}_2(\text{к}) + 2\text{C}(\text{к}) = \text{Ti}(\text{к}) + 2\text{CO}(\text{г})$ . Вычислите  $\Delta H^0$ ,  $\Delta S^0$ ,  $\Delta G^0_{1000}$ . Возможна ли эта реакция?

34. В ходе доменного процесса возможна реакция  $\text{Fe}_3\text{O}_4(\text{к}) + \text{CO}(\text{г}) = 3\text{FeO}(\text{к}) + \text{CO}_2(\text{г})$ . При какой температуре начнется эта реакция, если  $\Delta H = +34,5$  кДж?

35. Напишите термохимическое уравнение реакции взаимодействия газообразных аммиака и хлористого водорода. Сколько теплоты выделится в ходе этой реакции, если было израсходовано 100 л аммиака?

36. При гашении извести  $\text{CaO}$  водой выделяется 32,5 кДж теплоты. Напишите термохимическое уравнение реакции и определите энтальпию образования оксида кальция.

37. Предложите знак изменения энтропии в реакции  $\text{CaO} + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_3$ . Ответ подтвердите расчетом.

38. При сгорании 1 л водорода выделяется 12,76 кДж. Рассчитать энтальпию образования воды. Какая вода получается в результате этого процесса – пар или жидкость?

39. Ответьте, как влияет температура на вероятность осуществления процессов:

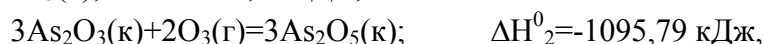
а) разложение веществ

б) синтез веществ?

40. Оцените величины  $\Delta H$  и  $\Delta S$  реакции  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3/2\text{C}(\text{к}) = 3/2\text{CO}_2(\text{г}) + 2\text{Fe}(\text{к})$ . На их основании определите условия ее протекания.

41. Аллотропные модификации углерода. Теплота сгорания карбина  $\Delta H^0_{298} = 356,1$  кДж/моль, а для графита теплота сгорания  $\Delta H^0_{298} = 396,3$  кДж/моль. Сравнить термическую устойчивость графита и карбина. Чем объясняется необычное обилие соединений углерода.

42. Исходя из данных для реакций окисления мышьякового ангидрида кислородом и озоном:  $\text{As}_2\text{O}_3(\text{к}) + \text{O}_2(\text{г}) = \text{As}_2\text{O}_5(\text{к}); \Delta H^0_1 = -270,70$  кДж,



вычислите изменение энтальпии при переходе 1 моля кислорода в озон.

43. При сгорании 1 моля  $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{ж})$  до  $\text{CO}_2(\text{г})$  и  $\text{H}_2\text{O}(\text{ж})$  выделяется 871,69 кДж/моль. Вычислите энтальпию образования уксусной кислоты ( $\Delta H^0_{\text{обр},298}$ ), если известно:

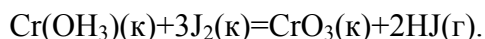


44. Пользуясь таблицами  $\Delta G^0_{\text{обр},298}$  и  $S^0_{\text{обр},298}$ , определите возможен ли самопроизвольный процесс  $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{к}) + 3\text{SO}_3(\text{ж}) = \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{к})$  при 298 К.

45. Пользуясь таблицами  $\Delta G^0_{\text{обр},298}$  и  $S^0_{\text{обр},298}$ , вычислите  $\Delta G^0_{298}$  и  $\Delta S^0_{298}$  реакции  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2(\text{к}) = \text{ZnO}(\text{к}) + 2\text{NO}_2(\text{г}) + 1/2\text{O}_2(\text{г})$ .

46. Пользуясь таблицами  $\Delta G^0_{\text{обр},298}$  и  $\Delta S^0_{\text{обр},298}$ : а) вычислите  $\Delta H^0_{298}$  для реакции  $4\text{Fe}(\text{OH})_2(\text{тв}) + \text{O}_2(\text{г}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{ж}) = 4\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{тв})$ , б) вычислите  $\Delta H^0_{298}$   $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{ж})$ .

47. Пользуясь таблицами  $\Delta G^0_{\text{обр},298}$ , определите, могут ли происходить реакции:  $\text{H}_2\text{O}_2(\text{ж}) + \text{Ag}_2\text{O}(\text{к}) = 2\text{Ag}(\text{к}) + \text{O}_2(\text{г}) + \text{H}_2\text{O}(\text{ж})$



48. Используя таблицы  $\Delta G^0_{\text{обр},298}$  и  $\Delta S^0_{298}$ , определите приближенное количество энергии, которое выделяется при сгорании 44,81 л диборана  $\text{B}_2\text{H}_6$ , измеренного при н.у.

49. Какие выводы можно сделать относительно склонности к димеризации  $\text{AlCl}_3$ ?

$2\text{AlCl}_3(\text{г}) \rightarrow \text{Al}_2\text{Cl}_6(\text{г})$ , если  $\Delta G^0_{298}$  образования  $\text{AlCl}_3(\text{г})$  и  $\text{Al}_2\text{Cl}_6(\text{г})$  соответственно равны – 571,6 кДж/моль и 1219,2 кДж/моль.

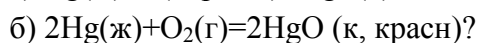
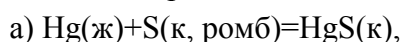
50. Как изменяется термическая устойчивость гидроксидов элементов подгруппы Ве?

51. По таблицам  $\Delta G^0_{\text{обр},298}$  и  $S^0_{298}$ , найдите  $\Delta G^0_{298}$ ,  $\Delta H^0_{298}$  и  $\Delta S^0_{298}$  для реакции разложения газообразного гидразина  $\text{N}_2\text{H}_4$ .

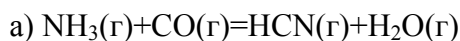
52. Сравните термическую устойчивость нитратов калия, свинца и серебра. Напишите уравнения реакций их термического разложения.

53. По таблицам  $\Delta G^0_{\text{обр},298}$  и  $S^0_{298}$ , рассчитайте, какое количество теплоты выделится при разложении 1 г  $\text{AgNO}_3$ ?

54. Возможно ли при  $25^\circ\text{C}$  течение процессов:

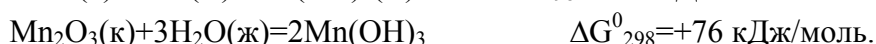
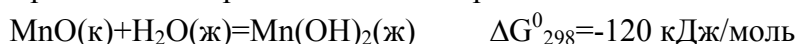


55. Какие из следующих реакций пригодны для синтеза  $\text{HCN}$ ? Рассмотрите реакции как при 298 так и при 1000 К.



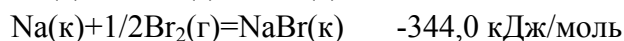
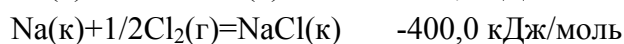
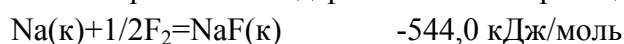
56. Стандартные изобарные потенциалы  $\text{HCl}$ ,  $\text{HBr}$ ,  $\text{HI}$  в водных растворах равны: - 124,0 кДж/моль, -100,0 кДж/моль и -48,0 кДж/моль соответственно. Как изменится устойчивость кислот при переходе вниз по подгруппе?

57. Сравните изобарные потенциалы реакций:



Какой из оксидов  $\text{MnO}$  или  $\text{Mn}_2\text{O}_3$  обладает более сильными основными свойствами.

58. Сравним стандартные теплоты реакции:



Какой из галогенидов натрия наиболее устойчив?

59. Для получения серной кислоты используются следующие реакции:

	$\Delta H^0$	$\Delta S^0$	$\Delta G^0$
$\text{S}(\text{к}) + \text{O}_2(\text{г}) = \text{SO}_2(\text{г})$	-70,9	2,7	-71,7
$\text{SO}_2(\text{г}) + 1/2\text{O}_2(\text{г}) = \text{SO}_3(\text{г})$	-23,7	-22,5	-17,0
$\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O}(\text{ж}) = \text{H}_2\text{SO}_4(\text{ж})$	-35,4	-73,2	-32,5

Что Вы можете сказать об энергетической устойчивости  $\text{SO}_2$  и  $\text{SO}_3$ .

60. При комнатной температуре олово может существовать в двух модификациях: серое олово и белое олово. Основываясь на термических характеристиках, данных в таблице

Олово	$\Delta H^0_{\text{обр}} \text{ кДж/моль}$	$S^0 \text{ Дж/моль}\cdot\text{К}$
Sn (белое)	0	60
Sn (серое)	-2	40

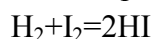
Определите, какое олово термически устойчиво при стандартной температуре.

## ХИМИЧЕСКАЯ КИНЕТИКА

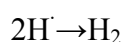
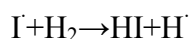
Химическая кинетика – это учение о химическом процессе, его механизме и закономерности протекания во времени. При исследовании химических реакций применяют как методы химической термодинамики, так и методы химической кинетики. Химическая термодинамика позволяет вычислить тепловой эффект данной реакции, а также предсказать, осуществима ли данная реакция и состояние её равновесия, т.е. предел, до которого она может протекать. Но для практики нужно знать не только возможности осуществления данной реакции, но и скорость её протекания. Ответ на этот вопрос даёт химическая кинетика.

Химические реакции являются, как правило, сложными, т. е. протекают через ряд элементарных стадий. Элементарная стадия является наиболее простой составной частью сложной реакции: каждый акт элементарной стадии представляет собой результат непосредственного взаимодействия и превращения нескольких частиц. Совокупность реакции из элементарных стадий называется механизмом реакции. При протекании реакции по стадиям получают и расходуются промежуточные вещества, которые обычно являются частицами с неспаренными электронами, так называемые радикалы.

Рассмотрим реакцию



которая протекает через три последовательные элементарные стадии:



Скорости этих стадий различны. Стадия с наименьшей скоростью является лимитирующей и её скорость будет равна скорости общей реакции.

Скорость химической реакции – это изменение концентрации одного из реагирующих веществ в единицу времени в единице реакционного пространства.

$$v = \pm \frac{\Delta C}{\Delta t},$$

где  $C$  – молярная концентрация одного из реагирующих веществ. Знак «+» относится к изменению концентрации вещества, образующегося в результате реакции, а знак «-», к изменению концентрации вещества, вступающего в реакцию.

Если реакция проходит в газовой смеси то концентрация  $C$  может быть заменена парциальным давлением какого-либо компонента смеси. Если реакция протекает на границе раздела фаз в гетерогенной системе, то выражение для скорости примет вид:

$$v = \pm \frac{\Delta C}{\Delta t} \frac{1}{S},$$

где  $S$  – площадь границы раздела фаз.

Скорость реакции зависит от природы реагирующих веществ, их концентрации, температуры и от присутствия в системе катализаторов. В тех случаях, когда для протекания реакции необходимо столкновение двух реагирующих частиц (атомов, молекул, радикалов), зависимость скорости реакции от концентрации определяется **законом действия масс**:

*при постоянной температуре скорость химической реакции прямо пропорциональна произведению концентрации реагирующих веществ.*

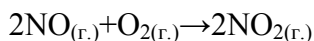
Так, для реакции  $m\text{A} + n\text{B}_2 \rightarrow \dots$  закон действия масс выражается следующим образом:

$$v = k[A]^m[B_2]^n,$$

где  $[A]$ ,  $[B_2]$  – молярные концентрации реагирующих веществ, а коэффициент  $k$  называется константой скорости химической реакции, который зависит от природы реагирующих веществ.

Если в реакции участвуют вещества в твёрдой фазе, то при записи закона действия масс их не нужно учитывать.

**Пример 1.** Как изменится скорость реакции



если уменьшить объём реакционного сосуда в 3 раза?

**Решение.** До изменения объёма скорость реакции выражалась уравнением

$$v = k[NO]^2[O_2]$$

Вследствие уменьшения объёма концентрация каждого из реагирующих веществ возросла в 3 раза. Следовательно, теперь

$$v_1 = k(3[NO])^2(3[O_2]) = 27 k[NO]^2[O_2]$$

Сравнивая выражения для  $v$  и  $v_1$  видим, что скорость реакции возросла в 27 раз.

**Ответ:** скорость реакции возросла в 27 раз.

Зависимость константы скорости химической реакции выражается правилом Вант-Гоффа: *скорость большинства химических реакций возрастает в 2-4 раза при повышении*

*температуры на  $10^0C$ .*  $\frac{v_{t_2}}{v_{t_1}} = \gamma^{\frac{t_2-t_1}{10}}$ , где  $\gamma$  - температурный коэффициент скорости реакции.

**Пример 2.** Температурный коэффициент скорости реакции равен 2,8. Во сколько раз возрастёт скорость реакции при повышении температуры от 20 до 75  $^0C$ ?

**Решение.** Воспользовавшись правилом Вант-Гоффа получим:

$$\frac{v_{t_2}}{v_{t_1}} = \gamma^{\frac{t_2-t_1}{10}} \quad \lg \frac{v_{t_2}}{v_{t_1}} = 5,5 \cdot \lg 2,8 = 2,458, \text{ отсюда } v_{t_2}/v_{t_1} = 287$$

**Ответ:** в 287 раз.

Правило Вант-Гоффа приближённо выражает зависимость скорости реакции от температуры и носит эмпирический характер. Это связано с тем, что элементарный акт химической реакции протекает не при всяком столкновении реагирующих молекул: реагируют только те молекулы (**активные молекулы**), которые обладают достаточной энергией, чтобы разорвать или ослабить связи в исходных частицах. Поэтому каждая реакция характеризуется энергетическим барьером; для его преодоления необходима **энергия активации** – некоторая избыточная энергия (по сравнению со средней энергией молекул при данной температуре), которой должны обладать молекулы для того, чтобы их столкновение было эффективным. С ростом температуры число активных молекул быстро увеличивается, что и приводит к резкому возрастанию скорости реакции.

Зависимость константы скорости реакции от энергии активации выражается **уравнением Аррениуса:**

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

где  $Z$ -число столкновений молекул в секунду в единице объёма,  $T$ -температура,  $R$ -универсальная газовая постоянная,  $P$ -вероятность того, что столкновение двух молекул приведёт к образованию нового вещества.

**Пример 3.** Энергия активации некоторой реакции в отсутствие катализатора равна 75,24 кДж\моль, а с катализатором – 50,14 кДж\моль. Во сколько раз возрастёт скорость реакции в присутствии катализатора, если реакция протекает при 298 К.

**Решение.** Обозначим энергию активации реакции без катализатора через  $E_a$ , а с катализатором через  $E'_a$ ; соответствующие константы скорости реакции обозначим через  $k$  и  $k'$ . Используя уравнение Аррениуса находим:

$$\frac{k'}{k} = \frac{e^{-\frac{E'_a}{RT}}}{e^{-\frac{E_a}{RT}}} = e^{\frac{(E_a - E'_a)}{RT}}$$

отсюда:

$$\ln \frac{k'}{k} = 2,3 \lg \frac{k'}{k} = \frac{(E_a - E'_a)}{RT}; \quad \lg \frac{k'}{k} = \frac{(E_a - E'_a)}{2,3RT}$$

Подставляя данные задачи получим, что  $\lg \frac{k'}{k} = 4,4$ , а значит  $\frac{k'}{k} = 2,5 \cdot 10^4$

**Ответ:** скорость реакции возросла в 25 тысяч раз.

### Контрольные задания.

61. Во сколько раз изменится скорость реакции  $2A + B \rightarrow A_2B$ , если концентрацию вещества А увеличить в 2 раза, а концентрацию вещества В уменьшить в 2 раза?

62. Во сколько раз следует увеличить концентрацию вещества  $B_2$  в системе  $2A_{2(g)} + B_{2(g)} \rightarrow 2A_2B_{(г)}$ , чтобы при уменьшении концентрации вещества А в 4 раза скорость реакции не изменилась?

63. В 2 сосуда одной и той же вместимости помещены: в первый – 1 моль газа А и 2 моля газа В, во второй – 2 моля газа А и 1 моль газа В при одинаковой температуре. Будет ли различаться скорость реакции между газами А и В в этих сосудах, если скорость реакции выражается: а) уравнением  $v_1 = k_1[A][B]$ ; б) уравнением  $v_2 = k_2[A]^2[B]$  ?

64. Через некоторое время после начала реакции  $3A + B \rightarrow 2C + D$  концентрации веществ составляли:  $[A] = 0,03$  моль/л;  $[B] = 0,01$  моль/л;  $[C] = 0,008$  моль/л. Каковы исходные концентрации веществ А и В?

65. Реакция между веществами А и В выражается уравнением:  $A + 2B \rightarrow C$ . Начальные концентрации составляют:  $[A]_0 = 0,03$  моль/л,  $[B]_0 = 0,05$  моль/л. Константа скорости реакции равна 0,4. Найти начальную скорость реакции и скорость реакции по истечении некоторого времени, когда концентрация вещества А уменьшится на 0,01 моль/л.

66. Как изменится скорость реакции  $2NO_{(г)} + O_{2(г)} \rightarrow 2NO_{2(г)}$ , если: а) увеличить давление в системе в 3 раза; б) уменьшить объём системы в 3 раза; в) повысить концентрацию NO в 3 раза?

67. Две реакции протекают при 25 °С с одинаковой скоростью. Температурный коэффициент скорости первой реакции равен 2, второй – 2,5. Найти отношение скоростей этих реакций при 95 °С.

68. Чему равен температурный коэффициент скорости реакции, если при увеличении температуры на 30 градусов скорость реакции увеличивается в 15,6 раза?

69. Температурный коэффициент скорости некоторой реакции равен 2,3. Во сколько раз увеличится скорость реакции при повышении температуры на 25 градусов.

70. При 150 °С некоторая реакция заканчивается за 16 мин. Принимая температурный коэффициент скорости реакции равным 2,5, рассчитать, через какое время закончится эта реакция, если её проводить: а) при 80 °С; б) при 200 °С.

71. Во сколько раз увеличится скорость реакции, протекающей при 298 К, если её энергию активации уменьшить на 4 кДж/моль?

72. Чему равна энергия активации реакции, если при увеличении температуры от 290 до 300 К скорость её увеличится в 2 раза?

73. Каково значение энергии активации реакции, скорость которой при 300 К в 10 раз больше, чем при 280 К?

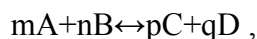
74. Энергия активации реакции равна 10 кДж/моль. Во сколько раз изменится скорость реакции при повышении температуры от 27 до 37 °С?

75. Рассчитайте энергию активации реакции, если при увеличении температуры от 500 до 1000К константа скорости химической реакции возросла в  $10^5$  раз.

## ХИМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ

При протекании химической реакции через некоторое время устанавливается равновесное состояние (химическое равновесие). При наступлении химического равновесия число молекул веществ, составляющих химическую систему, перестаёт меняться и остаётся постоянным во времени при неизменных внешних условиях.

Рассмотрим химическую реакцию



которая протекает при постоянных давлении и температуре. В ходе реакции число молей исходных веществ А и В уменьшается, а число молей продуктов реакции С и D увеличивается.

. Химическое равновесие это состояние системы, при котором скорость прямой реакции равна скорости обратной реакции. Применяв закон действия масс, зависимость прямой и обратной реакции от концентрации реагирующих веществ определяется выражениями:

$$v_{\text{пр.}} = k_{\text{пр.}} [\text{A}]^m [\text{B}]^n, \quad v_{\text{обр.}} = k_{\text{обр.}} [\text{C}]^p [\text{D}]^q \quad \text{и при } v_{\text{пр.}} = v_{\text{обр.}} \text{ получим что}$$
$$\frac{k_{\text{пр.}}}{k_{\text{обр.}}} = \frac{[\text{C}]^p [\text{D}]^q}{[\text{A}]^m [\text{B}]^n} = K_p$$

Величина  $K_p$  называется константой химического равновесия и она связана с изменением энергии Гиббса следующим уравнением:

$$\ln K_p = - \frac{\Delta G_{p,T}}{RT}$$

Химическое равновесие не является статическим, т. е. состоянием покоя. При изменении внешних условий равновесие сдвигается и возвращается в исходное состояние, если внешние условия приобретают постоянные значения.. Влияние на химическое равновесие внешних факторов вызывает его смещение. Направление смещения подчиняется принципу Ле-Шателье:

*Если на систему, находящуюся в состоянии химического равновесия, оказать какое-либо воздействие, то равновесие сместится в таком направлении, что оказанное воздействие будет ослаблено.*

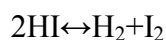
**Следствие 1.** При увеличении температуры равновесие смещается в сторону эндотермической реакции, а при уменьшении – в сторону экзотермической.

**Следствие 2.** При увеличении давления в газовых смесях равновесие смещается в сторону образования меньшего числа молей газов, а при увеличении давления – в сторону образования большего числа молей газов.

**Следствие 3.** При увеличении концентрации какого либо компонента системы равновесие смещается в сторону расхода этого компонента.

**Пример 1.** При некоторой температуре константа диссоциации йодоводорода на простые вещества равна  $6,25 \cdot 10^{-2}$ . Какой процент HI диссоциирует при этой температуре?

**Решение.** Уравнение диссоциации HI:



Обозначим начальную концентрацию HI через С (моль/л). Если к моменту наступления равновесия из каждых С молей йодоводорода диссоциировало х молей, то при

этом, согласно уравнения реакции, образовалось 0,5 молей водорода и йода соответственно. Таким образом, равновесные концентрации составляют:

$$[HI] = (C-x) \text{ моль/л}; \quad [H_2] = [I_2] = 0,5x \text{ моль/л}$$

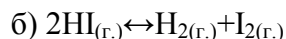
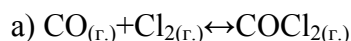
Подставим эти значения в выражение константы равновесия реакции:

$$K_p = \frac{[H_2][I_2]}{[HI]^2}; \quad 6,25 \cdot 10^{-2} = \frac{0,5x \cdot 0,5x}{(C-x)^2}$$

откуда  $x = 0,333C$ .

**Ответ:** 33,3%

**Пример 2.** В каком направлении сместится равновесие в системах



если при неизменной температуре увеличить давление газовой смеси.

**Решение.** а) Протекание реакции в прямом направлении приводит к уменьшению общего числа молей газов, т.е. к уменьшению давления в системе. Поэтому, согласно принципу Ле-Шателье, повышение давления вызовет смещение равновесия в сторону прямой реакции.

б) Протекание реакции не сопровождается изменением числа молей газов, и изменение давления не вызовет смещение равновесия в системе.

**Пример 3.** Используя справочные данные, найти значение температуры, при которой константа равновесия реакции образования водяного газа равна единице.  
 $C_{(графит)} + H_2O_{(г.)} \leftrightarrow CO_{(г.)} + H_{2(г.)}$

**Решение.** Из уравнения  $\ln K_p = -\frac{\Delta G_{p,T}}{RT}$  следует, что при  $K_p = 1$  стандартная энергия

Гиббса химической реакции равна нулю. Тогда из соотношения  $\Delta G_T^0 = \Delta H_T^0 - T\Delta S_T^0$

$$T = \frac{\Delta H_T^0}{\Delta S_T^0}$$

вытекает, что  $T = \frac{\Delta H_T^0}{\Delta S_T^0}$ . Воспользовавшись табличными данными находим, что  $\Delta H = 131,3$  кДж, а  $\Delta S = 0,1336$  кДж/К, отсюда  $T = 131,3 / 0,1336 = 983$  К.

**Ответ:** 983 К.

**Контрольные задания.**

76. В системе  $A_{(г.)} + 2B_{(г.)} = C_{(г.)}$  равновесные концентрации равны:  $[A] = 0,06$  моль/л;  $[B] = 0,12$  моль/л;  $[C] = 0,216$  моль/л. Найти константу равновесия реакции и концентрации веществ А и В.

77. Рассчитать константу равновесия реакции:  $2SO_{3(г.)} \leftrightarrow 2SO_{2(г.)} + O_{2(г.)}$ , пользуясь справочными данными  $\Delta G$ .

78. В закрытом сосуде установилось равновесие:  $CO_{2(г.)} + H_{2(г.)} \leftrightarrow CO_{(г.)} + H_2O_{(г.)}$ ; константа равновесия равна единице. Определить: а) сколько процентов  $CO_2$  подвергнется превращению в  $CO$  при данной температуре, если смешать 1 моль  $CO_2$  и 5 молей  $H_2$ ? б) в каких объёмных соотношениях были смешаны  $CO_2$  и  $H_2$ , если к моменту наступления равновесия в реакцию вступило 90% первоначального количества водорода?



79. При состоянии равновесия в системе  $N_{2(г.)} + 3H_{2(г.)} \leftrightarrow 2NH_{3(г.)}$ ;  $\Delta H^0 = -92,4$  кДж, концентрации участвующих веществ равны:  $[N_2] = 3$  моль/л;  $[H_2] = 9$  моль/л;  $[NH_3] = 4$  моль/л. Определить: исходные концентрации водорода и азота; б) в каком направлении сместится равновесие с ростом температуры? в) в каком направлении сместится равновесие с повышением давления?

80. Константа равновесия реакции  $FeO_{(к.)} + CO_{(г.)} \leftrightarrow Fe_{(к.)} + CO_{2(г.)}$  при некоторой температуре равно 0,5. Найти равновесные концентрации CO и  $CO_2$ , если начальные концентрации составляли соответственно 0,05 и 0,01 моль/л.

81. Для реакции  $H_{2(г.)} + Br_{2(г.)} \leftrightarrow 2HBr_{(г.)}$  при некоторой температуре  $K_p = 1$ . Определить состав (в процентах по объёму) равновесной реакционной смеси, если исходная смесь состояла из трёх молей водорода и двух молей брома.

82. Константа равновесия реакции  $A_{(г.)} + B_{(г.)} \leftrightarrow C_{(г.)} + D_{(г.)}$  равна единице. Сколько процентов вещества A подвергнется превращению, если смешать 3 моля вещества A и 5 молей вещества B.

83. После смешивания газов A и B в системе  $A_{(г.)} + B_{(г.)} \leftrightarrow C_{(г.)} + D_{(г.)}$  устанавливается равновесие при следующих концентрациях:  $[A] = 0,05$  моль/л,  $[C] = 0,02$  моль/л. Константа равновесия равна  $4 \cdot 10^{-2}$ . Найти исходные концентрации веществ A и B.

84. Найти константу равновесия реакции  $N_2O_4 \leftrightarrow 2NO_2$ , если начальная концентрация  $N_2O_4$  составляла 0,08 моль/л, а к моменту наступления равновесия диссоциировало 50% молекул  $N_2O_4$ .

85. В каком направлении сместятся равновесия  $2H_{2(г.)} + O_{2(г.)} \leftrightarrow 2H_2O_{(г.)}$ ,  $\Delta H^0 = -483,6$  кДж,  $CaCO_{3(к.)} \leftrightarrow CaO_{(к.)} + CO_{2(г.)}$   $\Delta H^0 = 179$  кДж. а) при повышении давления; б) при повышении температуры. Ответ обосновать.

86. В каком направлении сместятся равновесия  $2CO_{(г.)} + O_{2(г.)} \leftrightarrow 2CO_{2(г.)}$ ,  $\Delta H^0 = -556$  кДж,  $N_{2(г.)} + O_{2(г.)} \leftrightarrow 2NO_{(г.)}$   $\Delta H^0 = 180$  кДж. а) при понижении температуры; б) при повышении давления. Ответ обосновать.

87. Пользуясь табличными данными, вычислить константы равновесия следующей реакции при 298 К и при 1000 К.  $CO_{(г.)} + H_2O_{(г.)} \leftrightarrow CO_{2(г.)} + H_2_{(г.)}$

88. Вычислить температуру, при которой константа равновесия реакции  $2NO_{2(г.)} \leftrightarrow N_2O_{4(г.)}$  равна единице. В каком направлении сместится равновесие при температуре более низкой, чем найденная.

89. Найти температуру, при которой константа равновесия реакции  $4HCl_{(г.)} + O_{2(г.)} \leftrightarrow 2H_2O_{(г.)} + 2Cl_{2(г.)}$  равна единице.

90. Стандартное изменение энергии Гиббса для реакции  $A + B \leftrightarrow AB$  при 298 К равно  $-8$  кДж/моль. Начальные концентрации веществ A и B равны 1 моль/л. Найти константу равновесия и концентрации веществ A, B и AB.

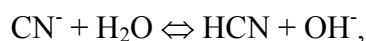
## ГИДРОЛИЗ СОЛЕЙ. ЖЕСТКОСТЬ ВОДЫ И МЕТОДЫ ЕЕ УСТРАНЕНИЯ

Химическое обменное взаимодействие ионов растворенной соли с водой, приводящее к образованию слабодиссоциирующих продуктов (молекул слабых кислот или оснований, анионов кислых или катионов основных солей) и сопровождающееся изменением рН среды, называется гидролизом.

**Пример 1.** Составьте ионно-молекулярные и молекулярные уравнения гидролиза солей: а) KCN, б) Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, в) ZnSO<sub>4</sub>. Определите реакцию среды растворов этих солей.

**Решение:**

а) Цианид калия KCN - соль слабой одноосновной кислоты HCN и сильного основания KOH. При растворении в воде молекулы KCN полностью диссоциируют на катионы K<sup>+</sup> и анионы CN<sup>-</sup>. Катионы K<sup>+</sup> не могут связывать ионы OH<sup>-</sup> воды, так как KOH — сильный электролит. Анионы CN<sup>-</sup> связывают ионы H<sup>+</sup> воды, образуя молекулы слабого электролита HCN. Соль гидролизуется, как говорят, по аниону. Ионно-молекулярное уравнение гидролиза:

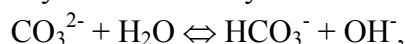


или в молекулярной форме:

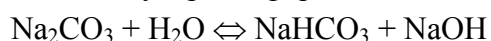


В результате гидролиза в растворе появляется некоторый избыток ионов OH<sup>-</sup>, поэтому раствор KCN имеет щелочную реакцию (рН > 7).

б) Карбонат натрия Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> - соль слабой многоосновной кислоты и сильного основания. В этом случае анионы CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, связывая водородные ионы воды, образуют анионы кислой соли HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, а не молекулы H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, так как ионы HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> диссоциируют гораздо труднее, чем молекулы H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. В обычных условиях гидролиз идет по первой ступени. Соль гидролизуется по аниону. Ионно-молекулярное уравнение гидролиза

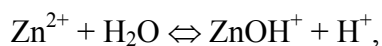


или в молекулярной форме

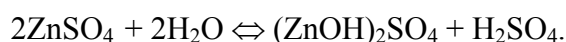


В растворе появляется избыток ионов OH<sup>-</sup>, поэтому раствор Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> имеет щелочную реакцию (рН > 7).

в) Сульфат цинка ZnSO<sub>4</sub> - соль слабого многоосновного основания Zn(OH)<sub>2</sub> и сильной кислоты H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. В этом случае Zn<sup>2+</sup> связывают гидроксидные ионы воды, образуя катионы основной соли ZnOH<sup>+</sup>. Образование молекул Zn(OH)<sub>2</sub> не происходит, так как ионы ZnOH<sup>+</sup> диссоциируют гораздо труднее, чем молекулы Zn(OH)<sub>2</sub>. В обычных условиях гидролиз идет по первой ступени. Соль гидролизуется по катиону. Ионно-молекулярное уравнение гидролиза



или в молекулярной форме



В растворе появляется избыток ионов водорода, поэтому раствор ZnSO<sub>4</sub> имеет кислотную реакцию (рН < 7).

Общая жесткость воды выражается суммой миллиграмм - эквивалентов ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  (иногда  $\text{Fe}^{2+}$ ), содержащихся в 1 л воды (мг-экв/л). Один миллиграмм-эквивалент жесткости отвечает содержанию 20,04 мг/л  $\text{Ca}^{2+}$  или 12,16 мг  $\text{Mg}^{2+}$ .

**Пример 2. Определение общей жесткости воды по количеству содержащихся в воде солей.** Рассчитайте общую жесткость воды (в мг-экв/л), если в 0,25 л воды содержится 16,20 мг гидрокарбоната кальция, 2,92 мг гидрокарбоната магния, 11,10 мг хлорида кальция и 9,50 мг хлорида магния.

**Решение.** Жесткость воды  $J$  выражается в миллиграмм-эквивалентах двухзарядных катионов металлов  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  и других или соответствующих им солей, содержащихся в 1 л воды:

$$J = m_1/(\text{Э}_1 V) + m_2/(\text{Э}_2 V) + m_3/(\text{Э}_3 V) + \dots,$$

где  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_3$  – содержание в воде двухзарядных катионов металлов (или соответствующих им солей), мг;  $\text{Э}_1$ ,  $\text{Э}_2$ ,  $\text{Э}_3$  – эквиваленты катионов металлов (или соответствующих им солей);  $V$  – объем воды, л.

Определяем эквивалентные массы солей, обуславливающих жесткость воды:

$$\text{для } \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \quad \text{Э} = M/2 = 162,11/2 = 81,05 \text{ г/моль};$$

$$\text{для } \text{Mg}(\text{HCO}_3)_2 \quad \text{Э} = M/2 = 146,34/2 = 73,17 \text{ г/моль};$$

$$\text{для } \text{CaCl}_2 \quad \text{Э} = M/2 = 110,99/2 = 55,49 \text{ г/моль};$$

$$\text{для } \text{MgCl}_2 \quad \text{Э} = M/2 = 95,21/2 = 47,60 \text{ г/моль}.$$

Общая жесткость данного образца воды равна сумме временной и постоянной жесткости и обуславливается содержанием в ней солей, придающих ей жесткость; она равна:

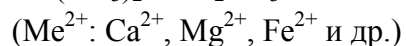
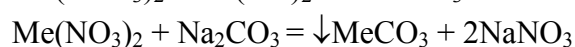
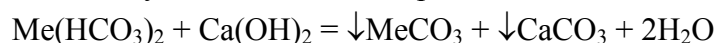
$$J_{\text{общ}} = 16,20/(81,05 \cdot 0,25) + 2,92/(73,17 \cdot 0,25) + 11,10/(55,49 \cdot 0,25) + 9,50/(47,60 \cdot 0,25) = 0,80 + 0,16 + 0,80 + 0,80 = 2,56 \text{ мг-экв/л}.$$

**Пример 3.** Сколько граммов  $\text{CaSO}_4$  содержится в 1 м<sup>3</sup> воды, если ее жесткость, обусловленная присутствием этой соли, равна 4 мг-экв/л?

**Решение.** Молярная масса  $\text{CaSO}_4$  136,14 г/моль; эквивалентная масса равна  $136,14/2=68,07$  г/моль. В 1 м<sup>3</sup> воды жесткостью 4 мг-экв/л содержится  $4 \cdot 1000 = 4000$  мг-экв, или  $4000 \cdot 68,07 = 272280$  мг = 272,280 г  $\text{CaSO}_4$ .

**Пример 4. Определение временной и постоянной жесткости воды по количеству реагентов, необходимых для устранения жесткости.** Для устранения общей жесткости по известково-содовому методу к 50 л воды добавлено 7,4 г  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и 5,3 г  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Рассчитайте временную и постоянную жесткость воды.

**Решение.** Добавление к воде  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  может устранить временную жесткость, а добавление  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  – постоянную жесткость. При добавлении этих реагентов к воде происходят следующие химические реакции:



Временная жесткость воды  $J_{\text{вр}}$  измеряется числом миллиграмм-эквивалентов гидроксида кальция, участвующего в реакции, а постоянная жесткость  $J_{\text{пост}}$  – числом миллиграмм-эквивалентов карбоната натрия:

$$J_{\text{вр}} = m_{\text{Ca}(\text{OH})_2}/(\text{Э}_{\text{Ca}(\text{OH})_2} V); \quad J_{\text{пост}} = m_{\text{Na}_2\text{CO}_3}/(\text{Э}_{\text{Na}_2\text{CO}_3} V);$$

$$\mathcal{E}_{\text{Ca(OH)}_2} = M/2 = 74,09/2 = 37,04 \text{ г/моль};$$

$$\mathcal{E}_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = M/2 = 106,00/2 = 53,00 \text{ г/моль};$$

$$J_{\text{вр}} = 7400/(37,04 \cdot 50) = 4 \text{ мг-экв/л};$$

$$J_{\text{пост}} = 5300/(53,00 \cdot 50) = 2 \text{ мг-экв/л}.$$

Общая жесткость воды равна

$$J_{\text{общ}} = J_{\text{вр}} + J_{\text{пост}} = 4 + 2 = 6 \text{ мг-экв/л (вода средней жесткости)}.$$

### Контрольные задания.

91. К раствору  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  добавили следующие вещества:

а)  $\text{HCl}$ , б)  $\text{NaOH}$ , в)  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ , г)  $\text{K}_2\text{S}$ . В каких случаях гидролиз карбоната натрия усилится? Почему? Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения гидролиза соответствующих солей.

92. К раствору  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  добавили следующие вещества:

а)  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , б)  $\text{KOH}$ , в)  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ , г)  $\text{ZnSO}_4$ . В каких случаях гидролиз сульфата алюминия усилится? Почему? Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения гидролиза соответствующих солей.

93. Какая из двух солей при равных условиях в большей степени подвергается гидролизу:  $\text{FeCl}_3$  или  $\text{FeCl}_2$ ? Почему? Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения гидролиза этих солей.

94. Какая из двух солей при равных условиях в большей степени подвергается гидролизу:  $\text{NaCN}$  или  $\text{NaClO}$ ? Почему? Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения гидролиза этих солей.

95. Какая из двух солей при равных условиях в большей степени подвергается гидролизу:  $\text{MgCl}_2$  или  $\text{ZnCl}_2$ ? Почему? Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения гидролиза этих солей.

96. Какая из двух солей при равных условиях в большей степени подвергается гидролизу:  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  или  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ? Почему? Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения гидролиза этих солей.

97. К раствору  $\text{FeCl}_3$ , добавили следующие вещества: а)  $\text{HCl}$ , б)  $\text{KOH}$ , в)  $\text{ZnCl}_2$ , г)  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . В каких случаях гидролиз хлорида железа (III) усилится? Почему? Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения гидролиза соответствующих солей.

98. По формулам солей  $\text{CsNO}_3$ ,  $\text{BiCl}_3$ ,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  предскажите реакцию среды этих растворов (рН). Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения гидролиза  $\text{BiCl}_3$  и  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ .

99. Присутствие каких солей обуславливает жесткость природной воды? Как можно устранить карбонатную и некарбонатную жесткость воды? Рассчитайте сколько граммов  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  содержится в  $1 \text{ м}^3$  воды, жесткость которой равна 3 мг-экв/л.

100. Определите карбонатную жесткость воды, в 1 л которой содержится по 100 мг  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ,  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$  и  $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ .

101. Сколько гашеной извести необходимо прибавить к  $1 \text{ м}^3$  воды, чтобы устранить ее временную жесткость, равную 7,2 мг-экв/л?

102. Устранение временной жесткости 100 л воды, вызванной присутствием  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ , потребовало 4 г  $\text{NaOH}$ . Составить уравнение реакции и рассчитать, чему равна жесткость воды.

**103.** Определите жесткость воды, в литре которой содержится 0,324 г гидрокарбоната кальция. Сколько граммов соды нужно прибавить к 2 м<sup>3</sup> этой воды для устранения ее жесткости?

**104.** В чем сущность ионитного способа устранения жесткости воды? Рассчитайте жесткость воды, содержащей в 1 л 0,005 моля гидрокарбоната кальция.

**105.** Какие химические реакции пройдут при кипячении жесткой воды, содержащей гидрокарбонат кальция и при прибавлении к ней: а) соды, б) гидроксида натрия? Вычислите жесткость воды, если для ее устранения необходимо было к 50 л воды прибавить 10,8 г безводной буры Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>.

**106.** Жесткая вода содержит в литре 50 мг Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> и 15 мг CaSO<sub>4</sub>. Сколько граммов карбоната натрия потребуется для устранения жесткости 1 м<sup>3</sup> этой воды?

**107.** Некарбонатная жесткость воды равна 3,18 мг-экв/л. Какую массу Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> нужно добавить, чтобы умягчить 1 м<sup>3</sup> воды?

**108.** Вычислите жесткость воды, если в литре воды содержится 202,5 мг Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> и 285 мг MgCl<sub>2</sub>.

**109.** Определить, чему равна жесткость воды, в 1 л которой содержится 240 мг MgSO<sub>4</sub>. Сколько граммов соды потребуется прибавить к 100 л этой воды для устранения жесткости?

**110.** Рассчитайте, сколько должна весить накипь, выпавшая при выпаривании 100 л воды, если жесткость обусловлена только присутствием гидрокарбоната кальция и равна 5 мг-экв/л?

## СПОСОБЫ ВЫРАЖЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ

**Процентная** концентрация (%) – показывает количество растворенного вещества (г), содержащегося в 100г раствора (выражается в процентах).

**Молярная** концентрация (М) – показывает количество молей растворенного вещества, содержащегося в 1 л раствора.

**Моляльная** концентрация (m) - показывает количество молей вещества, растворенного в 1 л растворителя (H<sub>2</sub>O).

**Нормальная** концентрация (н) – количество эквивалентов растворенного вещества, содержащегося в 1 л раствора.

**Мольная доля** (N<sub>i</sub>) – это отношение количества молей одного компонента к сумме молей всех компонентов, находящихся в растворе.

**Пример.** К 1л 10%-ного раствора КОН (пл.1,092г/см<sup>3</sup>) прибавили 0,5л 5%-ного раствора КОН (пл. 1,045г/см<sup>3</sup>). Объем смеси довели до 2л. Вычислите молярную концентрацию полученного раствора.

**Решение.** Масса 1 литра 10%-ного раствора КОН равна 1092г. В этом растворе содержится  $1092 \cdot 10 / 100 = 109,2$  г КОН. Масса 0,5 литров 5%-ного раствора равна  $1045 \cdot 0,5 = 522,5$  г. В этом растворе содержится  $522,5 \cdot 5 / 100 = 26,125$  г КОН.

В общем объеме полученного раствора (2л) содержание КОН составляет  $109,2 + 26,125 = 135,325$  (г). Отсюда молярность этого раствора  $C_M = 135,325 / 2 \cdot 56,1 = 1,2$  М, где 56,1 г/моль - мольная масса КОН.

**111.** Дайте определение эквивалента. Вычислите эквивалент элемента, если 1,5 г этого элемента вытеснили 1381,6 мл H<sub>2</sub>. Какой это элемент?

**112.** Сформулируйте закон эквивалентов. Определите эквивалентную массу металла, если при растворении 0,1094 г металла в кислоте выделилось 100,8 см<sup>3</sup> водорода (н.у.).

**113.** Какие способы выражения содержания компонентов в растворе являются безразмерными? В 150 г воды растворено 14 г вещества. Вычислить процентную концентрацию раствора.

**114.** Вычислить процентную и молярную концентрации раствора H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, полученного при растворении 22 г кислоты в 378 мл H<sub>2</sub>O, если плотность его равна 1,045 г/см<sup>3</sup>.

**115.** Перечислите объемные концентрации растворов. Определите массу Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, необходимую для приготовления 500 мл раствора с молярной концентрацией  $1,34 \cdot 10^{-2}$  моль/л.

**116.** Определите массу NaOH, необходимую для приготовления 200 мл раствора с молярной концентрацией 0,15.

**117.** Определите массу FeCl<sub>3</sub>, необходимую для приготовления 0,5 М раствора.

**118.** Определите объем воды, который необходимо добавить к 200 мл раствора HCl с молярной концентрацией 5 моль/л, чтобы получить раствор с концентрацией 3,2 моль/л.

**119.** Для осаждения в виде AgCl всего серебра, содержащегося в 100см<sup>3</sup> раствора AgNO<sub>3</sub>, потребовалось 50 см<sup>3</sup> 0,2 н раствора HCl. Какова нормальность раствора AgNO<sub>3</sub>? Какова масса AgCl выпала в осадок? .

**120.** Вычислите эквивалентную концентрацию 16% раствора хлорида алюминия плотностью  $1,149 \text{ г/см}^3$ .

**121.** Определить объем раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$  с молярной концентрацией 5 моль/л, необходимый для приготовления 300 мл раствора с концентрацией эквивалентов 0,2 н.

**122.** Определите, какой объем 2 М раствора  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  необходим для приготовления 180 мл раствора концентрацией эквивалентов 0,2 н.

**123.** На нейтрализацию  $50 \text{ см}^3$  раствора кислоты израсходовано  $25 \text{ см}^3$  0,5 н раствора щелочи. Чему равна нормальность кислоты?

**124.** Какой объем 96%-ной кислоты плотностью  $1,84 \text{ г/см}^3$  потребуется для приготовления 3 л 0,4 н раствора?

**125.** Какая масса  $\text{HNO}_3$  содержалась в растворе, если на нейтрализацию его потребовалось  $35 \text{ см}^3$  0,4 н раствора  $\text{NaOH}$ ?

## ПРОИЗВЕДЕНИЕ РАСТВОРИМОСТИ.

**Пример 1.** Произведение растворимости  $PbSO_4$  равно  $2,3 \cdot 10^{-8}$ . Вычислить:  
а) концентрацию ионов  $Pb^{2+}$  и  $SO_4^{2-}$ ; б) растворимость соли (% по массе и моль/л).

**Решение.** Уравнение диссоциации  $PbSO_4 \rightleftharpoons Pb^{2+} + SO_4^{2-}$

$$PP_{PbSO} = [Pb^{2+}] [SO_4^{2-}]$$

Обозначим молярную концентрацию насыщенного раствора  $PbSO_4$  через  $X$ . Так как растворившаяся часть соли диссоциирована нацело, то  $[Pb^{2+}] = [SO_4^{2-}] = X$ . Подставим  $X$  в последнее равенство:  $2,3 \cdot 10^{-8} = X^2$ , откуда  $X = \sqrt{2,3 \cdot 10^{-8}} = 1,5 \cdot 10^{-4}$  моль/л.

Следовательно,  $[Pb^{2+}] = [SO_4^{2-}] = 1,5 \cdot 10^{-4}$  моль/л, растворимость соли также равна  $1,5 \cdot 10^{-4}$  моль/л.

Найдем процентную (по массе) концентрацию раствора, принимая плотность разбавленного раствора равной единице (молекулярная масса  $PbSO_4$  равна 303 у.е.):

в 1000г раствора содержится  $1,5 \cdot 10^{-4} \cdot 303$  г

в 100 г ----- X г

$$1,5 \cdot 10^{-4} \cdot 303 \cdot 100$$

$$X = \frac{\quad}{1000} = 4,5 \cdot 10^{-3} \% = 0,0045\%$$

**Пример 2.** Растворимость фосфата серебра  $Ag_3PO_4$  в воде при температуре  $20^\circ C$  равна  $6,15 \cdot 10^{-3}$  г/л. Определить произведение растворимости.

**Решение.** Молярная масса  $Ag_3PO_4 = 418,58$  г/моль. Следовательно раствор содержит:

$$6,15 \cdot 10^{-3}$$

$$\frac{\quad}{418,58} = 1,6 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}$$

Эта величина называется молярной растворимостью. При диссоциации  $Ag_3PO_4$  образуется три иона  $Ag^+$  и один ион ( $PO_4^{3-}$ ), поэтому концентрации ионов в растворе соответственно равны:  $[PO_4]^{3-} = 1,6 \cdot 10^{-5}$  моль/л

$$[Ag]^+ = 31,6 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}$$

Произведение растворимости  $Ag_3PO_4$  равно:

$$Pr Ag_3PO_4 = [Ag^+]^3 + [PO_4^{3-}] = (4,8 \cdot 10^{-5})^3 \cdot (1,6 \cdot 10^{-5}) = 1,77 \cdot 10^{-18}$$

**Пример 3.** Произведение растворимости  $MgS$  при температуре  $25^\circ C$  равно  $2,0 \cdot 10^{-15}$ . Образуется ли осадок сульфида магния при смешении равных объемов 0,004н раствора нитрата магния и 0,0006н раствора сульфида натрия? Степени диссоциации этих электролитов принять за 1.

**Решение.** При смешении равных объемов растворов объем смеси стал в два раза больше объема каждого из взятых растворов, следовательно концентрация растворенных веществ уменьшилась вдвое, т.е.

$$[Mg(NO_3)_2] = 0,004/2 = 0,002н$$

$$[Na_2S] = 0,0006/2 = 0,0003н$$

Для определения концентраций ионов  $Mg^{2+}$  и  $S^{2-}$  необходимо выразить концентрации растворов в моль/л, т.е.

$$[Mg(NO_3)_2] = 0,002н = 0,001M;$$

$$[Mg^{2+}] = 1 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л};$$

$$[Na_2S] = 0,0003н = 0,00015M;$$

$$[S^{2-}] = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}$$



Отсюда, произведение концентраций ионов в растворе  $[Mg^{2+}][S^{2-}] = 1 \cdot 10^{-3} \cdot 1,5 \cdot 10^{-4}$ .

Эта величина больше произведения растворимости, следовательно осадок образуется.

### Контрольные задания

126. Растворимость  $BaCO_3$  равна  $8,9 \cdot 10^{-5}$  моль/л. Вычислить произведение растворимости карбоната бария.

127. Произведение растворимости  $PbI_2$  равно  $8,7 \cdot 10^{-6}$ . Вычислить концентрацию ионов  $Pb^{2+}$  и ионов  $I^-$  в насыщенном растворе иодида свинца.

128. Растворимость  $AgI$  равна  $1,2 \cdot 10^{-8}$  моль/л. Вычислите произведение растворимости  $AgI$

129. Растворимость  $Fe(OH)_3$  равна  $1,9 \cdot 10^{-10}$  моль/л. Вычислить произведение растворимости  $Fe(OH)_3$ .

130. В 2 л воды при температуре  $25^\circ C$  растворяется  $2,2 \cdot 10^{-4} г$  бромида серебра. Вычислите произведение растворимости  $AgBr$ .

131. Растворимость сульфата бария в воде равна  $2,45 \cdot 10^{-3} г/л$ . Вычислите произведение растворимости  $BaSO_4$ .

132. Растворимость  $CaCO_3$  при  $18^\circ C$  равна  $6,9 \cdot 10^{-5}$  моль/л. Вычислите произведение растворимости  $CaCO_3$ .

133. Растворимость  $PbBr_2$  при  $18^\circ C$  равна  $2,7 \cdot 10^{-2}$  моль/л. Вычислите произведение растворимости  $PbBr_2$ .

134. Растворимость  $BaCO_3$  равна  $8,9 \cdot 10^{-4}$  моль/л. Вычислите концентрации ионов  $[Ba^{2+}]$  и  $[CO_3^{2-}]$  (моль/л), а также произведение растворимости  $BaCO_3$ .

135. Произведение растворимости  $PbSO_4$  равно  $2,3 \cdot 10^{-8}$ . Сколько литров воды потребуется для растворения 1г  $PbSO_4$ ?

136. Произведение растворимости  $CaSO_4$  равно  $6,0 \cdot 10^{-5}$ . Выпадает ли осадок  $CaSO_4$ , если смешать равные объемы 0,2н растворов  $CaCl_2$  и  $Na_2SO_4$ .

137. Произведение растворимости  $CaCO_3$  равно  $4,8 \cdot 10^{-9}$ . Выпадает ли осадок, если смешать равные объемы 0,001М растворов  $CaCl_2$  и  $Na_2CO_3$ ?

138. Произведение растворимости  $AgCl$  равно  $1,6 \cdot 10^{-10}$ . Выпадает ли осадок, если смешать 20 мл 0,01н раствора  $KCl$  с 6 мл 0,01н раствора  $AgNO_3$

139. Произведение растворимости  $Ag_2Cr_2O_7$  равно  $2,0 \cdot 10^{-7}$ . Выпадет ли осадок при смешении равных объемов 0,01н растворов  $AgNO_3$  и  $K_2Cr_2O_7$ .

140. В 6 литрах насыщенного раствора  $PbSO_4$  содержится 0,186 г иона свинца (II). Вычислить произведение растворимости.

141. Произведение растворимости сульфата цинка  $Pr = 2,3 \cdot 10^{-8}$ . Образуется ли осадок, если к 0,1М раствору  $Na_2SO_4$  прибавить равный объем 0,1н раствора ацетата свинца  $Pb(CH_3COO)_2$ ?

142. Произведение растворимости  $MgF_2$  равно  $7,0 \cdot 10^{-9}$ . Вычислите растворимость этой соли в молях на литр и в граммах на литр. 130. Вычислите произведение растворимости карбоната стронция, если в 5 л насыщенного раствора содержится 0,05 г этой соли.

143. Сколько воды потребуется для растворения 1 г  $BaCO_3$ , произведение растворимости которого равно  $1,9 \cdot 10^{-9}$ ?

144. Растворимость  $\text{AgCl}$  в воде при  $25^{\circ}\text{C}$  равна  $1,3 \cdot 10^{-5}$  моль/л. Вычислите произведение растворимости хлорида серебра при этой температуре и его растворимость в граммах на литр.

## ЭЛЕКТРОДНЫЕ ПОТЕНЦИАЛЫ И ЭЛЕКТРОДВИЖУЩИЕ СИЛЫ

При решении данного раздела см. в Приложении табл.3 «Стандартные электродные потенциалы ( $\Phi^0$ ) некоторых металлов (ряд напряжений)»

Если металлическую пластину опустить в воду, то катионы металла на её поверхности гидратируются полярными молекулами воды и переходят в жидкость. При этом электроны, в избытке остающиеся в металле, заряжают его поверхностный слой отрицательно. Возникает электростатическое притяжение между перешедшими в жидкость гидратированными катионами и поверхностью металла. В результате этого в системе устанавливается подвижное равновесие:



в растворе      на металле

где  $n$  - число электронов, принимающих участие в процессе. На границе металл-жидкость возникает **двойной электрический слой**, характеризующийся определенным скачком потенциала – **электродным потенциалом**. Абсолютное значение электродных потенциалов измерить не удастся. Электродные потенциалы зависят от ряда факторов (природы металла, концентрации, температуры и др.). Поэтому обычно определяют относительные электродные потенциалы в определенных условиях – так называемые стандартные электродные потенциалы ( $\Phi^0$ ).

Стандартным электродным потенциалом металла называют его электродный потенциал, возникающий при погружении металла в раствор собственного иона с концентрацией (или активностью), равной 1 моль/л, измеренный по сравнению со стандартным водородным электродом, потенциал которого при 25°C условно принимается равным нулю ( $\Phi^0 = 0$ ;  $\Delta G^0 = 0$ ).

Располагая металлы в ряд по мере возрастания их стандартных электродных потенциалов ( $\Phi^0$ ), получаем так называемый **ряд напряжений**.

Положение того или иного металла в ряду напряжений характеризует его восстановительную способность, а также окислительные свойства его ионов в водных растворах при стандартных условиях. Чем меньше значение  $\Phi^0$ , тем большими восстановительными способностями обладает данный металл в виде простого вещества и тем меньше окислительные способности проявляют его ионы, и наоборот. Электродные потенциалы измеряются в приборах, которые получили название гальванических элементов. Окислительно-восстановительная реакция, которая характеризует работу гальванического элемента, протекает в направлении, в котором ЭДС элемента имеет положительное значение. В этом случае  $\Delta G^0 < 0$ , так как  $\Delta G^0 = -nFE$ , где  $n$  - число электронов, принимающих участие в процессе;  $F$  - число Фарадея;  $E$  - ЭДС гальванического элемента. Для определения ЭДС гальванического элемента из потенциала катода следует вычесть потенциал анода:

$$E = \Phi_K - \Phi_A$$

**Пример 1.** Стандартный электродный потенциал никеля больше, чем кобальта (см. табл.3). Изменится ли это соотношение, если изменить потенциал никеля в растворе его ионов с концентрацией 0,001 моль/л, а потенциалы кобальта – в растворе с концентрацией 0,1 моль/л?

**Решение:** электродный потенциал металла ( $\varphi$ ) зависит от концентрации его ионов в растворе. Эта зависимость выражается уравнением Нернста:

$$\varphi = \varphi^0 + \frac{0,059}{n} \lg C$$

где  $\varphi^0$  – стандартный электродный потенциал;  $n$  - число электронов, принимающих участие в процессе;  $C$  – концентрация (при точных вычислениях - активность) гидратированных ионов металла в растворе, моль/л;  $\varphi^0$  для никеля и кобальта соответственно равны  $-0,250$  и  $-0,277$  В. Определим электродные потенциалы этих металлов при данных в условии концентрациях:

$$\varphi_{\text{Ni}^{2+}/\text{Ni}} = -2,25 + \frac{0,059}{2} \lg 10^{-3} = -0,339 \text{ В,}$$

$$\varphi_{\text{Co}^{2+}/\text{Co}} = -0,277 + \frac{0,059}{2} \lg 10^{-1} = -0,307 \text{ В.}$$

Таким образом, при изменившейся концентрации потенциал кобальта стал больше потенциала никеля.

**Пример2.** Магниевую пластинку опустили в раствор его соли. При этом электродный потенциал магния оказался равен  $-2,363$ В. Вычислите концентрацию ионов магния (в моль/л).

**Решение.** Подобные задачи также решаются на основании уравнения Нернста (см. пример 1):

$$-2,41 = -2,37 + \frac{0,059}{2} \lg C,$$

$$-0,04 = 0,0295 \lg C,$$

$$\lg C = -\frac{0,04}{0,0295} = -1,3559 = \bar{2},6441$$

$$C_{\text{Mg}^{2+}} = 4,2 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л}$$

**Пример 3.** Составьте схему гальванического элемента, в котором электродами являются магниевая и цинковая пластинки, опущенные в растворы их ионов с активной концентрацией 1 моль/л. Какой металл является анодом, какой катодом? Напишите уравнение окислительно-восстановительной реакции, протекающей в этом гальваническом элементе, и вычислите его ЭДС.

**Решение.** Схема данного гальванического элемента  
 (-) Mg | Mg<sup>2+</sup> || Zn<sup>2+</sup> | Zn (+).

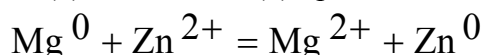
Вертикальной линией обозначается поверхность раздела между металлом и раствором, а двумя – границу раздела двух жидких фаз – пористую перегородку (мили соединительную трубку, заполненную раствором электролита). Магний имеет меньший потенциал (-2,363 В) и является **анодом**, на котором протекает окислительный процесс:



Цинк, потенциал которого -0,763 В, - **катод**, т.е. электрод на котором протекает восстановительный процесс:



Уравнение окислительно-восстановительной реакции, характеризующее работу данного гальванического элемента/, можно получить, сложив электронные уравнения анодного (1) и катодного(2) процессов:



Для определения ЭДС гальванического элемента из потенциала катода следует вычесть потенциал анода. Так как концентрация ионов в растворе равна 1 моль/л, то ЭДС элемента равна разности стандартных потенциалов двух его электродов:

$$E = \varphi_{\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}} - \varphi_{\text{Mg}^{2+}/\text{Mg}} = -0,763 - (-2,37) = 1,607 \text{ В.}$$

### Контрольные задания

145. Рассчитайте ЭДС элемента  $\text{Zn} + 2\text{Ag}^+ \leftrightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{Ag}$ , в котором при 298К установилось равновесие. Цинковый и серебряный электроды опущены в растворы их солей с активной концентрацией их ионов 1 моль/л. Напишите для данного гальванического элемента электронные уравнения реакций, протекающих на аноде и катоде. Составьте схему.

146. При каком условии будет работать гальванический элемент, электроды которого сделаны из одного и того же металла? Составьте схему, напишите электронные уравнения электродных процессов и вычислите ЭДС гальванического элемента, в котором один никелевый электрод находится в 0,001 М растворе, а другой такой же электрод в 0,01 М растворе сульфата никеля.

147. Рассчитайте стандартную ЭДС элемента, в котором установилось равновесие:  $\text{Mg} + \text{Zn}^{2+} \leftrightarrow \text{Mg}^{2+} + \text{Zn}$ ;  $a_{\text{Zn}^{2+}} = 10^{-2}$  моль/л,  $a_{\text{Mg}^{2+}} = 10^{-3}$  моль/л. Напишите электронные уравнения электронных процессов.

148. Рассчитайте ЭДС элемента, в котором при 298К установилось равновесие:  $\text{Cd} + \text{Cu}^{2+} \leftrightarrow \text{Cd}^{2+} + \text{Cu}$ ;  $a_{\text{Cu}^{2+}} = 10^{-3}$  моль/л,  $a_{\text{Cd}^{2+}} = 10^{-2}$  моль/л. Напишите электронные уравнения электродных процессов.

149. Рассчитайте ЭДС элемента, в котором при 298К установилось равновесие:  $\text{Fe} + 2\text{Ag}^+ \leftrightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{Ag}$ , при  $a_{\text{Fe}^{2+}} = 10^{-2}$  моль/л,  $a_{\text{Ag}^+} = 10^{-3}$  моль/л. Напишите электронные уравнения электродных процессов.

150. Составьте схему элемента при  $a_{\text{Ag}^+} = 10^{-1}$  моль/л у одного электрода и  $a_{\text{Ag}^+} = 10^{-4}$  моль/л у другого электрода. Укажите, какой из электродов будет анодом, а какой катодом. Рассчитайте ЭДС элемента.

151. Составьте схему элемента при  $a_{Zn^{2+}}=10^{-2}$  моль/л у одного электрода и  $a_{Zn^{2+}}=10^{-6}$  моль/л у другого электрода. Укажите, какой из электродов будет анодом, а какой катодом. Рассчитайте ЭДС элемента.

152. Определите активность ионов  $Cu^{2+}$  в растворе, в котором установилось равновесие:  $Zn + Cu^{2+} \leftrightarrow Zn^{2+} + Cu$ , если при 298 К ЭДС элемента равна 1,16 В и  $a_{Zn^{2+}}=10^{-2}$  моль/л. Напишите уравнения электродных процессов.

153. При какой активности ионов  $Pb^{2+}$  равновесный потенциал свинцового электрода при 298 К будет равен стандартному потенциалу никелевого электрода?

154. Составьте схему, напишите электронные уравнения электродных процессов и вычислите ЭДС гальванического элемента, состоящего из алюминиевых электродов, опущенных: первый в 0,01 М, второй - в 0,1 М раствора  $Al(NO_3)_3$ .

155. Гальванический элемент составлен из стандартного цинкового электрода и хромового электрода, погруженного в раствор, содержащий ионы  $Cr^{3+}$ . Определите концентрацию ионов  $Cr^{3+}$ , если ЭДС этого гальванического элемента равна 0.

156. Вычислите ЭДС гальванического элемента, составленного из стандартного водородного электрода и цинкового электрода, погруженного в раствор  $ZnSO_4$ , в котором концентрация ионов  $[Zn^{2+}]=0,01$  моль/л. Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на электродах при работе этого элемента.

157. При какой концентрации ионов алюминия значение потенциала алюминиевого электрода становится равным стандартному потенциалу водородного электрода. Составьте схему гальванического элемента и уравнения электродных процессов.

158. Составьте схему, напишите электронные уравнения электродных процессов, вычислите ЭДС медно-кадмиевого гальванического элемента, в котором  $Cd^{2+} = 0,1$  моль/л, а  $Cu^{2+} = 0,01$  моль/л.

159. Никелевый и кобальтовый электроды опущены соответственно в растворы  $Ni(NO_3)_2$  и  $Co(NO_3)_2$ . В каком соотношении должна быть концентрация ионов этих металлов, чтобы потенциалы обоих электродов были одинаковыми? Составьте схему гальванического элемента и уравнения электродных процессов.

160. Гальванический элемент составлен из стандартного водородного электрода и медного электрода, погруженного в раствор своей соли с концентрацией  $[Cu^{2+}]=0,1$  моль/л. Составьте схему, напишите электронные уравнения электродных процессов и вычислите ЭДС этого гальванического элемента.

161. Составьте схему гальванического элемента, состоящего из пластин свинца и цинка, погруженных в растворы солей. Напишите электронные уравнения электродных процессов. Какой концентрации надо взять ионы цинка (в моль/л), чтобы ЭДС элемента стала равной нулю, если  $[Pb^{2+}]=0,01$  моль/л.

162. При какой концентрации ионов свинца значение потенциала свинцового электрода становится равным стандартному потенциалу водородного электрода. Составьте схему гальванического элемента и уравнения электродных процессов

163. Составьте схему, напишите электронные уравнения электродных процессов и вычислите ЭДС гальванического элемента, состоящего из пластин кадмия и магния, погруженных в растворы своих солей с концентрацией 0,1 моль/л.

164. Вычислите ЭДС гальванического элемента, состоящего из стандартного водорода и магниевых электрода, погруженного в раствор  $MgCl_2$ , в котором  $[Mg^{2+}]=0,001$  моль/л. Составьте электронные уравнения электродных процессов.

## ЭЛЕКТРОЛИЗ

**Пример 1.** Какая масса меди выделяется на катоде при электролизе раствора  $\text{CuSO}_4$  в течение 1 ч при силе тока 4А, если выход по току равен 100%? Приведите схему электролиза раствора сульфата меди.

**Решение.** Согласно законам Фарадея

$$m = \frac{m_{\text{Э}} \cdot I \cdot t}{F} \cdot V_i, \quad (1)$$

где  $m$  – масса вещества, окисленного или восстановленного на электроде;  $m_{\text{Э}}$  – эквивалентная масса вещества;  $I$  – сила тока, А;  $t$  – продолжительность электролиза, с;  $F$  – число Фарадея, равное 96500 Кл;  $V_i$  – выход по току, %.

эквивалентная масса меди в  $\text{CuSO}_4$  равна:

$$m_{\text{Э}}(\text{Cu}) = \frac{A}{B} = \frac{63,54}{2} = 31,77 \text{ г/моль}$$

где  $A$  – атомная масса меди,  $B$  – валентность меди.

Подставив в формулу (1) значения  $m_{\text{Э}}=31,77$  г/моль,  $I = 4$  А,  $t = 3600$  с,  $V_i=1$ , получим

$$m = \frac{31,77 \cdot 4 \cdot 3600}{96500} \cdot 1 = 4,74 \text{ г}$$

Схема электролиза раствора сульфата меди:

Катодный процесс:	К: $\text{Cu}^{2+} + 2\bar{e} = \text{Cu}^0$
Анодный процесс:	А: $2\text{OH}^- - 2\bar{e} = \frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$

**Пример 2.** Вычислите эквивалентную массу металла, зная, что при электролизе раствора хлорида этого металла затрачено 3880 Кл электричества и на катоде выделяется 11,742 г металла.

$$m_{\text{Э}} = \frac{11,742 \cdot 96500}{3880} = 29,35 \text{ г/моль}$$

**Решение.** Из формулы (1)  $m_{\text{Э}} = \frac{m}{I \cdot t} \cdot F \cdot V_i$ , где

$I \cdot t = Q$  – количество электричества, Кл.

**Пример 3.** Какие реакции протекают на электродах при электролизе раствора  $\text{K}_2\text{SO}_4$ , Чему равна сила тока при электролизе раствора в течении 1 ч 40 мин 25 с, если на катоде выделилось 1,4 л водорода?

**Решение.** Преобразуем формулу (1)  $I = \frac{mF}{m_{\text{Э}}t}$ , так как дан объем водорода, то

отношение  $\frac{m}{m_{\text{Э}}}$  заменяем отношением  $\frac{V_{\text{H}_2}}{V_{\text{Э}(\text{H}_2)}}$ , где  $V_{\text{H}_2}$  – объем водорода, л;  $V_{\text{Э}(\text{H}_2)} = 11,2$  л/моль эквивалентный объем водорода,  $t = 6025$  с (1 ч 40 мин 25 с = 6025 с). Тогда:

$$I = \frac{V_{\text{H}_2} F}{V_{\text{Э}(\text{H}_2)} t} = \frac{1,4 \cdot 96500}{11,2 \cdot 6025} = 2 \text{ А}$$

В водном растворе сульфата калия протекают реакции диссоциации по уравнениям:  

$$\text{H}_2\text{O} = \text{H}^+ + \text{OH}^- \quad \text{и} \quad \text{K}_2\text{SO}_4 = 2\text{K}^+ + \text{SO}_4^{2-}$$

Схема электролиза раствора сульфата калия:

Катодный процесс:	К: $2\text{H}^+ + 2\bar{e} = \text{H}_2^0$
Анодный процесс:	А: $2\text{OH}^- - 2\bar{e} = \frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$

На аноде выделяется кислород, так как ион  $\text{SO}_4^{2-}$  в этих условиях не окисляется. На катоде выделяется водород, так как стандартный потенциал калия (щелочной металл) более отрицателен, чем потенциал водородного электрода (см. в Приложении табл.3 «Стандартные электродные потенциалы ( $\varphi^0$ ) некоторых металлов (ряд напряжений)» и в водных растворах разряд этих ионов на катоде не происходит.

### Контрольные задания.

**165.** Определите массу хрома, которая выделится на катоде при электролизе сульфата хрома в течение 3-х часов при токе 13,4 А, если выход хрома по току равен 50%. Приведите схему электролиза раствора сульфата хрома.

**166.** Какие реакции протекают на электродах при электролизе раствора сульфата цинка: а) с графитовым анодом; б) с цинковым анодом. Как изменится концентрация ионов цинка в растворе в обоих случаях, если через раствор пропустить ток силой 26,8 А в течение 1 часа. Выход по току на катоде цинка 50%, на аноде - 100%.

**167.** При пропускании тока, силой 2 А в течение 1 часа 14 мин 24 с через водный раствор хлорида металла (II) на одном из графитовых электродов выделился металл массой 2,94 г. Чему равна атомная масса металла, если выход по току 100%, и что это за металл. Напишите уравнения реакций, протекающих на электродах.

**168.** При пропускании тока, силой 2 А в течение 1 часа 14 мин 24 с через водный раствор хлорида металла (II) на одном из графитовых электродов выделился металл массой 2,94 г. Чему равна атомная масса металла, если выход по току 100%, и что это за металл. Напишите уравнения реакций, протекающих на электродах.

**169.** При электролизе сульфата натрия получили при н. у.  $\text{H}_2$  объемом 448 л. Напишите уравнение реакций, протекающих на нерастворимых аноде и катоде и рассчитайте, сколько времени протекал электролиз, если ток был 100 А.

**170.** При электролизе раствора сульфата меди на аноде выделился кислород объемом 560 мл, измеренный при н. у. Сколько граммов меди выделилось на катоде? Приведите схему электролиза.

**171.** Электролиз раствора сульфата цинка проводили с нерастворимым анодом в течении 6,7 часов, в результате чего выделился кислород объемом 5,6 л, измеренный при н. у. Вычислите ток и массу осажденного цинка при выходе его по току 70%. Приведите схему электролиза.



**172.** Напишите уравнение реакций, протекающих на нерастворимых электродах при электролизе водного раствора КОН. Какие вещества и в каком объеме можно получить при н. у., если пропустить ток 13,4 А в течении 2-х часов.

**173.** Напишите уравнение реакций, протекающих на графитовых электродах при электролизе: а) расплава  $MgCl_2$ , б) раствора  $MgCl_2$ . Сколько времени необходимо вести электролиз при токе 2 А, чтобы на катоде выделилось вещество массой 2,43 г (для реакций а) и б) ).

**174.** Через раствор  $PbSO_4$  пропущено 2 F электричества. Как изменится количество  $Pb^{2+}$  в растворе, если электроды: а) графитовые, б) свинцовые. Выход по току свинца составляет на катоде 50%, на аноде - 100%.

**175.** Найти эквиваленты олова, зная, что при токе, силой 2,5 А из раствора  $SnCl_2$  за 30 минут выделяется 2,77 г олова. Написать схему электролиза раствора  $SnCl_2$ .

**176.** При электролизе водного раствора  $Cr_2(SO_4)_3$  током, силой 2 А масса катода увеличилась на 8 г. В течении какого времени проводили электролиз? Составьте электронные уравнения процессов, происходящих при электролизе.

**177.** Сколько времени пропускали ток силой 8 А через раствор сульфата никеля, если масса никелевого анода стала на 0,8805 г меньше? (Написать схему электролиза сульфата никеля).

**178.** Составьте уравнения реакций происходящих при электролизе: а) раствора  $NaBr$ ; б) расплава  $NaBr$ . Рассчитайте массу веществ, которые выделяются на электродах при прохождении 3,2 А·ч электричества.

**179.** Напишите уравнения реакций, протекающих на электродах при электролизе водного раствора нитрата меди: а) с графитовым анодом, б) с медным анодом. Рассчитайте массу веществ, выделившихся на электродах в случаях *а* и *б* при нахождении 6А в течении 2-х часов.

**180.** При электролизе водного раствора сульфата хрома (III) током силой 2 А масса катода увеличилась на 8 г. В течение какого времени проводили электролиз, если выход по току составляет 50%. Составьте схему электролиза соли.

**181.** При электролизе раствора  $CuSO_4$  на аноде выделилось 168 см<sup>3</sup> газа (н.у.) Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на электродах, и вычислите, какая масса меди выделилась на катоде.

**182.** В какой последовательности выделяются на катоде металлы при электролизе раствора, содержащего ионы  $Ni^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Ag^+$ ,  $Fe^{2+}$ . Составьте схему электродных процессов при электролизе водного раствора  $NiSO_4$ . Сколько граммов никеля выделится на катоде, если на процесс затрачено 13,4 А·ч. Выход по току никеля составляет 80%.

**183.** Электролиз раствора  $K_2SO_4$  проводили с нерастворимыми электродами при токе 2,68А в течении 1 часа. Составьте уравнения процессов, происходящих на электродах, вычислите объем выделяющихся при н.у. на электродах веществ.

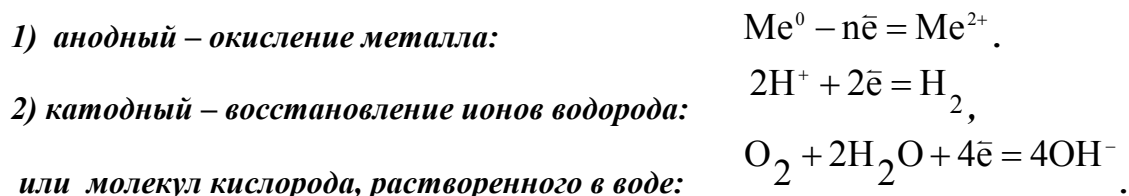
**184.** Рассчитайте выход по току кадмия, если при электролизе раствора  $CdCl_2$  в течении 1 часа на катоде выделился кадмий массой 5,62 г, а ток был равен 5,36А. Приведите схему электролиза  $CdCl_2$ .

## КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛОВ

При решении данного раздела см. табл.3 в Приложении «Стандартные электродные потенциалы ( $\Phi^0$ ) некоторых металлов (ряд напряжений)»

Коррозия – это самопроизвольно протекающий процесс разрушения металлов в результате химического или электрохимического взаимодействия их с окружающей средой.

При электрохимической коррозии на поверхности металла одновременно протекают два процесса:



*Ионы или молекулы, которые восстанавливаются на катоде, называются деполяризаторами. При атмосферной коррозии – коррозии во влажном воздухе при комнатной температуре – деполяризатором является кислород.*

**Пример 1.** Как происходит коррозия цинка, находящегося в контакте с кадмием в нейтральном и кислом растворе. Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов. Каков состав продуктов коррозии?

**Решение.** Цинк имеет более отрицательный потенциал (-0,763 В), чем кадмий (-0,403 В), поэтому он является анодом, а кадмий - катодом.

Анодный процесс:	А: $Zn^0 - 2\bar{e} = Zn^{2+}$
Катодный процесс:	К: $2H^+ + 2\bar{e} = H_2$
а) в кислой среде	
б) в нейтральной среде	К: $\frac{1}{2}O_2 + H_2O + 2\bar{e} = 2OH^-$

Так как ионы  $Zn^{2+}$  с гидроксильной группой образуют нерастворимый гидроксид, то продуктом коррозии будет  $Zn(OH)_2$ .

### Контрольные задания.

**185.** Две цинковые пластинки, частично покрытые одна оловом, другая медью, находятся во влажном воздухе. Какая из этих пластинок быстрее подвергается коррозии? Почему? Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов коррозии этих пластинок.

**186.** Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов с кислородной и водородной деполяризацией при коррозии пары Mg - Pb.

**187.** Составьте электронные уравнения коррозии железа, покрытого цинком, и железа, покрытого свинцом в кислой среде и во влажном воздухе.

**188.** Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов с кислородной и водородной деполяризацией при коррозии Al - Pb.

**189.** Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов коррозии никеля, покрытого медью при нарушении покрытия во влажном воздухе и в соляной кислоте.

**190.** Какие процессы возможны при контакте железа с раствором соляной кислоты. Какие методы защиты железа от коррозии можно рекомендовать в этом случае. Напишите уравнения процессов.

**191.** В раствор соляной кислоты поместили две алюминиевых пластинки, одна из которых частично покрыта медью. В каком случае процесс коррозии алюминия происходит интенсивнее. Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов. Ответ мотивируйте.

**192.** В раствор электролита, содержащего растворенный кислород, опустили две цинковых пластинки, одна из которых частично покрыта медью. В каком случае процесс коррозии цинка происходит интенсивнее. Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов.

**193.** Объясните, почему в атмосферных условиях железо корродирует, а золото нет. Объяснение подтвердите расчетами.

**194.** Железное изделие покрыли свинцом. Какое это покрытие? Анодное или катодное? Почему? Составьте уравнения анодного и катодного процессов коррозии этого изделия при нарушении целостности покрытия во влажном воздухе и в растворе соляной кислоты. Какие продукты коррозии образуются в первом и втором случаях.

**195.** Какое покрытие металла называется анодным, а какое катодным. Назовите металлы, которые можно использовать для анодного и катодного покрытия железа во влажном воздухе и в сильно кислой среде. Напишите уравнения процессов, протекающих при коррозии луженого железа.

**196.** В чем сущность протекторной защиты металлов от коррозии. Приведите пример протекторной защиты железа в электролите, содержащем растворенный кислород. Составьте уравнение анодного и катодного процессов.

**197.** Медь не вытесняет водород из разбавленных кислот. Почему? Однако, если к медной пластинке, опущенной в кислоту, прикоснуться цинковой, то на меди начинается бурное выделение водорода. Объясните это явление, составьте уравнение анодного и катодного процессов. Напишите уравнение протекающей химической реакции.

**198.** Как происходит атмосферная коррозия луженого и оцинкованного железа при нарушении целостности покрытия. Составьте уравнение анодного и катодного процессов.

**199.** Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов с кислородной и водородной деполяризацией при коррозии пары Mg - Ni.

**200.** Составьте электронные уравнения коррозии железа, покрытого магнием, и железа, покрытого свинцом в кислой среде и во влажном воздухе.

**201.** Составьте электронные уравнения катодного и анодного процессов с кислородной и водородной деполяризацией при коррозии пары Al – Ni

**202.** Две железные пластинки, частично покрытые одна оловом, другая медью, находятся во влажном воздухе. На какой из этих пластинок быстрее образуется ржавчина. Почему. Составьте электронные уравнения катодного и анодного процессов коррозии этих пластинок. Каков состав продуктов коррозии железа.

**203.** Как протекает атмосферная коррозия железа, покрытого слоем серебра, если покрытие нарушено. Составьте электронные уравнения катодного и анодного процессов. Каков состав продуктов коррозии

**204.** Составьте электронные уравнения процессов, происходящих при коррозии сплава Sn-Zn в кислой среде и во влажном воздухе.

## ПОЛИМЕРЫ

**205.** Составьте уравнение реакции полимеризации пропилена и изобутилена.

Вычислите степень полимеризации, если сополимер имеет молекулярную массу 160000.

**206.** Рассчитать молекулярную массу поливинилхлорида, если степень полимеризации равна 300. Напишите уравнение реакции полимеризации винилхлорида.

**207.** Сколько по объему (н.у.) этилена потребуется для получения 5,6 кг полиэтилена? Чему равен молекулярный вес (средний) полимера, если степень полимеризации равна 100? Напишите схему получения полиэтилена.

**208.** Полимером какого неопределенного углеводорода является натуральный каучук? Напишите структурную формулу этого углеводорода. Как называется процесс превращения каучука в резину? Чем по строению и свойствам различаются каучук и резина?

**209.** Какие углеводороды называются диеновыми. Какая общая формула выражает состав этих углеводородов. Составьте схему полимеризации дивинила.

**210.** Как называют углеводороды, представители которого является изопрен. Составьте схему сополимеризации изопрена и изобутилена.

**211.** Какие соединения называются элементоорганическими и кремнийорганическими? Укажите важнейшие их физико-химические свойства области их применения.

**212.** Какие полимеры называются термопластичными и терморезистивными. Укажите три состояния полимеров. Чем характеризуется переход из одного состояния в другое.

**213.** Напишите структурную формулу метаакислоты. Какое соединение получится при взаимодействии ее с метиловым спиртом. Приведите схему полимеризации образующего продукта и укажите области его использования.

**214.** Составьте схему сополимеризации стирола и бутадиена. Какими свойствами обладает полученный продукт и где он используется?

**215.** Составьте схему полимеризации тетрафторэтилена  $\text{CF}_2 = \text{CF}_2$ . Какими свойствами обладает полученный продукт и где он используется?

**216.** Основные способы получения полимеров из мономеров. Приведите примеры.

**217.** Старение полимеров. Какие факторы влияют на ускорение старения полимерных материалов. Методы замедления старения.

**218.** Электрические свойства полимеров.

**219.** Рассчитать молекулярную массу полиацетилена, если степень полимеризации равна 200. Напишите уравнение реакции полимеризации полиацетилена и какими свойствами он обладает.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Коровин Н.В. Общая химия: учеб. для технических направлений и спец. вузов / Н.В.Коровин ; Мин.образов. РФ. - - 2-е изд., исправленное и дополненное - М. : Высшая школа, 2007.
2. Коровин Н.В. Общая химия : учеб. для технических направлений и спец. вузов / Н.В.Коровин ; Мин.образов. РФ. - 11-е изд., стереотипное. - М.: Высшая школа, 2009.
3. Ахметов Н.С. Общая и неорганическая химия. Учебник.- М.: Высшая школа, 2009.
4. Задачи и упражнения по общей химии: Учебное пособие/ Мин. образов. и науки РФ; Под ред. Н.В. Коровина. - М.: Высшая школа, 2008
5. Н.И. Зубрев «Инженерная химия на железнодорожном транспорте» М. Желдорпресс 2002 г.
6. Сборник задач и упражнений по общей химии: Учебное пособие/ С.А. Пузаков, В.А. Попков, А.А. Филиппова.- М.: Высш.шк., 2004.
7. Задачи и упражнения по общей химии : Учебное пособие/ Мин. образов. и науки РФ; Под ред. Н.В. Коровина. -М.: Высшая школа, 2003.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1.

**Энергия ( потенциал ) ионизации и электроотрицательность атомов элементов**

Порядковый номер элемента	Периоды	Элемент	Потенциал ионизации, эВ	Электроотрицательность, эВ
1	2	3	4	5
1	I	H	1354	2,15
2		He	24,48	-
3	II		5,37	1
4		Be	9,3	1,5
5		B	8,28	2,0
6		C	11,24	2,5
7		N	12,54	3,0
8		O	13,61	3,5
9		F	17,42	4,0
10		Ne	21,55	-
11	III	Na	5,14	0,9
12		Mg	7,64	1,2
13		Al	7,98	1,5
14		Si	8,14	1,8
15		P	10,55	2,1
16		S	10,35	2,5
17		Cl	13,01	3,0
18		Ar	15,75	-
19	IV	K	4,23	0,8
20		Ca	6,11	1,0
21		Sc	6,56	0,9
22		Ti	6,73	1,5
23		V	6,74	1,6
24		Cr	6,76	1,6
25		Mn	7,43	1,5
26		Fe	7,90	1,8
27		Co	7,89	1,7
28		Ni	7,63	1,8
29		Cu	7,72	1,9
30		Zn	9,39	1,6
31		Ga	6,00	1,6
32		Ge	7,88	2,0
33		As	9,81	2,0
34		Se	9,75	2,4
35		Br	11,84	2,9
36		Kr	13,99	2,9

37	V	Rb	4,18	0,8
38		Sr	5,69	1,0
39		Y	6,38	1,2
40		Zr	6,83	1,4
41		Nb	6,88	1,6
42		Mo	7,13	1,8
43		Tc	7,23	1,9
44		Ru	7,36	2,2
45		Rh	7,46	2,2
46		Rd	8,33	2,2
47		Ag	7,57	1,9
48		Cd	8,99	1,7
49		Zn	5,78	1,7
50		Sn	7,33	1,8
51		Sb	8,64	1,9
52		Te	9,01	2,1
53		I	10,44	2,5
54		Xe	12,12	-
55	VI	Cs	3,78	0,7
56		Ba	5,81	0,9
57		La	5,61	0,9
72		Hf	5,5	1,3
73		Ta	7,7	1,5
74		W	7,98	1,7
75		Re	7,87	1,9
76		Os	8,7	2,2
77		Ir	9,2	2,2
78		Pt	8,96	2,2
79		Au	9,22	2,4
80		Hg	10,43	1,9
81		Tl	6,1	1,8
82		Rb	7,41	1,8
83		Bi	7,27	1,9
84		Po	8,2	2,0
85		At	9,2	2,2
86		Rn	10,74	-
87	VII	Fr	3,98	0,7
88		Ra	5,27	0,9
89		Ac	6,89	1,1
104		Ku	-	-



Таблица 2.

**Стандартные теплоты ( энтальпия ) образования  $\Delta H^0_{298}$ ;  
энтропии  $S^0_{298}$  и энергии Гиббса образования  $\Delta G^0_{298}$   
некоторых веществ**

<b>Вещество</b>	<b><math>\Delta H^0_{298}</math>, кДж/моль</b>	<b><math>S^0_{298}</math>, Дж (моль · К )</b>	<b><math>\Delta G^0_{298}</math>, кДж/моль</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Простые вещества</b>			
Ag <sub>(к)</sub>	0	42,55	0
Al <sub>(к)</sub>	0	28,33	0
Br <sub>(г)</sub>	0	152,21	0
C <sub>(графит)</sub>	0	5,74	0
Cl <sub>(г)</sub>	0	222,95	0
Cu	0	33,14	0
Fe <sub>(к)</sub>	0	27,15	0
H <sub>2(г)</sub>	0	130,52	0
Hg <sub>(ж)</sub>	0	75,90	0
Mg <sub>(к)</sub>	0	32,68	0
N <sub>2(г)</sub>	0	191,50	0
O <sub>2(г)</sub>	0	205,04	0
S <sub>(к, ромб.)</sub>	0	32,9	0
Ti <sub>(к)</sub>	0	30,6	0
<b>Неорганические соединения</b>			
Ag <sub>2</sub> O <sub>(к)</sub>	-31,1	121,0	-11,3
AgNO <sub>3(к)</sub>	-124,5	140,9	-33,6
Al <sub>2</sub> O <sub>3(к)</sub>	-1676	49,9	-1582
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3(к)</sub>	-3442	239,2	-3101
B <sub>2</sub> H <sub>6(г)</sub>	38,5	232,0	89,6
BaCO <sub>3(к)</sub>	-1202	112,1	-1164,8
BaO <sub>(к)</sub>	-553,54	70,29	-525,84
Ba(OH) <sub>2(к)</sub>	-943,49	100,83	-855,42
CO <sub>(г)</sub>	-110,53	197,55	-137,15
CO <sub>2(г)</sub>	-393,51	213,66	-394,37
CaO <sub>(к)</sub>	-635,09	38,07	-603,46
CaCO <sub>3(к)</sub>	-1206,83	91,71	-1128,35
Ca(OH) <sub>2</sub>	-985,12	83,39	-897,52
CS <sub>2</sub>	+88,7	151,0	64,4
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	+226,75	200,82	+209,20
CrCl <sub>3(к)</sub>	-556,47	123,01	-486,37
FeO <sub>(к)</sub>	-264,8	60,75	-244,3
Fe <sub>2</sub> O <sub>3(к)</sub>	-822,16	87,45	-740,34
Fe <sub>3</sub> O <sub>4(к)</sub>	-1117,1	146,2	-1014,2
Fe(OH) <sub>2(к)</sub>	-561,7	88,0	-479,7

Fe(OH) <sub>3(к)</sub>	-826,6	105,0	-699,6
HCl <sub>(г)</sub>	-92,31	186,79	-95,30
H <sub>2</sub> O <sub>(к)</sub>	-291,85	(39,33)	-
H <sub>2</sub> O <sub>(ж)</sub>	-285,83	69,95	-237,23
H <sub>2</sub> O <sub>(г)</sub>	-241,81	188,72	-228,61
H <sub>2</sub> O <sub>2(ж)</sub>	-187,8	109,5	-120,4
HCN <sub>(г)</sub>	135,0	113,1	125,5
H <sub>2</sub> SO <sub>4(ж)</sub>	-813,99	156,90	-690,14
HNO <sub>3(ж)</sub>	-173,00	156,16	-79,90
HgCl <sub>2</sub>	-229,00	242,3	-197,4
HgO <sub>(к) красн.</sub>	-90,9	70,29	-58,6
HgS <sub>(к) α</sub>	-59,0	82,4	-51,4
KCl <sub>(к)</sub>	-436,68	82,55	-408,93
K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7(к)</sub>	-2067,27	291,21	-1887,85
KMnO <sub>4(к)</sub>	-828,89	+171,54	-729,14
KNO <sub>3(к)</sub>	-493,2	132,93	-393,1
K <sub>2</sub> SO <sub>4(к)</sub>	-1433,69	175,56	-1316,04
MnO <sub>2(к)</sub>	-521,49	53,14	-466,68
MgC <sub>(к)</sub>	-601,49	27,07	-569,27
MnSO <sub>4(к)</sub>	-3089,50	348,1	-2635,1
NH <sub>3(г)</sub>	-46,2	192,5	-16,7
NH <sub>4</sub> Cl <sub>(к)</sub>	-314,2	94,5	-203,2
N <sub>2</sub> H <sub>4(г)</sub>	-50,50	12,1	149,2
NaBr	-151,86	62,1	-
NO <sub>(г)</sub>	91,26	210,64	87,58
NO <sub>2(г)</sub>	33	240,2	51,5
NaOH <sub>(ж)</sub>	-426,35	64,43	-380,29
Na <sub>2</sub> SO <sub>3(к)</sub>	-1089,43	146,02	-1001,21
Na <sub>2</sub> SO <sub>4(к)</sub>	-4324,75	591,87	-3644,09
Pb <sub>3</sub> O <sub>4(к)</sub>	-723,41	211,29	-606,17
PbCl <sub>2(к)</sub>	-359,82	135,98	-314,56
PbO <sub>2(к)</sub>	-276,56	71,92	-217,55
Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2(к)</sub>	-451,7	217,9	-256,9
SO <sub>2(г)</sub>	-296,90	248,1	-300,21
SO <sub>3(ж)</sub>	-439,0	122	-368,4
TiO <sub>2(к)</sub>	-938,6	49,92	-883,3
ZnO <sub>(к)</sub>	-350,6	43,64	-320,7
Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2(к)</sub> · 6H <sub>2</sub> O	-2306,8	462,3	-1174,9
Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2(к)</sub>	-483,7	-	-

Таблица 3

**Стандартные электродные потенциалы ( $\phi^0$ )  
некоторых металлов (ряд напряжений) при 298К.**

Электродная полуреакция	$\phi^0$ , В	Электродная полуреакция	$\phi^0$ , В
$\text{Li}^+$ (водн.) + $1e^- = \text{Li}$ (тв.)	-3.045	$\text{Cd}^{2+}$ (водн.) + $2e^- = \text{Cd}$ (тв.)	-0.403
$\text{Rb}^+$ (водн.) + $1e^- = \text{Rb}$ (тв.)	-2.925	$\text{Co}^{2+}$ (водн.) + $2e^- = \text{Co}$ (тв.)	-0.277
$\text{K}^+$ (водн.) + $1e^- = \text{K}$ (тв.)	-2.924	$\text{Ni}^{2+}$ (водн.) + $2e^- = \text{Ni}$ (тв.)	-0.250
$\text{Cs}^+$ (водн.) + $1e^- = \text{Cs}$ (тв.)	-2.923	$\text{Sn}^{2+}$ (водн.) + $2e^- = \text{Sn}$ (тв.)	-0.136
$\text{Ba}^{2+}$ (водн.) + $2e^- = \text{Ba}$ (тв.)	-2.905	$\text{Pb}^{2+}$ (водн.) + $2e^- = \text{Pb}$ (тв.)	-0.126
$\text{Ca}^{2+}$ (водн.) + $2e^- = \text{Ca}$ (тв.)	-2.866	$\text{Fe}^{3+}$ (водн.) + $3e^- = \text{Fe}$ (тв.)	-0.037
$\text{Na}^+$ (водн.) + $e^- = \text{Na}$ (тв.)	-2.714	$2\text{H}^+$ (водн.) + $2e^- = \text{H}_2$ (г.)	0.000
$\text{Mg}^{2+}$ (водн.) + $2e^- = \text{Mg}$ (тв.)	-2.363	$\text{Sb}^{3+}$ (водн.) + $3e^- = \text{Sb}$ (тв.)	+0.200
$\text{Al}^{3+}$ (водн.) + $3e^- = \text{Al}$ (тв.)	-1.663	$\text{Bi}^{3+}$ (водн.) + $3e^- = \text{Bi}$ (тв.)	+0.215
$\text{Ti}^{2+}$ (водн.) + $2e^- = \text{Ti}$ (тв.)	-1.630	$\text{Cu}^{2+}$ (водн.) + $2e^- = \text{Cu}$ (тв.)	+0.337
$\text{Zr}^{4+}$ (водн.) + $4e^- = \text{Zr}$ (тв.)	-1.539	$\text{Cu}^+$ (водн.) + $e^- = \text{Cu}$ (тв.)	+0.520
$\text{Mn}^{2+}$ (водн.) + $2e^- = \text{Mn}$ (тв.)	-1.179	$\text{Ag}^+$ (водн.) + $e^- = \text{Ag}$ (тв.)	+0.799
$\text{V}^{2+}$ (водн.) + $2e^- = \text{V}$ (тв.)	-1.175	$\text{Hg}^{2+}$ (водн.) + $2e^- = \text{Hg}$ (ж.)	+0.850
$\text{Cr}^{2+}$ (водн.) + $2e^- = \text{Cr}$ (тв.)	-0.913	$\text{Pd}^{2+}$ (водн.) + $2e^- = \text{Pd}$ (тв.)	+0,987
$\text{Zn}^{2+}$ (водн.) + $2e^- = \text{Zn}$ (тв.)	-0.763	$\text{Pt}^{2+}$ (водн.) + $2e^- = \text{Pt}$ (тв.)	+1,188
$\text{Cr}^{3+}$ (водн.) + $3e^- = \text{Cr}$ (тв.)	-0.744	$\text{Au}^{3+}$ (водн.) + $3e^- = \text{Au}$ (тв.)	+1,498
$\text{Fe}^{2+}$ (водн.) + $2e^- = \text{Fe}$ (тв.)	-0.440	$\text{Au}^+$ (водн.) + $e^- = \text{Au}$ (тв.)	+1,692

Таблица 4

**Растворимость солей и оснований в воде**

(Р - растворимое вещество, М - малорастворимое вещество, Н - практически нерастворимое вещество, черта означает, что не существует или разлагается водой)

Анионы	Катионы								
	$\text{Li}^+$	$\text{Na}^+, \text{K}^+$	$\text{NH}_4^+$	$\text{Cu}^{2+}$	$\text{Ag}^+$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Sr}^{2+}$	$\text{Ba}^{2+}$
$\text{Cl}^-$	Р	Р	Р	Р	Н	Р	Р	Р	Р
$\text{Br}^-$	Р	Р	Р	Р	Н	Р	Р	Р	Р
$\text{I}^-$	Р	Р	Р	-	Н	Р	Р	Р	Р
$\text{NO}_3^-$	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р
$\text{CH}_3\text{COO}^-$	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р
$\text{S}^{2-}$	Р	Р	Р	Н	Н	-	Р	Р	Р
$\text{SO}_3^{2-}$	Р	Р	Р	Н	Н	Н	Н	Н	Н
$\text{SO}_4^{2-}$	Р	Р	Р	Р	М	Р	М	Н	Н
$\text{CO}_3^{2-}$	Р	Р	Р	-	Н	Н	Н	Н	Н
$\text{SiO}_3^{2-}$	Р	Р	-	-	-	Н	Н	Н	Н
$\text{CrO}_4^{2-}$	Р	Р	Р	Н	Н	Р	М	М	Н
$\text{PO}_4^{3-}$	Н	Р	Р	Н	Н	Н	Н	Н	Н
$\text{OH}^-$	Р	Р	Р	Н	-	Н	М	М	Р



периоды	ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ Д.И.МЕНДЕЛЕЕВА							VIII			
	I	II	III	IV	V	VI	VII				
1	<b>1H</b> водород 1,008										<b>2He</b> гелий 4,002
2	<b>3Li</b> литий 6,94	<b>4Be</b> бериллий 9,01	<b>5B</b> бор 10,81	<b>6C</b> углерод 12,01	<b>7N</b> азот 14,006	<b>8O</b> кислород 15,9	<b>9F</b> фтор 18,998				<b>10Ne</b> неон 20,179
3	<b>11Na</b> натрий 22,989	<b>12Mg</b> магний 24,31	<b>13Al</b> 26,98 алюминий	<b>14Si</b> кремний 28,08	<b>15P</b> фосфор 30,973	<b>16S</b> серы 32,06	<b>17Cl</b> хлор 35,453				<b>18Ar</b> аргон 39,948
4	<b>19K</b> калий 39,09	<b>20Ca</b> кальций 40,08	<b>21Sc</b> скандий 44,95	<b>22Ti</b> титан 47,90	<b>23V</b> ванадий 50,94	<b>24Cr</b> хром 51,996	<b>25Mn</b> марганец 54,9	<b>26Fe</b> железо 55,84	<b>27Co</b> кобальт 58,93	<b>28Ni</b> никель 58,70	
	<b>29Cu</b> медь 63,546	<b>30Zn</b> цинк 65,38	<b>31Ga</b> галлий 69,72	<b>32Ge</b> германий 72,5	<b>33As</b> мышьяк 74,92	<b>34Se</b> селен 78,96	<b>35Br</b> бром 79,904				<b>36Kr</b> криптон 83,80
5	<b>37Rb</b> рубидий 85,46	<b>38Sr</b> стронций 87,6	<b>39Y</b> иттрий 88,905	<b>40Zr</b> цирконий 91,2	<b>41Nb</b> ниобий 92,906	<b>42Mo</b> молибден 95,9	<b>43Tc</b> технеций [97]	<b>44Ru</b> рутений 101,0	<b>45Rh</b> родий 102,90	<b>46Pd</b> палладий 106,4	
	<b>47Ag</b> серебро 107,8	<b>48Cd</b> кадмий 112,40	<b>49In</b> индий 114,82	<b>50Sn</b> олово 118,69	<b>51Sb</b> сурьма 121,7	<b>52Te</b> теллур 127,6	<b>53I</b> йод 126,9045				<b>54Xe</b> ксенон 131,30
6	<b>55Cs</b> цезий 132,905	<b>56Ba</b> барий 137,34	<b>57La*</b> лантан 138,90	<b>72Hf</b> гафний 178,49	<b>73Ta</b> тантал 180,94	183,35 <b>74W</b> вольфрам	<b>75Re</b> рений 186,207	<b>76Os</b> осмий 190,2	<b>77Ir</b> иридий 192,22	<b>78Pt</b> платина 195,0	
	<b>79Au</b> золото 196,96	<b>80Hg</b> ртуть 200,59	<b>81Tl</b> таллий 204,37	<b>82Pb</b> свинец 207,2	<b>83Bi</b> висмут 208,98	<b>84Po</b> полоний [209]	<b>85At</b> астат [210]	<b>86Rn</b> радон [222]			
7	<b>87Fr</b> франций [223]	<b>88Ra</b> радий [226]	<b>89Ac**</b> актиний [227]	[261] <b>104Rf</b> резерфордий	<b>105Db</b> дубний [262]	<b>106Sg</b> сиборгий [263]	<b>107Bh</b> борий [264]	<b>108Hs</b> хассий [265]	<b>[266]109Mt</b> мейтнерий		

\* ЛАНТНОИДЫ

<b>58Ce</b> церий 140,12	<b>59Pr</b> празеодим 140,9077	<b>60Nd</b> неодим 144,24	<b>61Pm</b> прометий [145]	<b>62Sm</b> самарий 150,4	<b>63Eu</b> европий 151,96	<b>64Gd</b> гадолиний 157,25	<b>65Tb</b> тербий 158,9254	<b>66Dy</b> диспрозий 162,50	<b>67Ho</b> гольмий 164,9304	<b>68Er</b> эрбий 167,26	<b>69Tm</b> тулий 168,9342	<b>70Yb</b> иттербий 173,04	<b>71Lu</b> лютеций 174,97
--------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	----------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	----------------------------------

\*\* АКТИНОИДЫ

<b>90Th</b> торий 232,038	<b>91Pa</b> протактиний [231]	<b>92U</b> уран 238,02	<b>93Np</b> нептуний [237]	<b>94Pu</b> плутоний [244]	<b>95Am</b> америций [243]	<b>96Cm</b> кюрий [247]	<b>97Bk</b> берклий [247]	<b>98Cf</b> калифорний [251]	<b>99Es</b> энштейний [254]	<b>100Fm</b> фермий [257]	<b>101Md</b> менделеевий [258]	<b>102No</b> нобелий [259]	<b>103Lr</b> лоуренсий [260]
---------------------------------	-------------------------------------	------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	---------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	---------------------------------	--------------------------------------	----------------------------------	------------------------------------

