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 = 1×10^{-12} м
нано, н	1 нм = 1×10^{-9} м
микро, мк	1 мкм = 1×10^{-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?

Автор: Бегдаир С.

Всего	Вес(%)
14	9

1.1 (14 баллов)

В условиях ничего не сказано про объемы смесей, поэтому мы проигнорируем их. Газовая смесь 1 исходная и конечная скорее всего должны иметь разные объемы. Если в конце образовалось лишь газовая смесь 1, тогда источником азота в нем должно быть от газовой смеси 1, а водорода - смесь 3. Образованные кристаллами являются хлоридом аммония, которая образовалась при реакции аммиака и хлороводорода. Определяем его химическое количество и также нужное количество газов для его образования: $NH_3 + HCl = NH_4Cl$

$$n(NH_4Cl) = \frac{10.7}{53.5} = 0.2$$

$$n(NH_4Cl) = n(NH_3) = n(HCl)$$

Превращение с 1 во 2 газовую смесь: $N_2 + 3H_2 = 2NH_3$ Химические количество в 1 смеси: $n(H_2) = 0.3$ моль, $n(N_2) = 0.1 + x$ моль Химические количество во 2 смеси: $n(NH_3) = 0.2$ моль, $n(N_2) = x$ моль Превращение с 3 в 4 газовую смесь: $H_2 + Cl_2 = 2HCl$ Химические количество в 3 смеси: $n(H_2) = 0.1 + y$ моль, $n(Cl_2) = 0.1$ моль Химические количество в 4 смеси: $n(H_2) = y$ моль, $n(HCl) = 0.2$ моль

Получение 1 газовой смеси: $NH_3 + HCl = NH_4Cl$ Химические количество в 5 смеси: $n(H_2) = y$ моль, $n(N_2) = x$ моль

Если в конце образовалось газовая смесь 1, то объемные доли газов в нем одинаковое как в исходной газовой смеси 1. Зная это, составляем уравнение и находим неизвестные:

$$w(H2) = \frac{0.3}{0.4 + x} = \frac{y}{x + y}$$

$$w(N2) = \frac{0.1 + x}{0.4 + x} = \frac{x}{x + y}$$

$$x + y = (0.4 + x)/3$$

При решении данных уравнении, выходит что x = 0.05 моль, y = 0.1 моль. Находим химические количества газов и их объемные доли газов в смесях. 1 газовая смесь: $n(H_2) = 0.3$ моль, $n(N_2) = 0.15$ моль

$$x(H_2) = \frac{0.3}{0.45} = 0.667 x(N_2) = \frac{0.15}{0.45} = 0.333$$

2 газовая смесь: $n(N_2) = 0.05$ моль, $n(NH_3) = 0.2$ моль

$$x(N_2) = \frac{0.05}{0.25} = 0.2 x(N_2) = \frac{0.2}{0.25} = 0.8$$

3 газовая смесь: $n(H_2) = 0.2$ моль, $n(Cl_2) = 0.1$ моль

$$x(H_2) = \frac{0.2}{0.3} = 0.667 x(Cl_2) = \frac{0.1}{0.3} = 0.333$$

4 газовая смесь: $n(H_2) = 0.1$ моль, $n(HCl) = 0.2$ моль

$$x(H_2) = \frac{0.2}{0.3} = 0.667 x(Cl_2) = \frac{0.1}{0.3} = 0.333$$

За проведение расчетов - 6 балла. За определение каждой газовой смеси (моль, доли, или оба) - 2 балла (общ. 8 баллов).

Задача №2. Казалось бы, причем тут кинетика?

2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	Всего	Вес(%)
1.5	1	0.5	0.5	2.5	7	13	13

2.1 (13 баллов)

Схема:

$$A -> [$$

k_1] B ->[k_2] C

Дифференциальные уравнения:

$$\frac{d[A]}{dt} = -k_1[A]$$

$$\frac{d[B]}{dt} = k_1[A] - k_2[B]$$

$$\frac{d[C]}{dt} = k_2[B]$$

По 0.5 балла за уравнение, всего 1.5 балла за пункт.

2.

Квазистационарное приближение для B:

$$\frac{d[B]}{dt} = 0$$

$$k_1[A] - k_2[B]_{ss} = 0$$

$$[B]_{ss} = \frac{k_1}{k_2}[A]$$

1 балл.

3.

Процесс заражения:

$$S + I -> 2I$$

0.5 балла

4.

Процесс выздоровления:

$$I -> R$$

0.5 балла

5.

Кинетическая схема и дифференциальные уравнения:

$$S + I -> [\beta] 2I$$

$$I -> [\gamma] R$$

$$\frac{dS}{dt} = -\beta SI$$

$$\frac{dI}{dt} = \beta SI - \gamma I$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma I$$

Единицы измерения констант:

$$[\beta] = \frac{1}{\text{человек} \cdot \text{день}}$$

$$[\gamma] = \frac{1}{\text{день}}$$

0.5 балла за схему, по 0.5 балла за каждое из трех выражений, 0.5 балла за единицы измерения, всего 2.5 балла.

6.

Начальные условия и данные:

$$N = 10^5$$
$$I_0 = 10$$
$$S_0 = N - I_0 \approx N$$
$$I(t) = 0.1N = 10^4$$
$$\beta = 3 \times 10^{-5}$$
$$\gamma = 0.2$$

Примем что $S \approx N = \text{const}$:

$$\frac{dI}{dt} \approx \beta NI - \gamma I = (\beta N - \gamma)I$$

$$I(t) = I_0 \exp\left[(\beta N - \gamma)t\right]$$

$$10^4 = 10 \cdot \exp\left[(3 \times 10^{-5} \times 10^5 - 0.2)t\right]$$

$$10^3 = \exp[(3 - 0.2)t]$$

$$t = \frac{3\ln(10)}{2.8} = \frac{3 \times 2.303}{2.8} \approx 2.47 \text{ дней}$$

7 баллов за корректное и обоснованное решение, до 3 баллов за частичные продвижения.

Задача №3. Газы и Магний

3.1	3.2	3.3	Всего	Вес(%)
6	8	4	18	12

3.1 (6 балл)

газ Б с запахом тухлых яиц это H_2S, значит элемент Z - это сера. Продуктом реакции магния с серой является сульфид магния MgS. При его расстворении в кислоте выделяется H_2S. Бинарные соединения со фтором SF_6,SF_4,S_2F_2. газ В - это фтор

Z - S

Б - H_2S

Z1 - SF_6

Z2 - SF_4

Z3 - S_2F_2

В - F_2

за каждую расшифровку по 1 баллу (всего 6 баллов)

3.2 (8 балл)

кол-во H_2S = 6, 72/22, 4 = 0, 3., 0, 3

С помощью соотношений объемов можно найти сколько в каждом было молей серы и составляем уравнение

x + x + 2x + 4x = 0,3

8x = 0,3

x = 0,0375 моль

теперь прописав реакции можно найти сколько магния прореагировало в каждом сосуде

Mg + S = MgS
(x моль Mg)

$4Mg + SF_6 = MgS + MgF_2$
(4x моль Mg)

$3Mg + SF_4 = MgS + 2MgF_2$
(6x моль Mg)

$3Mg + S_2F_2 = 2MgS + MgF_2$
(6x моль Mg)

итого составляем уравнение

x + 4x + 6x + 6x = 17x = 17 * 0,0375 = 0,6375 моль

Масса Mg равна 0,6375 * 24,3 = 15,49 г

за составление + решение каждого из уравнений по 1 баллу (всего 4 балла)

по 1 баллу за каждую реакцию с коефицентами, если без то по 0,5 балла (всего 4 либо 2)

3.3 (4 балл)

$MgS + 2HCl = MgCl_2 + H_2S$

$MgF_2 + HCl$ = реакция не идет т.к. кислота разбавленная

$S + F_2 = SF_2$

$Mg + F_2 = MgF_2$

за каждую реакцию с коефицентами по 1 баллу (при отсутсвии по 0,5) и если не было упонянута, что реакция между HCl не идет балл не дается

Всего 4 балла

Задача №4. Выращивание кристалла

Автор: Молдагул А.

4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	Всего	Вес(%)
3	4	2	5	9	4	27	12

4.1 (3 балла)

Массовая доля сульфата меди (II) в насыщенном растворе при 50 °C **(1 балл)**

$$w(\mathrm{CuSO_4})_{50\ ^\circ\mathrm{C}} = \frac{33.5\ \text{г}}{33.5\ \text{г} + 100\ \text{г}} = 0.251$$

Масса сульфата меди (II) **(1 балл)**

$$m(\mathrm{CuSO_4}) = 200\ \text{г} \cdot 0.251 = 50.2\ \text{г}$$

Масса воды **(1 балл)**

$$m(\mathrm{H_2O}) = 200\ \text{г} - 50.2\ \text{г} = 149.8\ \text{г}$$

Если ученик нашёл массы не прибегая к массовой доле присуждается **полный балл**

4.2 (4 балла)

Массовая доля сульфата меди (II) в насыщенном растворе при 25 °C **(1 балл)**

$$w(\mathrm{CuSO_4})_{25\ ^\circ\mathrm{C}} = \frac{23\ \text{г}}{23\ \text{г} + 100\ \text{г}} = 0.187$$

Массовая доля сульфата меди (II) в медном купоросе **(1 балла)**

$$w(\mathrm{CuSO_4})_{\mathrm{CuSO_4 \cdot 5\,H_2O}} = \frac{159.61\ \text{г моль}^{-1}}{249.69\ \text{г моль}^{-1}} = 0.639$$

Масса медного купороса выпавшего в осадок из раствора **(2 балла)**

$$w(\mathrm{CuSO_4})_{25\ ^\circ\mathrm{C}} = \frac{50.2\ \text{г} - 0.639 \cdot m}{200\ \text{г} - m} = 0.187$$
$$m = 28.32\ \text{г}$$

Если ученик нашёл массу осадка иным путём присуждается **полный балл**

4.3 (2 балла)

Масса раствора после осаждения медного купороса

$$m_{\text{р-р}} = 200\ \text{г} - 28.32\ \text{г} = 171.68\ \text{г}$$

Масса сульфата меди (II)после осаждения **(1 балл)**

$$m(\mathrm{CuSO_4}) = 50.2\ \text{г} - 0.639 \cdot 28.32\ \text{г} = 32.1\ \text{г}$$

Масса воды после осаждения **(1 балл)**

$$m(\mathrm{H_2O}) = 149.8\ \text{г} - (1 - 0.639) \cdot 28.32\ \text{г} = 139.6\ \text{г}$$

4.4 (5 балла)

Площадь поверхности воды в стакане **(1 балл)**

$$S_{\text{круг}} = \pi * (3.5\text{ см})^2 = 38.485\text{ см}$$

Масса испарившейся воды за двое суток **(1 балл)**

$$m_{\text{исп. воды}} = 9 * 10^{-3}\text{ см кПа}^{-1}\text{ ч}^{-1} \cdot 38.485\text{ см} \cdot (1 - 0.6) \cdot 3.166\text{ кПа} \cdot 48\text{ ч} = 21.05\text{ г}$$

Масса медного купороса дополнительно выпавшего в осадок за двое суток **(2 балла)**

$$w(CuSO_4)_{25\,^\circ C} = \frac{32.1\text{ г} - 0.639 \cdot m}{171.68\text{ г} - 21.05\text{ г} - m} = 0.187$$

$$m = 8.70\text{ г}$$

Складываем получившуюся массу осадка с имеющимся количеством осадка **(1 балла)**

$$m_{\text{кристалла}} = 28.32\text{ г} + 8.70\text{ г} = 37.02\text{ г}$$

Если ученик нашёл массу кристалла иным путём присуждается **полный балл**

4.5 (9 баллов)

Равновесное давление паров воды над раствором соли описывается выражением **(1 балла)**

$$p = p^0 \cdot \chi = p^0 \cdot \frac{n(H_2O)_{\text{р-р}}}{n(H_2O)_{\text{р-р}} + n(Cu^{2+}) + n(SO_4^{2-})} = p^0 \cdot \frac{n(H_2O)_{\text{р-р}}}{n(H_2O)_{\text{р-р}} + 2 \cdot n(CuSO_4)}$$

Давление паров воды также можно описать через уравнение идеального газа **(1 балла)**

$$p = \frac{n(H_2O)_{\text{исп}} RT}{V}$$

Изначальное количество воды в **растворе 2**

$$n(H_2O)_{\text{нач}} = \frac{139.6\text{ г}}{18.016\text{ г моль}^{-1}} = 7.749\text{ моль} = n(H_2O)_{\text{исп}} + n(H_2O)_{\text{р-р}}$$

Количество сульфата меди (II) в **растворе 2**

$$n(CuSO_4) = \frac{32.1\text{ г}}{159.61\text{ г моль}^{-1}} = 0.201\text{ моль}$$

Комбинируя выражения для давления паров воды получаем **(1 балла)**

$$p^0 \cdot \frac{n(H_2O)_{\text{нач}} - n(H_2O)_{\text{исп}}}{n(H_2O)_{\text{нач}} - n(H_2O)_{\text{исп}} + 2 \cdot n(CuSO_4)} = \frac{n(H_2O)_{\text{исп}} RT}{V}$$

Подставляем значения

$$3.166\text{ кПа} \cdot \frac{7.749\text{ моль} - n(H_2O)_{\text{исп}}}{7.749\text{ моль} - n(H_2O)_{\text{исп}} + 2 \cdot 0.201\text{ моль}} = \frac{n(H_2O)_{\text{исп}} \cdot 8.314\text{ Дж моль}^{-1}\text{ К}^{-1} \cdot 298\text{ К}}{100\text{ л}}$$

Решая квадратное уравнение, получаем количество испарившейся воды **(3 балла)**

$$n(H_2O)_{\text{исп}} = 0.121\text{ моль}$$

Второй корень квадратного уравнения, $n(H_2O)_{\text{исп}} = 8.157$ моль, не подходит ведь его численное значение больше начального количество воды.

Масса испарившейся воды в ходе установления равновесия

$$m(H_2O)_{исп} = 0.121 \text{ моль} \cdot 18.016 \text{ г моль}^{-1} = 2.18 \text{ г}$$

Масса медного купороса дополнительно выпавшего в осадок **(2 балла)**

$$w(CuSO_4)_{25\,^\circ C} = \frac{32.1 \text{ г} - 0.639 \cdot m}{171.7 \text{ г} - 2.18 \text{ г} - m} = 0.187$$
$$m = 0.884 \text{ г}$$

Общая масса кристалла выпавшего в сухом боксе **(1 балл)**

$$m_{кристалла} = 28.32 \text{ г} + 0.884 \text{ г} = 29.204 \text{ г}$$

Если ученик нашёл массу кристалла иным путём присуждается **полный балл**

4.6 (4 балла)

При добавлении раствора соляной кислоты к раствору $CuSO_4$ понижается значение pH раствора. В кислой среде произойдет смещение равновесия $HSO_4^- \rightleftharpoons H^+ + SO_4^{2-}$ в сторону образования гидросульфат-анионов по принципу Ле Шателье, поэтому концентрация сульфат-анионов в растворе станет меньше. Комплексообразование Cu^{2+} с хлорид-анионом приводят к уменьшению концентрации Cu^{2+} в растворе. Оба фактора приводят к тому что значение ионного произведения $[Cu^{2+}][SO_4^{2-}]$ становится меньше произведения растворимости ввиду чего происходит растворение медного купороса для установления равновесия.
При написании одного из факторов присуждается **(2 балла)**

При добавлении раствора серной кислоты к раствору $CuSO_4$ концентрация серной кислоты повышается. Значение ионного произведения $[Cu^{2+}][SO_4^{2-}]$ становится больше произведения растворимости ввиду чего происходит осаждение медного купороса для установления равновесия. **(2 балла)**

Задача №5. Самая сильная кислота в мире

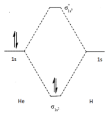
Автор: Бегдаир С.

5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	Всего	Вес(%)
1	4	4	3	4	17	12

5.1 (1 балла)

Количество электронов в ионе HeH^+ - 2. Один из распространенных молекул имеющий 2 электрона - молекулярный водород (H_2).

5.2 (4 балла)

Снизу представлена МО диаграмма иона. Порядок связи в нем будет = $\frac{2-0}{2} = 1$.  За МО диаграмму - 3 балла За определение порядка связи - 1 балл

5.3 (4 балла)

Комбинация реакции в следующем порядке дает энтальпию реакции диссоциации иона HeH^+ в водной среде.

$$\Delta H_5 = -\Delta H_4 + \Delta H_3 - \Delta H_2 + \Delta H_1$$

$$\Delta H_5 = -360 кДж/моль$$

Определяем энтропию реакции:

$$\Delta S_5 = (\Delta S(He) + \Delta S(H^+) - \Delta S(HeH^+) = -2 Дж/К\ моль$$

Находим энергию Гиббса реакции и его константу равновесия (в нашем случае, это также константа кислотности):

$$\Delta G_5 = \Delta H_5 - T \cdot \Delta S_5 = -360000 + 298 \cdot 2 = -359404 Дж/моль$$

$$K_a = k = \exp\left(-\frac{\Delta G_5}{RT}\right) = \exp\left(\frac{359404}{8.314 \cdot 298}\right) = 10^{63}$$

$$pK_a = -\log(K_a) = -63$$

За определение pKa - 4 балла. При неполном определении pKa - 2.5 балла.

5.4 (3 балла)

$$H^+ + H_2 = H_2^+ + H$$

$$H_2^+ + H_2 = H_3^+ + H$$

За каждую реакцию - 1.5 балла (общ. 3 балла)

5.5 (5 балла)

Снизу представлены МО **X** и **Y**



За каждый МО - 2.5 балла (общ. 5 баллов)

Задача №6. Конкуренция механизмов в аллильных системах

Автор: Сарсенбай А.

6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	Всего	Вес(%)
15	3	3	3	2	26	

6.1 (15 балл)

Рассматриваемый субстрат — вторичный аллилбромид:

$$CH_2{=}CH{-}CH(Br){-}CH_3.$$

I. NaOEt/EtOH, 25 °C**.**

Ион EtO^- является сильным нуклеофилом и достаточно сильным основанием. В протонном растворителе для вторичного аллилбромида реализуется конкуренция замещения и элиминирования, однако при умеренной температуре преобладает нуклеофильное замещение.

Основной механизм реакции — **SN2′**. Нуклеофил атакует γ-атом углерода аллильной системы с одновременным переносом двойной связи.

Основной продукт:

$$CH_3-CH=CH-CH_2-OEt.$$

II. t−BuOK/t−BuOH, 25 °C**.**

Ион $t-BuO^-$ является сильным, но стерически затруднённым основанием, что подавляет реакции замещения. Реакция протекает преимущественно по механизму **E2**.

Элиминирование происходит с отщеплением β-протона, что приводит к образованию наименее замещённого алкена (правило Хофмана).

Основной продукт:

$$CH_2=CH-CH=CH_2$$

(1,3-бутадиен).

III. $AgNO_3$/EtOH.

Ионы Ag^+ связывают Br^- с образованием малорастворимого осадка AgBr, что облегчает гетеролитический разрыв связи C–Br. В результате образуется резонансно стабилизированный аллильный карбкатион.

Реакция протекает по конкурентным механизмам SN1/E1, однако в присутствии этанола основным является замещение **SN1**.

Основной продукт:

$$CH_2=CH-CH(OEt)-CH_3.$$

IV. NaCN/DMSO.

Полярный апротонный растворитель усиливает нуклеофильность иона CN^-. Для аллильного субстрата реализуется механизм **SN2′** с переносом двойной связи.

Основной продукт:

$$NC-CH_2-CH=CH-CH_3.$$

V. H_2O, 80 °C**.**

Вода — слабый нуклеофил; высокая температура способствует ионизации субстрата. Реакция протекает по механизму **E1**.

Основным продуктом являются продукт элеминирования - 1,3-бутадиен:

$$CH_2=CH-CH=CH_2$$

За каждый корректный выбор механизма — 1 балл

За каждую корректную структуру продукта — 2 балла

(15 балл)

6.2 (3 балл)

В опыте IV реакция проводится в полярном апротонном растворителе DMSO, который эффективно стабилизирует катионы, но не анионы. Это приводит к значительному увеличению нуклеофильности иона CN^-.

Аллильная система обладает делокализованной π-электронной системой, что позволяет нуклеофилу атаковать γ-атом углерода с одновременным смещением двойной связи. Такой путь приводит к более стабилизированному переходному состоянию по сравнению с прямым SN2.

Следовательно, реакция протекает преимущественно по механизму **SN2′**. **(3 балл)**

6.3 (3 балл)

В опытах I и II наблюдается различная направленность реакции, обусловленная природой основания.

В опыте I (NaOEt) реализуется механизм **SN2′**, поскольку этоксид-ион является хорошим нуклеофилом и не обладает выраженными стерическими затруднениями.

В опыте II (t−BuOK) замещение подавлено из-за стерических факторов, и реакция протекает по механизму **E2** с образованием менее замещённого алкена (правило Хофмана).

Таким образом, различие в составе продуктов определяется соотношением нуклеофильности и стерической доступности основания. **(3 балл)**

6.4 (3 балл)

В реакции III ионы Ag^+ выполняют роль активатора, связывая уходящую группу Br^- в виде осадка AgBr. Это существенно облегчает ионизацию субстрата.

Образующийся аллильный карбкатион стабилизирован резонансом и не претерпевает перегруппировок, так как его электронная структура уже является энергетически выгодной.

Нуклеофильная атака молекулы этанола приводит к продукту замещения, характерному для механизма SN1. **(3 балл)**

6.5 (2 балл)

Наиболее термодинамически устойчивые продукты образуются в условиях опытов **II** и **V**, где реакции протекают через стадии элиминирования (E2 и E1).

Образующиеся алкены обладают пониженной энергией за счёт π-сопряжения и отсутствия напряжённых связей, что делает их более устойчивыми по сравнению с продуктами нуклеофильного замещения, которые формируются преимущественно в кинетическом режиме. **(2 балл)**

Если ученик использовал структуру субстрата ниже, то работа оценивается по альтернативному решению:

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

6.6 (15 балл)

Рассматриваемый субстрат:

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

Данный бромид является **первичным гомоаллильным галогенидом**. Атом брома не находится в аллильном положении, поэтому реакции с переносом двойной связи (SN2′) и образование аллильного карбкатиона невозможны.

I. NaOEt/EtOH, 25 °C**.**

Ион EtO^- — сильный нуклеофил и основание. Для первичного бромида в протонном растворителе нуклеофильное замещение преобладает над элиминированием.

Основной механизм — **SN2**.

Основной продукт:

$$CH_2{=}CH{-}CH(CH_3){-}CH_2{-}OEt.$$

II. t−BuOK/t−BuOH, 25 °C**.**

Ион $t{-}BuO^-$ — сильное стерически затруднённое основание, что подавляет реакции замещения. Реакция протекает преимущественно по механизму **E2**.

Отщепление β-протона приводит к образованию алкена.

Основной продукт:

$$CH_2=CH-C(CH_3)=CH_2$$

III. $AgNO_3$/EtOH.

Ионы Ag^+ связывают Br^- с образованием осадка AgBr, облегчая ионизацию субстрата. Однако образующийся первичный карбкатион неустойчив, поэтому реакция протекает медленно.

Возможен механизм **SN1**, но с низкой эффективностью. Основным процессом остаётся нуклеофильное замещение.

Основной продукт:

$$CH_2=CH-CH(CH_3)-CH_2-OEt.$$

IV. NaCN/DMSO.

Полярный апротонный растворитель резко усиливает нуклеофильность иона CN^-. Для первичного бромида реализуется классический механизм **SN2**.

Основной продукт:

$$CH_2=CH-CH(CH_3)-CH_2-CN.$$

V. H_2O, 80 °C**.**

Вода является слабым нуклеофилом. Даже при повышенной температуре первичный карбкатион неустойчив, поэтому реакция идёт медленно.

Реакция протекает преимущественно по механизму **SN2** с образованием спирта.

Основной продукт:

$$CH_2=CH-CH(CH_3)-CH_2-OH.$$

За каждый корректный выбор механизма — 1 балл

За каждую корректную структуру продукта — 2 балла

(15 балл)

6.7 (3 балл)

В опыте IV реакция проводится в полярном апротонном растворителе DMSO, который стабилизирует катионы, но не анионы. Это приводит к значительному росту нуклеофильности CN^-.

Поскольку субстрат является первичным бромидом и не содержит аллильной уходящей группы, реакция протекает по классическому механизму **SN2** без переноса двойной связи.

(3 балл)

6.8 (3 балл)

В опытах I и II различие в составе продуктов обусловлено природой основания.

В опыте I (NaOEt) этоксид-ион является хорошим нуклеофилом и не обладает выраженными стерическими затруднениями, что приводит к реакции замещения по механизму **SN2**.

В опыте II (t−BuOK) стерически затруднённое основание подавляет замещение и способствует элиминированию по механизму **E2**.

(3 балл)

6.9 (3 балл)

В реакции III ионы Ag^+ связывают уходящую группу Br^- в виде осадка AgBr, облегчая разрыв связи C–Br. Однако образующийся первичный карбкатион является энергетически невыгодным, поэтому SN1 реализуется лишь в ограниченной степени.

Основным продуктом остаётся продукт нуклеофильного замещения. **(3 балл)**

6.10 (2 балл)

Наиболее термодинамически устойчивый продукт образуется в условиях опыта **II**, где реакция протекает по механизму E2 с образованием конъюгированного алкена — 1,3-бутадиена.

Продукты замещения (эфиры, спирты, нитрилы) являются преимущественно кинетическими и менее устойчивы термодинамически. **(2 балл)**