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 -

Регламент олимпиады:

Перед вами находится комплект задач республиканской олимпиады 2025-2026 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. Условия точно полные?

Всего	Вес(%)
14	11

Газовую смесь 1, состоящую из азота и водорода, нагрели при высоком давлении, в результате чего образовалась **газовая смесь 2**. **Газовую смесь 3**, состоящую из водорода и хлора, подвергли облучению ультрафиолетовым светом, в результате чего образовалась **газовая смесь 4**. **Газовые смеси 2 и 4** были смешаны. В ходе реакции образовались белые кристаллы массой 10.7 г и **газовая смесь 1**, объем которого в 3 раза меньше чем у исходной **газовой смеси 1**.

1. Определите объёмные доли газов в каждой из газовых смесей (**смеси 1, 2, 3 и 4**).

Задача №2. Белый фосфор

2.1	2.2	2.3	Всего	Вес(%)
3	3	2	8	11

Белый фосфор - чрезвычайно активен, молекулярная формула - P_4 со структурой тетраэдра. Белый фосфор получают нагреванием минерала фторапатита $Ca_5(PO_4)_3F$ с коксом C и кремнезёмом SiO_2 **(р-ция 1)**.

1. Напишите уравнение **реакции 1**.

При добавлении навески белого фосфора к раствору сульфата меди (II) происходит окислительно восстановительная реакция с образованием смеси кислот и мелкодисперсного осадка **(р-ция 2)**. При этом образуются бинарные побочные продукты с массовыми долями фосфора 0.1398 и 0.4936.

2. Напишите уравнение **реакции 2**. Учтите что фосфор окисляется полностью.
3. Определите побочные продукты реакции.

Задача №3. Металлическая чума

3.1	3.2	3.3	Всего	Вес(%)
12	14	6	32	12

Одной из причин гибели экспедиции Роберта Скотта к Южному полюсу считается процесс, известный как **«... чума»**. Баки для топлива были изготовлены из некоторого металла **X**, который существует в виде **двух аллотропных модификаций**. При комнатной температуре металл **X** существует в форме **«белого X»** с плотностью 7,289 г/см^3. Однако при охлаждении ниже 13.2 градусов Цельсия он переходит в аллотропную модификацию **«серый X»**. **«Белый X»** обладает типичными металлическими свойствами, включая твёрдость и пластичность, что делает его пригодным для изготовления топливных баков. Напротив, **«серый X»** является порошкообразным веществом, вследствие чего баки разрушались из-за крошения материала.
Ниже приведены данные о кристаллических структурах двух аллотропных модификаций металла **X**:

- **«Белый X»** кристаллизуется в **тетрагональной сингонии** (**tI4**) с параметрами элементарной ячейки: a = 583.13 пм, c = 318.11 пм.
- **«Серый X»** кристаллизуется в **кубической сингонии** (**cF8**) с параметром: a = 648.96 пм.

1. Определите металл **X** и **рассчитайте плотность «серого X»**.

   Металл **X** массой 5.00 г сжигали на воздухе, в результате чего образовалось 6.35 г вещества **A** (**реакция 1**). При нагревании цианида калия с элементарной серой (S_8) в молярном соотношении **8 : 1** образуется соль **Б**. Если смешать вещество **A**, полученное в реакции 1, с эквимолярным количеством соли **Б** и нагреть при высокой температуре, образуются две

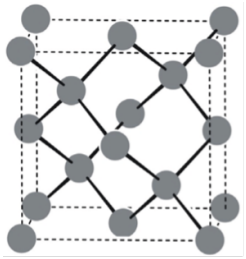


Рис. 1: Серый X

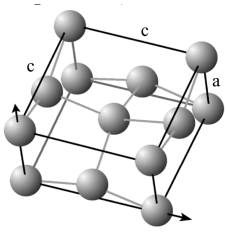


Рис. 2: Белый X

соли — **B** и **Г**, содержащие один и тот же анион, а также газовая смесь с плотностью 1.25 г/л (**реакция 2**). При растворении твёрдого остатка в воде растворяется только вещество **B**, тогда как вещество **Г** отделяют фильтрованием. Вещество **Г** растворяют в концентрированной азотной кислоте, при этом образуется осадок **A** массой в раза 1.21 меньше чем использованный в реакции **Г** и выделяется бурый газ (**реакция 3**). Металл **X** реагирует с веществом **Д** в молярном соотношении **1 : 2** в кипящем тетрахлорметане, образуя вещество **E** (**реакция 4**). Вещество **Д** является простым веществом; его элементарная ячейка представляет собой **гранецентрированный параллелепипед** с параметрами: a = 727.5 пм, b = 478.28 пм, c = 982.38 пм, и плотностью 4.944 г/см^3.

2. Определите все упомянутые неизвестные вещества (**A, Б, B, Г, Д, E**) и запишите все химические реакции в уравненном виде.

   Франкеит — сульфидный минерал, содержащий несколько металлов, включая металл **X**. При анализе минерала были определены следующие массовые доли элементов: **X — 17.084 %**, **Pb — 49.699 %**, **S — 21.536 %**.

3. Определите химическую формулу франкеита.

Задача №4. Медь

4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	Всего	Вес(%)
3	4	5	4	4	20	12

Ионы меди(II) в водных растворах характеризуются высокой склонностью к комплексообразованию с молекулами-донорами, в частности с аммиаком. При добавлении водного аммиака к раствору Cu^{2+} происходит последовательное замещение молекул воды в аквакомплексе $[Cu(H_2O)_6]^{2+}$ с образованием амминных комплексов $[Cu(NH_3)_n]^{2+}$, среди которых наиболее устойчивым является тетраамминмедный(II) комплекс глубокого синего цвета $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$.

Экспериментальные исследования устойчивости амминных комплексов меди(II), начиная с классических работ Й. Бьёррума, показали, что при увеличении концентрации аммиака равновесие существенно смещается в сторону комплексной формы, что приводит к резкому снижению концентрации свободных ионов Cu^{2+} в растворе. Вследствие этого условия выпадения малорастворимых соединений меди, в частности $Cu(OH)_2$, заметно изменяются и оказываются зависящими от pH и концентрации комплексообразователя.

В 1.00 л воды растворили соль меди(II) так, что общая концентрация меди в растворе составила

$$C_{Cu} = 1.00 \cdot 10^{-2}\ \text{М}.$$

Затем в раствор добавляют водный аммиак с начальной концентрацией $[NH_3]_0$. После установления равновесия в системе учитываются кислотно-основное равновесие NH_3/NH_4^+, комплексообразование ионов меди(II) и возможное выпадение осадка $Cu(OH)_2$. Во всех пунктах задачи считать, что образуется только комплекс $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$.

1. Для раствора без комплексообразователя определить растворимость гидроксида меди(II) при pH = 5.0,считая, что растворимость определяется только произведением растворимости.

2. Записать выражение, связывающее концентрацию свободных ионов Cu^{2+} с общей растворённой концентрацией меди C_{Cu} в присутствии аммиака.

3. При $[NH_3]_0$ = 1.00 M определить pH, при котором начинается выпадение осадка $Cu(OH)_2$.

4. При $[NH_3]_0$ = 1.00 M и pH = 9.50 определить молярную долю меди, находящейся в комплексной форме $Cu(NH_3)_4^{2+}$.

5. При $[NH_3]_0$ = 1.00 M построить график зависимости молярной доли комплексированной меди *x* от pH в интервале pH 7–12. На графике указать область значений pH, при которых возможно выпадение осадка $Cu(OH)_2$, и качественно объяснить форму полученной зависимости.

Справочные данные (25 °C)

$$K_{sp}(Cu(OH)_2) = 2.2 \cdot 10^{-20}, \qquad \beta_4([Cu(NH_3)_4]^{2+}) = 1.0 \cdot 10^{13},$$

$$K_b(NH_3) = 1.8 \cdot 10^{-5}, \qquad K_w = 1.0 \cdot 10^{-14}.$$

Задача №5. Автокаталитическое превращение вещества

5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	Всего	Вес(%)
7	5	4	4	5	25	12

В химической кинетике особый интерес представляют *автокаталитические реакции* — процессы, в которых один из продуктов реакции сам ускоряет её протекание, выступая в роли катализатора. Для таких реакций характерно нелинейное изменение скорости во времени: на начальной стадии процесс протекает медленно, однако по мере накопления продукта скорость реакции возрастает.
Рассмотрим автокаталитическое превращение вещества *A* в вещество *B* в водном растворе, описываемое реакцией

$$A + B \xrightarrow{k_1} 2B.$$

В начальный момент времени концентрации веществ равны $[A]_0$ = 0,150 M и $[B]_0$ = 0,0040 M. Объём раствора в ходе реакции остаётся постоянным, побочные процессы отсутствуют. **1.** Используя закон действующих масс и соотношение между концентрациями реагентов, выведите кинетическое уравнение, связывающее концентрацию вещества *B* со временем. *Для участников, не выполнивших пункт 1, далее разрешается использовать следующее кинетическое уравнение:*

$$\ln\left(\frac{[B]}{C-[B]} \cdot \frac{C-[B]_0}{[B]_0}\right) = k_1 Ct, \qquad C = [A]_0 + [B]_0.$$

Через 12,0 мин после начала реакции концентрация вещества *B* составляет 0,0180 M при температуре 25°C и 0,0400 M при температуре 45°C.

2. Определите константы скорости реакции k_1 при температурах 25°C и 45°C.
3. Используя найденные значения констант скорости, определите энергию активации E_a данной реакции.

Ту же реакцию проводят при температуре 25°C, если начальные концентрации реагентов равны $[A]_0$ = 0,100 M и $[B]_0$ = 0,0120 M. В этих условиях скорость процесса удобно охарактеризовать через период полураспада вещества *A*.

4. Определите период полураспада вещества *A*.

5. Установите, как изменится период полураспада вещества *A*, если:

- начальную концентрацию вещества *B* увеличить в 2 раза;
- температуру повысить на 10°C (считать энергию активации постоянной);
- раствор разбавить в 2 раза, сохранив соотношение концентраций реагентов.

Ответы выразите в виде множителей по отношению к значению, найденному в пункте 4.

Подсказка к пунктам 4-5: период полураспада вещества *A* при автокаталитической реакции выражается формулой

$$t_{1/2} = \frac{1}{k_1 C} \ln\left(\frac{[B]_{1/2}[A]_0}{[B]_0[A]_{1/2}}\right),$$

где $C = [A]_0 + [B]_0$, $[A]_{1/2} = [A]_0/2$, $[B]_{1/2} = C - [A]_{1/2}$.

Задача №6. Конкуренция механизмов в аллильных системах

6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	Всего	Вес(%)
18	3	3	3	2	3	32	12

В лаборатории органического синтеза исследуется реакционная способность аллильных галогенидов как модельных соединений для изучения конкуренции нуклеофильного замещения и элиминирования. Аллильные субстраты широко используются в органическом синтезе и биохимии, поскольку их реакции чувствительны к природе нуклеофила, растворителя и условий проведения реакции.
Рассмотрим вторичный аллилбромид

$$CH_2{=}CH{-}CH(CH_3){-}CH_2Br$$

Соединение подвергали действию различных реагентов в указанных условиях:

I. NaOEt / EtOH, 25 °C
II. t−BuOK / t−BuOH, 25 °C
III. $AgNO_3$ / EtOH
IV. NaCN / DMSO
V. H_2O, 80 °C
VI. NaI / Acetone, 25 °C

1. Для каждого опыта (I–VI) определите:
   - основной механизм реакции (SN1, SN2, SN2′, E1 или E2);
   - структуру основного органического продукта.
2. Для опыта IV обоснуйте выбор механизма реакции с точки зрения электронной структуры субстрата и условий проведения реакции.
3. В опытах I и II возможна элиминирование с образованием различных алкенов.
   - Укажите, какой алкен образуется преимущественно в каждом случае;
   - объясните различие в составе продуктов.
4. Проанализируйте реакцию III:
   - укажите роль добавляемого реагента;
   - охарактеризуйте природу промежуточных частиц, возникающих в ходе реакции.
5. Укажите, в каких условиях формируется наиболее термодинамически устойчивый продукт, и обоснуйте свой ответ.
6. Рассмотрите опыт VI и определите:
   - какой механизм замещения (SN1 или SN2) будет преобладать и почему;
   - можно ли ожидать образование оптических изомеров продукта;
   - влияние растворителя на скорость реакции.