Константы

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

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

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

Содержание

Регламент олимпиады **3**

Задача №1. Заряженная термохимия (12%) **4**

Задача №2. Синоит (12%) **5**

Задача №3. Кристаллические решетки (12%) **6**

Задача №4. Пожелтевшая угадайка (11%) **7**

Задача №5. Мне, пожалуйста, 5 бешбармаков мяса (11%) **7**

Задача №6. Смесь карбонатов (12%) **8**

Регламент олимпиады:

Перед вами находится комплект задач республиканской олимпиады 2026 года по химии. **Внимательно** ознакомьтесь со всеми нижеперечисленными инструкциями и правилами. У вас есть **5 астрономических часов (300 минут)** на выполнение заданий олимпиады. Ваш результат – сумма баллов за каждую задачу, с учетом весов каждой из задач.

Вы можете решать задачи в черновике, однако, не забудьте перенести все решения на листы ответов. Проверяться будет **только то, что вы напишете внутри специально обозначенных квадратиков**. Черновики проверяться **не будут**. Учтите, что вам **не будет выделено** дополнительное время на перенос решений на бланки ответов.

Вам **разрешается** использовать графический или инженерный калькулятор.

Вам **запрещается** пользоваться любыми справочными материалами, учебниками или конспектами.

Вам **запрещается** пользоваться любыми устройствами связи, смартфонами, смарт-часами или любыми другими гаджетами, способными предоставлять информацию в текстовом, графическом и/или аудио формате, из внутренней памяти или загруженную с интернета.

Вам **запрещается** пользоваться любыми материалами, не входящими в данный комплект задач, в том числе периодической таблицей и таблицей растворимости. На **титульной странице** предоставляем единую версию периодической таблицы.

Вам **запрещается** общаться с другими участниками олимпиады до конца тура. Не передавайте никакие материалы, в том числе канцелярские товары. Не используйте язык жестов для передачи какой-либо информации.

За нарушение любого из данных правил ваша работа будет **автоматически** оценена в **0 баллов**, а прокторы получат право вывести вас из аудитории.

На листах ответов пишите **четко** и **разборчиво**. Рекомендуется обвести финальные ответы карандашом. **Не забудьте указать единицы** измерения **(ответ без единиц измерения будет не засчитан)**. Соблюдайте правила использования числовых данных в арифметических операциях. Иными словами, помните про существование значащих цифр.

Если вы укажете только конечный результат решения без приведения соответствующих вычислений, то Вы получите **0** баллов, даже если ответ правильный.

Задача №1. Заряженная термохимия

1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	Всего	Вес (%)
1	3	3	3	3	3	2	2	20	12

При описании химической связи выделяют ковалентную и ионную составляющие, которые можно оценить по отдельности. Преобладание той или иной зависит от природы образующих связь атомов. При этом ковалентная составляющая ($E_{ков}$) всегда оказывается меньше, а ионная ($E_{ион}$) – больше экспериментального значения энергии связи ($E_{св}$).

1. В какой двухатомной молекуле в наибольшей степени преобладает ионная составляющая?

Энергию $E_{ков}$ в двухатомной молекуле XY можно оценить, используя значения энергий связи в соответствующих гомоядерных молекулах X_2 и Y_2. Для этого существуют два подхода:

1) основанный на среднем арифметическом: $E_{ков} = \frac{E_{св}(X{-}X) + E_{св}(Y{-}Y)}{2}$

2) основанный на среднем геометрическом: $E_{ков} = \sqrt{E_{св}(X{-}X) \times E_{св}(Y{-}Y)}$

Ниже приведены экспериментальные значения энергий связи для некоторых молекул в газовой фазе:

Молекула	H_2	Na_2	I_2	NaH	HI
$E_{св}$, кДж моль$^{-1}$	433	77	151	219	299

2. Определите диапазон значений $E_{св}$(X–X) (в кДж моль$^{-1}$), для которого разница между значениями $E_{ков}$(X–H), рассчитанными двумя способами, будет меньше 20 кДж моль$^{-1}$.
3. Какой из двух способов расчёта $E_{ков}$ даёт неразумную оценку для одной из молекул в приведённой выше таблице? Ответ подтвердите расчетом.

Сравним теоретически молекулу HI, в которой связь была бы чисто ковалентной, с реальной молекулой.

4. Рассчитайте изменение энтальпии в процессе превращения реальной молекулы HI в теоретическую «чисто ковалентную», используя **оба** подхода для расчёта $E_{ков}$.

Энергию $E_{ион}$ можно оценить из энергии электростатического притяжения двух точечных зарядов q_1 и q_2:

$$E_{ион} = k \times \frac{|q_1 q_2|}{r},$$

где $k = 8.988 \times 10^9$ Н м^2 Кл$^{-2}$, r - расстояние между зарядами.

Для образования ионной структуры необходимо ионизировать атомы, что требует значительных затрат энергии. При этом теоретически можно ожидать различные варианты разделения зарядов, например для иодоводорода: H^+I^- и H^-I^+. Для оценки их относительной стабильности можно использовать значения энергии ионизации (I, ΔH реакции $X \longrightarrow X^+ + e^-$) и сродства к электрону (A_e, ΔH реакции $X + e^- \longrightarrow X^-$) атомов:

Атом	H	I
I, кДж моль$^{-1}$	1312	1008
A_e, кДж моль$^{-1}$	-73	-295

5. Рассчитайте энтальпию перехода одной ионной формы в другую ($H^+I^- \longrightarrow H^-I^+$). Считайте длину связи одинаковой для обеих форм.

Предположим, что реальная молекула HI превращается молекулу H^+I^-, в которой связь – исключительно ионная.

6. Рассчитайте изменение энтальпии в этом процессе, если равновесная длина связи в HI равна 161 пм, а величина элементарного заряда $e = 1.602 \times 10^{-19}$ Кл.

Истинную энергию связи $E_{св}$ можно оценить по формуле:

$$E_{св} = \alpha E_{ион} + (1 - \alpha) E_{ков}$$

где α – доля ионной структуры (изменяется от 0 до 1). Для оценки α можно использовать концепцию парциального заряда и считать его по модулю равным α. Например, у иодоводорода в газовой фазе они составляют $H^{0.08+}I^{0.08-}$. Их можно рассчитать из дипольного момента (μ) молекулы:

$$\mu = q \times l,$$

где q – заряд в Кл, l – длина связи в м.

Дипольный момент измеряется в Дебаях (Д) (Д = 3.34×10^{-30} Кл м). В газообразном NaCl эта величина составляет 8.97 Д.

7. Рассчитайте парциальные заряды на каждом из атомов в молекуле NaCl, если длина связи Na–Cl равна 2.36 Å.

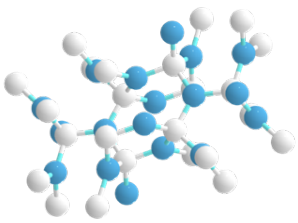
8. С помощью упомянутой формулы рассчитайте $E_{св}$ в молекуле HI. Для расчёта используйте $E_{ков}$, вычисленную на основе среднего арифметического.

Задача №2. Синоит

2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	Всего	Вес(%)
6	3	4	2	4	3	2	2	1	27	12

Бинарное вещество **A** открывает целый класс соединений, содержащих элементы **X** и **Y**, многие из которых применяются в изготовлении материалов и электроники. Получают его термоуглеродным восстановлением соединения **B** в атмосфере простого вещества, образуемым **Y**.

Однако само вещество **A** не эффективно для синтеза других соединений, содержащих **X** и **Y**, ввиду малой реакционной способности. Поэтому вместо него чаще применяется **C**, которое получают в жидкофазной реакции из хлорида **X**. При термическом разложении **C** образуется **A**, что используется как один из методов его получения.



Фрагмент структуры **A**, белые атомы – **X**, синие – **Y**

Вещества **B** и **C** очень схожи между собой: они изоструктурны и содержат одинаковое число электронов в формульной единице. **C** содержит три элемента, а **B** – два (**X** и **Z**). Массовая доля элемента **X** в **B** и **C** составляет 46.74% и 48.33%, соответственно.

1. Определите соединения **A**-**C**.

2. Напишите уравнения трёх упомянутых реакций.

Соединения **D** и **E** имеют в составе анионы, содержащие элементы **X** и **Y**.

D образуется при нагреве смеси **A** с Mg_3N_2 в соотношении 1:1 при температуре 1200°C.

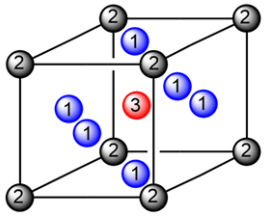
E кристаллизуется в орторомбической решётке со следующими параметрами: a = 5.749 Å, b = 6.881 Å, c = 9.405 Å, Z = 2 и ρ = 3.82 г см$^{-3}$. Синтезируют его по реакции **C** с металлическим стронцием.

3. Определите вещества **D**, **E**.

4. Напишите уравнения реакций их синтеза.

Соединение **F**, образующее структуру антиперовскита, интересно наличием трёхэлементных (содержащих **X**, **Y**, **Z**) тетраэдрических анионов. Другой тип анионов в **F** – одноатомные анионы, а катионом выступает редкоземельный металл (ω = 82.21%).

5. Установите формулу **F**.
6. В структуре антиперовскита анионы и катионы занимают позиции 1, 2 и 3 (на рисунке). Установите, какие позиции занимает каждый из типов анионов и катионы в составе **F**.
7. Вещество **F** можно вскрыть плавиковой кислотой (HF). Запишите уравнение происходящей при этом реакции.



В составе метеорита впервые был обнаружен редкий природный минерал – синоит, представляющий собой трёхэлементное соединение **G**. В нём окружение атомов **X** такое же, как и в веществе **F**, а каждому элементу соответствует наиболее характерное для него КЧ.

8. Приведите формулу **G**.
9. Предположите происхождение названия минерала.

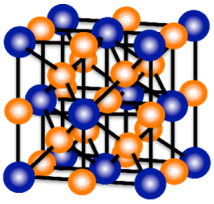
Задача №3. Кристаллические решетки

3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	Всего	Вес (%)
6	3	17	2	4	6	3	4	45	12

В гранецентрированной кубической (ГЦК) структуре существуют октаэдрические и тетраэдрические пустоты. Характер их заполнения атомами определяет тип кристаллической решётки.

1. Укажите, какие пустоты и в какой степени они заполняются в структурах типа сфалерита (ZnS), галита (NaCl) и флюорита (CaF_2)?

Один из возможных вариантов заполнения пустот (см рис.), соответствует структурному типу (в зависимости от расположения катионов и анионов) интерметаллида **X** или галогенида **Y**.



Соединение **X** неустойчиво: самовоспламеняется на воздухе с образованием смеси оксидов **A** и **B**, бурно разлагается в воде, а при сплавлении с **Y** образует галогенид **C** и металл **K**. Причём по этой реакции из 420 мг **X** образуется 764 мг **K**.

Характеристики некоторых соединений приведены в таблице:

Соединение	**X**	**A**	**C**
Структурный тип	**X**	Анти-CaF_2	NaCl
ρ, г см$^{-3}$	5.10	2.01	2.64
a, Å	?	4.62	4.03
r(аниона), Å	?	1.42	1.33

Известно, что вещества **X**, **A** и **C** содержат металл **L**, а **X** и **B** – металл **K**.

2. Определите соотношение элементов в соединении **X**. Какова доля заполнения октаэдрических и тетраэдрических пустот в его структуре?
3. Установите формулы неизвестных соединений и запишите уравнения трёх упомянутых реакций.

В соединении **X** существует два типа связей **K**–**L**, и ионный радиус **K** можно рассчитать двумя способами.

4. Определите координационное число **K** в структуре **X**.
5. Исходя из данных о соединениях **A** и **C**, рассчитайте ионный радиус **L** в тетраэдрическом и октаэдрическом окружении.

6. Рассчитайте ионный радиус **K** в соединении **X** двумя способами. Считайте, что во всех соединениях радиусы анионов и катионов одинаковы для данного типа координации.

Приближение о равенстве радиусов в различных соединениях не даёт адекватный результат, поскольку он не соответствует важнейшему условию стабильности ионной структуры – отсутствие непосредственных контактов между одноимённо заряженными ионами.

7. Рассчитайте максимальное значение радиуса **K** в структуре **X**, соответствующее условию стабильности.

Тому же способу заполнения пустот, что и в **X**, соответствуют и некоторые трёхэлементные соединения, например, интерметаллид **Z**. Параметры его элементарной ячейки: $\rho = 6.59$ г см$^{-3}$, $a = 5.95$ Å. Массовые доли металлов: 60.81%, 26.28%, 12.91%. Известно, что каждый элемент занимает только один тип позиций в структуре.

8. Определите состав соединения **Z**.

Задача №4. Пожелтевшая угадайка

4.1	4.2	4.3	4.4	Всего	Вес(%)
16	16	2	2	36	11

При восстановлении цинком в соляной кислоте раствора соли **G**, окрашивающей пламя в желтый цвет, выделяется газ **A** ***(реакция 1)***. Для получения 1.00 л **A** (при 25°C и 1 атм) согласно стехиометрии реакции требуется 17.33 г гидрата соли **G**, содержащего 12 молекул воды в формульной единице. Из-за частичного разложения газ **A** выделяется с примесью газа $\mathbf{A_1}$, плотность которого выше плотности **A** чуть меньше, чем в 2 раза (при одних и тех же условиях).

При пропускании газа **A** через раствор нитрата серебра образуется чёрный осадок **B** ***(реакция 2)***. К полученному раствору прилили гидроксид натрия, чтобы довести pH до слабощелочного и разделили его на три части.

К первой части прилили раствор нитрата серебра – выпал жёлтый осадок **C** ***(реакция 3)***.

Ко второй части раствора прилили соляную кислоту и раствор тиосульфата натрия – выпал жёлтый осадок **D** ***(реакция 4)***. Сплавлением **D** с карбонатом натрия, серой и углём можно получить растворимую в воде жёлтую соль **E** ***(реакция 5)***. При добавлении к её раствору концентрированной соляной кислоты можно получить осадок **F** ***(реакция 6)***, который разлагается при нагревании ***(реакция 7)***.

При электролизе последней части раствора в щелочной среде образуется соль **G** ***(реакция 8)***.

1. Определите формулы **A**, $\mathbf{A_1}$, **B** – **G**.
2. Запишите уравнения ***реакций 1 – 8***.
3. Какую форму имеют молекулы газа **A**?
4. Изобразите структуру молекулы $\mathbf{A_1}$ с учетом геометрии (можете объяснить геометрию словами).

Задача №5. Мне, пожалуйста, 5 бешбармаков мяса

5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	Всего	Вес(%)
5	8	3	3	6	3	28	11

В далёкой развитой научно и технологически цивилизации, развивавшейся независимо от земной, существует своя система единиц. Так, расстояния в их системе единиц измеряют в шынтаках (сокращенно – ш) и мандаях (сокращенно – мд), причем в 1 шынтаке – 4.5 мандая. Время измеряется в кунах (к) и сатах (ст) и в 1 куне – 2400 сатов. Масса измеряется в бешбармаках (б) и бармаках (бк), причем в 1 бешбармаке – 5 бармаков. Международный союз физиков этой цивилизации выделяет две системы единиц – ШКБ (расстояния – в шынтаках, время – в кунах, масса – в бешбармаках) и МСБ (расстояния – в мандаях, время – в сатах, масса – в бармаках). Температура в обеих системах измеряется в Табибах – это абсолютная шкала, начинающаяся от того же нуля, что и шкала кельвинов.

1. В каких единицах измеряется объём в системах ШКБ и МСБ? Какая из единиц – более крупная (то есть соответствует большему объёму). Во сколько раз отличаются единицы измерения объёма в двух системах?

Физическая сила в системе ШКБ измеряется в кушах (кш), а в системе МСБ – в алсыздыках (ак). Давление в системе ШКБ – в сквошах (ск), а в системе МСБ – в аздапах (аз).

2. Выразите единицы силы и давления в двух системах через базовые единицы измерения систем ШКБ и МСБ.
3. Сколько ак в 1 кш?
4. Сколько аз в 1 ск?

Порцию газа, взятого при 200 Табибах и 300 ск, поместили в кубический сосуд с ребром 10 мд. Газ нагрели при постоянном объёме так, что давление стало равным 450 ск. Затем сосуд расширили при постоянной температуре так, что объём увеличился до 2000 мд^3.

5. Рассчитайте конечные давление и температуру в сосуде (в единицах ШКБ).
6. С какой силой газ давит на каждую стенку сосуда в начальном состоянии (в единицах ШКБ)?

Задача №6. Смесь карбонатов

6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	Всего	Вес(%)
2	3	3	4	6	18	12

Карбонаты MCO_3 и LCO_3 при нагревании разлагаются на оксиды MO и LO и CO_2. Известны термодинамические характеристики этих реакций:

$$MCO_{3(тв.)} \rightleftharpoons MO_{(тв.)} + CO_{2(г.)} \qquad \Delta_r H^\circ = +110\ кДж\ моль^{-1},\ \Delta_r S^\circ = +150\ Дж\ моль^{-1}\ K^{-1}$$

$$LCO_{3(тв.)} \rightleftharpoons LO_{(тв.)} + CO_{2(г.)} \qquad \Delta_r H^\circ = +120\ кДж\ моль^{-1},\ \Delta_r S^\circ = +170\ Дж\ моль^{-1}\ K^{-1}$$

1. При какой температуре константа равновесия первой реакции равна 1?
2. В сосуд поместили некоторое количество LCO_3. В равновесии давление CO_2 оказалось равным 1.31 кПа, причем карбонат разложился не полностью. Рассчитайте температуру, до которой был нагрет LCO_3.
3. Могут ли при какой либо температуре в равновесии с $CO_{2(г.)}$ находиться в сосуде сразу два твердых карбоната (MCO_3 и LCO_3) и два твердых оксида (MO и LO)? Если да, то при какой температуре? Если нет – обоснуйте.
4. В сосуде, содержащий смесь MO и MCO_3 при температуре 550 K, создают давление CO_2 100 Па. В какую сторону пойдёт первая реакция? Обоснуйте расчётом $\Delta_r G$.
5. В сосуды 1 и 2 поместили твердые смеси, содержащие оба оксида (MO и LO) и оба карбоната (MCO_3 и LCO_3). Сосуды выкуумировали, запаяли и выдержали при 600 K. Равновесное давление в первом сосуде составило 1815 Па, во втором сосуде – 2130 Па. Какие вещества присутствуют в твердой фазе в первом, а какие – во втором сосуде? Обоснуйте ответ.