

Общие инструкции

- Теоретический тур включает **9 задач**.
- Вы можете приступить к выполнению заданий после сигнала **START**. На решение задач вам отводится **5 часов**.
- Все ответы должны быть записаны **ручкой в соответствующих полях для ответов на листах ответов**. При необходимости используйте обратную сторону листов с заданиями для черновых записей. Помните, что **ответы, записанные вне полей для ответов, не оцениваются**. Если вам не хватило места, поднимите карточку с вопросом.
- **Записывайте** необходимые вычисления в соответствующих полях, если это требуется. Полный балл будет присужден только за правильные ответы с решением.
- В заданиях с выбором ответа, **если вы хотите изменить свой ответ, полностью закрасьте** отмеченный квадратик и затем **нарисуйте новый квадратик рядом с ним**.
- Используйте только выданные вам ручку и калькулятор.
- Официальная английская версия тура предоставляется только по запросу для уточнения формулировок.
- За **30 минут** до сигнала **STOP** наблюдатели сделают предупреждение.
- После сигнала **STOP** вы должны немедленно прекратить писать. Продолжение работы после сигнала может привести к аннулированию результатов тура.
- После соответствующего указания наблюдателя вложите **все листы** обратно в конверт. **Не заклеивайте** конверт.
- Вы не можете покидать свое рабочее место без разрешения. Если вам необходима помощь, поднимите соответствующую карточку невербальной коммуникации.

		
Мне необходимо выйти в туалет.	У меня есть вопросы или мне необходима официальная английская версия для уточнения формулировок.	Мне необходимо попить, перекусить или сделать перерыв.

Значения карточек невербальной коммуникации.

УДАЧИ!

Theory



IDB-1 T-0 G-2

G0-2

IDB Russian (Independent Delegation 2)

Информация о задачах и баллах

	Название	Листов заданий	Листов ответов	Очки	Баллы
1	Путешествие сквозь время: секреты Авиценны	4	5	25	7
2	Кинетика реакции Белоусова-Жаботинского	4	6	35	6
3	Введение в ретикулярную химию	7	5	63	7
4	Ядерное прошлое Узбекистана	4	4	22	6
5	Кардиолипиды	3	4	18	6
6	Углеродные нанокольца	5	6	83	7
7	Фиксация азота	4	5	54	7
8	Переработка диоксида углерода	8	7	84	7
9	Химия циклодекстринов	4	5	53	7
				Итого	60

Theory



IDB-1 T-0 G-3

IDB Russian (Independent Delegation 2)

G0-3

Физические константы и уравнения

Константы

Постоянная Авогадро	$N_A = 6.022 \times 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Универсальная газовая постоянная	$R = 8.314 \text{ Дж} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1}$
Постоянная Фарадея	$F = 96\,485 \text{ Кл} \cdot \text{моль}^{-1}$
Постоянная Планка	$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Скорость света в вакууме	$c = 2.998 \times 10^8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$
Масса электрона	$m_e = 9.109 \times 10^{-31} \text{ кг}$
Заряд электрона	$e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ Кл}$
Стандартное давление	$P^\circ = 1 \text{ бар} = 10^5 \text{ Па}$
Ионное произведение воды при 25 °C	$K_w = 1.00 \times 10^{-14}$
Ноль шкалы Цельсия	$0^\circ \text{C} = 273.15 \text{ К}$
Электронвольт	$1 \text{ эВ (eV)} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ Дж}$
Ватт	$1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж} \cdot \text{с}^{-1}$
Кулон	$1 \text{ Кл} = 1 \text{ А} \cdot \text{с}$
Нанометр	$1 \text{ нм} = 1 \times 10^{-9} \text{ м}$
Ангстрем	$1 \text{ \AA} = 1 \times 10^{-10} \text{ м}$
Тонна	$1 \text{ тонна} = 1000 \text{ кг}$
Литр	$1 \text{ л} = 1 \text{ дм}^3$

Theory



IDB-1 T-0 G-4

IDB Russian (Independent Delegation 2)

G0-4

Уравнения

Уравнение состояния идеального газа	$PV = nRT$
Закон Дальтона	$P_i = x_i P$
Закон Бугера–Ламберта–Бера	$A = \log_{10} \frac{I_0}{I} = \epsilon c l$
Энергия фотона	$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$
Количество теплоты при нагревании	$Q = nC_m \Delta T$
Определение энергии Гиббса	$G = H - TS$
Связь энергии Гиббса с константой равновесия	$\Delta_r G^\circ = -RT \ln K$
Зависимость $\Delta_r H$ от температуры	$\Delta_r H_{T_2} = \Delta_r H_{T_1} + \Delta_r C_p (T_2 - T_1)$
Зависимость $\Delta_r S$ от температуры	$\Delta_r S_{T_2} = \Delta_r S_{T_1} + \Delta_r C_p \ln \frac{T_2}{T_1}$
Уравнение Гендерсона–Хассельбаха	$pH = pK_a + \log_{10} \frac{[A^-]}{[HA]}$
Средняя скорость реакции	$r = \frac{\Delta c}{\Delta t}$
Кинетическое уравнение	$r = k[A]^x[B]^y$
Уравнение Аррениуса	$k = A \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right)$
Интегральное кинетическое уравнение для реакции первого порядка	$c = c_0 e^{-kt}$ $kt = \ln \frac{c_0}{c}$
Время жизни реагента в реакции первого порядка	$\tau = \frac{1}{k}$
Интегральное кинетическое уравнение для реакции n-го порядка ($n \neq 1$)	$kt = \frac{1}{n-1} (c^{1-n} - c_0^{1-n})$ для $n \neq 1$
Концентрация промежуточного вещества в последовательной реакции: $A \xrightarrow{k_1} B \xrightarrow{k_2} D$	$[B] = \frac{k_1[A]_0}{k_2 - k_1} (e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t})$
Отношение концентраций продуктов в параллельных реакциях: $A \xrightarrow{k_1} B, A \xrightarrow{k_2} C$	$\frac{[B]}{[C]} = \frac{k_1}{k_2}$
Уравнение Михаэлиса–Ментен	$r_0 = r_{max} \frac{[S]_0}{K_M + [S]_0}$
Удельная площадь поверхности	$s = \frac{S}{m}$
Прогрессии: арифметическая геометрическая	$a_n = a_1 + d(n-1)$ $a_n = a_1 q^{n-1}$
Сумма членов геометрической прогрессии	$\sum_{k=0}^n a_1 q^k = a_1 \frac{q^{n+1} - 1}{q - 1}$
Объём шара радиуса r	$V = \frac{4}{3} \pi r^3$
Площадь поверхности шара радиуса r	$S = 4 \pi r^2$
Объём конуса с основанием r и высотой h	$V = \frac{1}{3} \pi r^2 h$
Объём цилиндра с радиусом r и высотой h	$V = \pi r^2 h$

Считайте все газы идеальными.

При расчёте констант равновесия все концентрации отнесены к стандартной концентрации 1 моль/л.

Периодическая таблица элементов

1		2																3		4										5		6										7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57-71	88	89-103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	-																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
H	He	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Cs	Ba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

T1. Путешествие сквозь время: секреты Авиценны

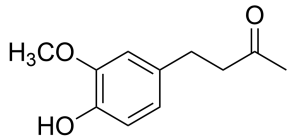
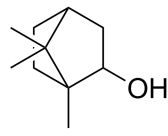
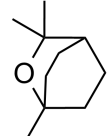
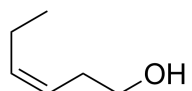
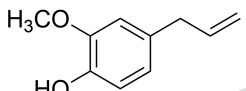
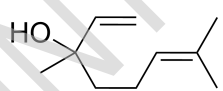
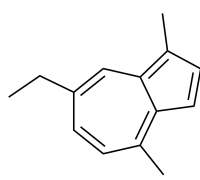
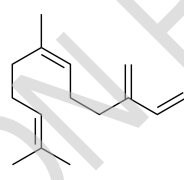
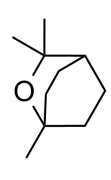
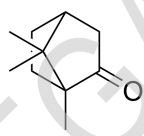
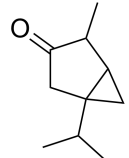
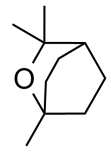
7 баллов						
1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	Σ
3	4	3	4	7	4	25



Химик оказалась в 11м веке, где встретила знаменитого врача Авиценну. В лаборатории Авиценны она обнаружила синий эликсир и загадочный желтый камень. Она привезла их в 2026 год. Желая установить их состав, она приступила к исследованию.

Часть 1. Синий эликсир

Сначала химик составила таблицу, содержащую названия четырех растений, которые она видела в лаборатории Авиценны и которые могли быть использованы для приготовления эликсира, а также соединений, которые можно выделить из этих растений.

Растения	Соединения, которые можно выделить		
<i>Zingiber</i>			
	1 (C ₁₁ H ₁₄ O ₃)	2 (C ₁₀ H ₁₈ O)	3 (C ₁₀ H ₁₈ O)
<i>Hypericum</i>			
	4 (C ₆ H ₁₂ O)	5 (C ₁₀ H ₁₂ O ₂)	6 (C ₁₀ H ₁₈ O)
<i>Chamomilla</i>			
	7 (C ₁₄ H ₁₆)	8 (C ₁₅ H ₂₄)	3 (C ₁₀ H ₁₈ O)
<i>Artemisia</i>			
	9 (C ₁₀ H ₁₆ O)	10 (C ₁₀ H ₁₈ O)	3 (C ₁₀ H ₁₈ O)

С помощью хроматографии она установила, что эликсир состоит из четырех различных веществ (**X**, **Y**, **Z** и **W**).

Затем химик обнаружила, что **X** может изомеризоваться в **Y** в кислой среде и **Y** имеет плоскость симметрии.

1.1 Определите X и Y.

3.0 pt

Хроматография также показала, что именно вещество **Z** придает эликсиру синий цвет. **Z** является производным хорошо известного вещества **A**, которое имеет две взаимно перпендикулярные плоскости симметрии. При нагревании **A** изомеризуется в ароматическое соединение **B**, имеющее три взаимно перпендикулярные плоскости симметрии. При хлорировании вещества **Z** в масс-спектре наблюдается пара пиков с m/z 218 и 220 и соотношением интенсивностей 3:1, соответственно.

1.2 Определите **Z** и нарисуйте структуры веществ **A** и **B**.

4.0 pt

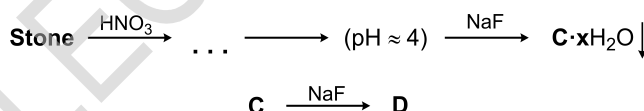
Химик выделила из эликсира вещество **W**. При добавлении **W** к водному раствору Fe^{3+} наблюдалось характерное изменение окраски. Масс-спектрометрический анализ **W** показал, что отношение интенсивностей $[\text{M}]^+ : [\text{M} + 1]^+$ равно 9:1, где M — молекулярный ион. Считайте, что углерод состоит исключительно из изотопов ^{12}C и ^{13}C , содержание изотопа ^{12}C составляет 98.9%, а все остальные элементы являются моноизотопными.

1.3 Определите число атомов углерода (n) по данным масс-спектрометрии и установите строение **W**. Приведите расчеты.

3.0 pt

Часть 2. Загадочный камень

Авиценна рассказал ей, что **камень (Stone)** представляет собой индивидуальное соединение. Она растворила его в разбавленной азотной кислоте. Затем довела pH раствора примерно до 4 и добавила NaF. Это привело к образованию осадка **C**· $x\text{H}_2\text{O}$, содержащего 39.16% воды по массе. Безводное соединение **C** реагирует с избытком NaF с образованием соединения **D**, содержащего 32.85% натрия и 12.85% металла **Q** по массе; вещество **D** используется в промышленном производстве металла **Q**.



1.4 Определите металл **Q** и соединения **C**· $x\text{H}_2\text{O}$ и **D**. Приведите ваши расчеты.

4.0 pt

Авиценна рассказал ей, что он нашёл **камень** в месторождении угля. **Камень** содержит анион высокосимметричной кислоты **F**. При взаимодействии **F** с P_2O_5 образуется бинарное соединение **G**, содержащее 49.98% кислорода по массе и имеющее ось симметрии третьего порядка. Кислоту **F** можно получить окислением соединения **E** перманганатом калия в кислой среде. Соединение **E** содержит 11.18% водорода по массе и имеет ось симметрии шестого порядка.



Theory



IDB-1 T-1 Q-4

IDB Russian (Independent Delegation 2)

Q1-4

1.5 Нарисуйте структуры **E**, **F** и **G**. Приведите ваши расчеты.

7.0 pt

Затем она исследовала **камень** методом термогравиметрического анализа на воздухе. Образец массой 10.00 г начал терять массу примерно при 100 °C, и при 200 °C масса стабилизировалась на уровне 5.75 г. Второе уменьшение массы наблюдалось при 400 °C, после чего масса оставшегося соединения **H** составила 1.50 г и далее не изменялась при повышении температуры.

1.6 Определите химические формулы **камня** и соединения **H**, используя данные термогравиметрического анализа. Приведите ваши расчеты.

4.0 pt

DELEGATION PRINT



T1. A Journey through time: The secrets of Avicenna

7%						
1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	Σ
3	4	3	4	7	4	25

1.1 (3.0 pt)

X:

☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5
☐ 6	☐ 7	☐ 8	☐ 9	☐ 10

Y:

☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5
☐ 6	☐ 7	☐ 8	☐ 9	☐ 10

1.2 (4.0 pt)

Z:

☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5
☐ 6	☐ 7	☐ 8	☐ 9	☐ 10

**1.2 (cont.)**

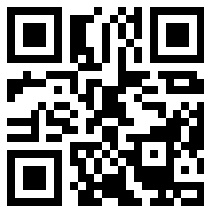
A	B
----------	----------

1.3 (3.0 pt)

$n =$ _____

W:

☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5
☐ 6	☐ 7	☐ 8	☐ 9	☐ 10

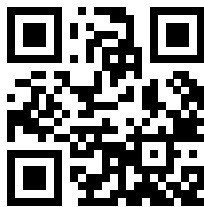


1.4 (4.0 pt)

Q:

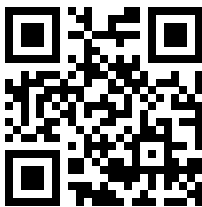
C · xH₂O:

D:



1.5 (7.0 pt)

E	F	G
---	---	---



1.6 (4.0 pt)

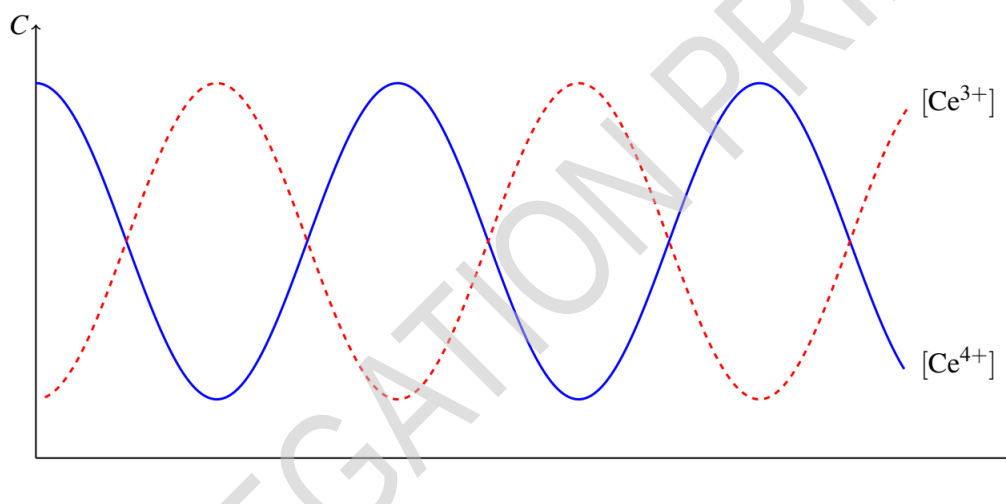
Stone :

H :

T2. Кинетика реакции Белоусова-Жаботинского

6 баллов							
2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	Σ
2	11	4	2	9	4	3	35

При смешивании KBrO_3 , $\text{CH}_2(\text{COOH})_2$ (обозначена как МА от malonic acid), $\text{Ce}(\text{SO}_4)_2$ и H_2SO_4 концентрация ионов Се и цвет раствора колеблются от желтого (Ce^{4+}) до бесцветного (Ce^{3+}), как показано на рисунке ниже:



- 2.1** **Напишите** суммарное уравнение реакции Белоусова-Жаботинского (БЖ) с коэффициентами. Примечание: в этой реакции МА окисляется до CO_2 , BrO_3^- восстанавливается до Br^- , а Ce(IV) является катализатором. 2.0 pt

Theory

Q2-2

Механизм реакции БЖ показан ниже (BMA – $\text{CHBr}(\text{COOH})_2$):

Процесс А	$\begin{cases} (1) \text{HBrO}_2 + \text{BrO}_3^- + \text{H}^+ \xrightarrow{k_1} 2\text{BrO}_2^\cdot + \text{H}_2\text{O} \\ (2) \text{BrO}_2^\cdot + \text{Ce}^{3+} + \text{H}^+ \xrightarrow{k_2} \text{HBrO}_2 + \text{Ce}^{4+} \\ (3) 2\text{HBrO}_2 \xrightarrow{k_3} \text{BrO}_3^- + \text{HBrO} + \text{H}^+ \end{cases}$	$\begin{aligned} k_1 &= 1.0 \times 10^4 \text{ M}^{-2} \text{ c}^{-1} \\ k_2 &= 6.2 \times 10^4 \text{ M}^{-2} \text{ c}^{-1} \\ k_3 &= 4.0 \times 10^7 \text{ M}^{-1} \text{ c}^{-1} \end{aligned}$
Процесс В	$\begin{cases} (4) \text{HBrO}_2 + \text{Br}^- + \text{H}^+ \xrightarrow{k_4} 2\text{HBrO} \\ (5) \text{BrO}_3^- + \text{Br}^- + 2\text{H}^+ \xrightarrow{k_5} \text{HBrO} + \text{HBrO}_2 \\ (6) \text{HBrO} + \text{MA} \xrightarrow{k_6} \text{BMA} + \text{H}_2\text{O} \end{cases}$	$\begin{aligned} k_4 &= 2.0 \times 10^9 \text{ M}^{-2} \text{ c}^{-1} \\ k_5 &= 2.1 \text{ M}^{-3} \text{ c}^{-1} \\ k_6 &= 8.2 \text{ M}^{-1} \text{ c}^{-1} \end{aligned}$
Процесс С	$(7) \text{Ce}^{4+} + \text{BMA} \xrightarrow{k_7} \text{Ce}^{3+} + \text{Br}^- + \text{прочие продукты}$	$k_7 = 1.0 \times 10^2 \text{ M}^{-1} \text{ c}^{-1}$

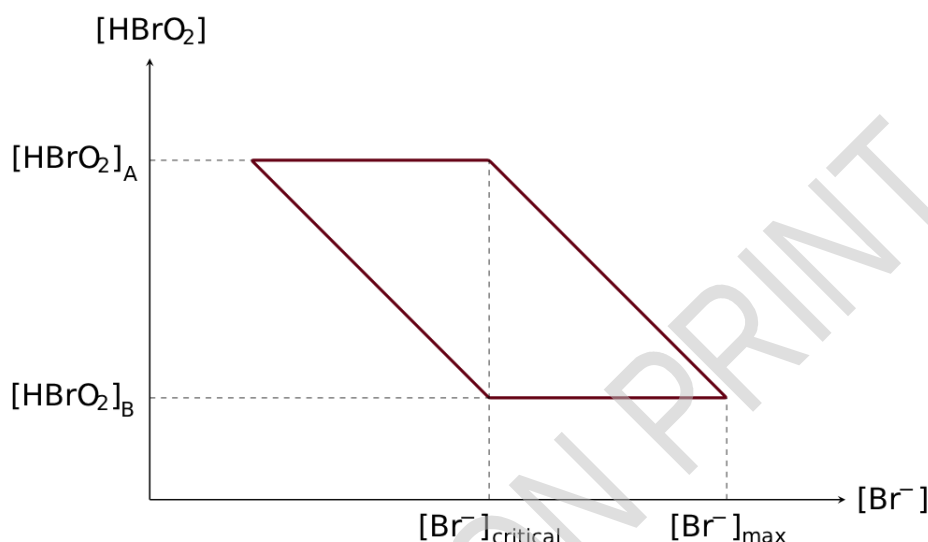
В реакции БЖ **процесс С** протекает непрерывно, тогда как **процессы А** и **В** чередуются друг с другом. Примем, что:

- когда протекает **процесс А**, раствор имеет желтый цвет, а **процесс В** практически не протекает;
- когда протекает **процесс В**, раствор бесцветный, а **процесс А** практически не протекает;
- $[\text{BrO}_3^-]_0 = 0.06 \text{ M}$, $[\text{MA}]_0 = 0.1 \text{ M}$, $[\text{H}^+]_0 = 0.8 \text{ M}$, $[\text{Ce}^{4+}]_0 = 0.001 \text{ M}$;
- концентрации реагентов (за исключением Ce^{4+}) и pH остаются постоянными на протяжении всей реакции БЖ.

2.2 Используя квазистационарное приближение, **рассчитайте** стационарные молярные концентрации HBrO_2 в **процессах А** и **В**, $[\text{HBrO}_2]_{\text{А}}$ и $[\text{HBrO}_2]_{\text{В}}$. 11.0 pt

Если вам не удалось вычислить $[\text{HBrO}_2]_{\text{А}}$ и $[\text{HBrO}_2]_{\text{В}}$, вы можете использовать значения $[\text{HBrO}_2]_{\text{А}} = 1 \times 10^{-5} \text{ M}$ и $[\text{HBrO}_2]_{\text{В}} = 1 \times 10^{-10} \text{ M}$ для последующих вычислений.

В ходе реакции БЖ концентрации Br^- и HBrO_2 колеблются согласованно, как показано на фазовом портрете в координатах $[\text{HBrO}_2]$ от $[\text{Br}^-]$:



Здесь $[\text{Br}^-]_{\text{max}}$ — максимальная концентрация, а $[\text{Br}^-]_{\text{critical}}$ — критическая концентрация Br^- , при которой происходит переключение процессов с **A** на **B** или с **B** на **A**. Чтобы переключиться с **процесса A** на **процесс B**, скорость элементарной стадии (4) должна превышать скорость элементарной стадии (1), и наоборот.

2.3 Вычислите $[\text{Br}^-]_{\text{critical}}$.

4.0 pt

Если вам не удалось вычислить $[\text{Br}^-]_{\text{critical}}$, используйте $[\text{Br}^-]_{\text{critical}} = 1 \times 10^{-7}$ М для последующих вычислений.

2.4 В каком направлении на фазовом портрете в координатах $[\text{HBrO}_2]$ - $[\text{Br}^-]$ будут изменяться со временем концентрации $[\text{HBrO}_2]$ и $[\text{Br}^-]$?
Отметьте галочкой правильный вариант.

2.0 pt

Система не движется по фазовому портрету с постоянной скоростью. Концентрация $[\text{Br}^-]$ медленно уменьшается от $[\text{Br}^-]_{\text{max}} = 7.0 \times 10^{-4}$ М до $[\text{Br}^-]_{\text{critical}}$, а затем почти мгновенно снова достигает $[\text{Br}^-]_{\text{max}}$.

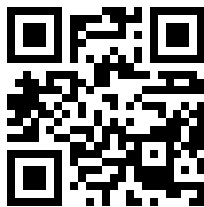
2.5 На основании приведённых данных рассчитайте период колебаний τ в секундах.

9.0 pt

- 2.6** Каковы будут последствия, если в открытой системе, в которой протекает реакция БЖ, будут выполнено одно из следующих действий (**1-4**)? В каждом случае отметьте галочкой только один вариант ответа (**a-e**). 4.0 pt

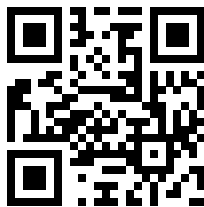
- | | |
|---|--|
| 1. Добавление небольшого количества Ce^{4+} в ходе процесса А . | [a] продлевает процесс А |
| 2. Добавление небольшого количества Ag^+ в ходе процесса В . | [b] продлевает процесс В |
| 3. Добавление небольшого количества Br^- в ходе процесса В . | [c] Процесс А переключается на процесс В |
| 4. Непрерывное добавление Br^- . | [d] Процесс В переключается на процесс А |
| | [e] колебания прекращаются |

- 2.7** Какой график качественно правильно иллюстрирует зависимость скорости изменения энергии Гиббса ($\frac{dG}{dt}$) **закрытой** системы, в которой протекает колебательная реакция, от времени? Отметьте галочкой правильный вариант. 3.0 pt

**T2. Kinetics of the Belousov-Zhabotinsky reaction**

6%							
2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	Σ
2	11	4	2	9	4	3	35

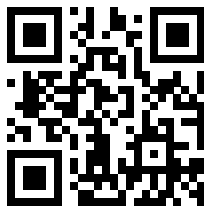
2.1 (2.0 pt)**2.2** (11.0 pt) $[\text{HBrO}_2]_{\text{A}} = \text{_____ M}$



2.2 (cont.)

DELEGATION PRINT

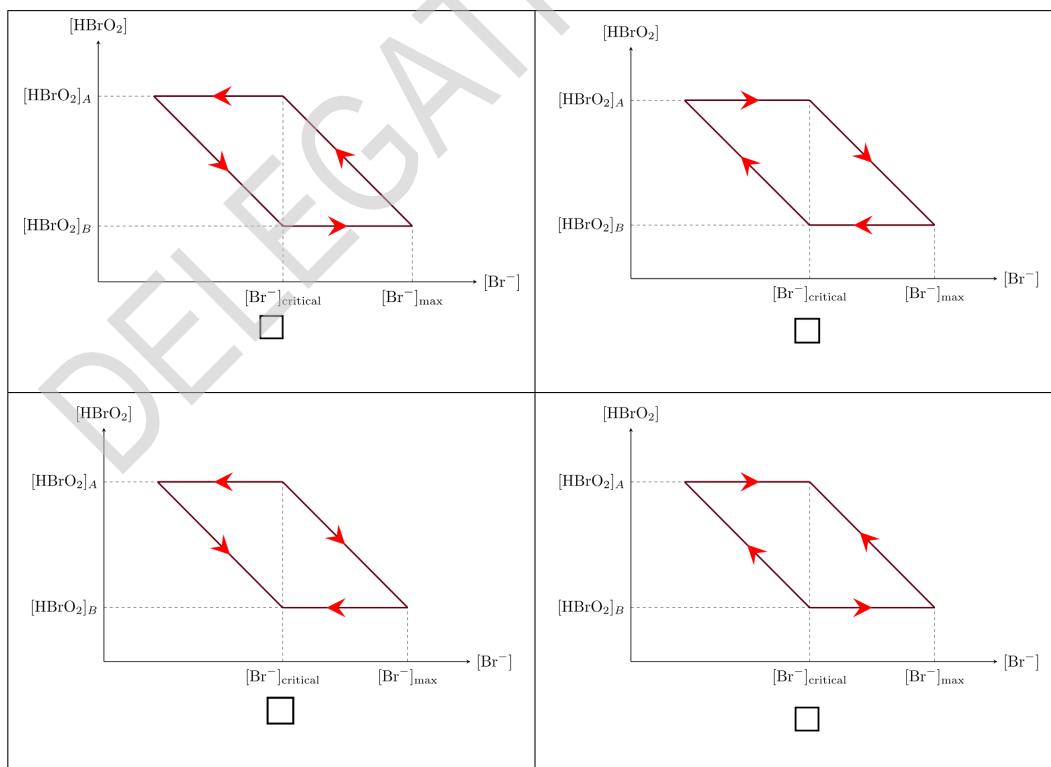
$[\text{HBrO}_2]_{\text{B}} = \text{_____} \text{M}$

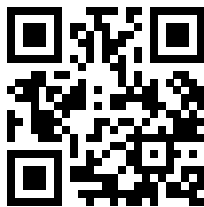


2.3 (4.0 pt)

 $[\text{Br}^-]_{\text{critical}} = \text{_____ M}$

2.4 (2.0 pt)

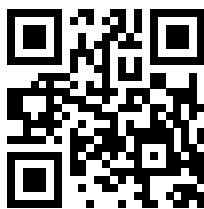




2.5 (9.0 pt)

DELEGATION PRINT

$\tau =$ _____ s



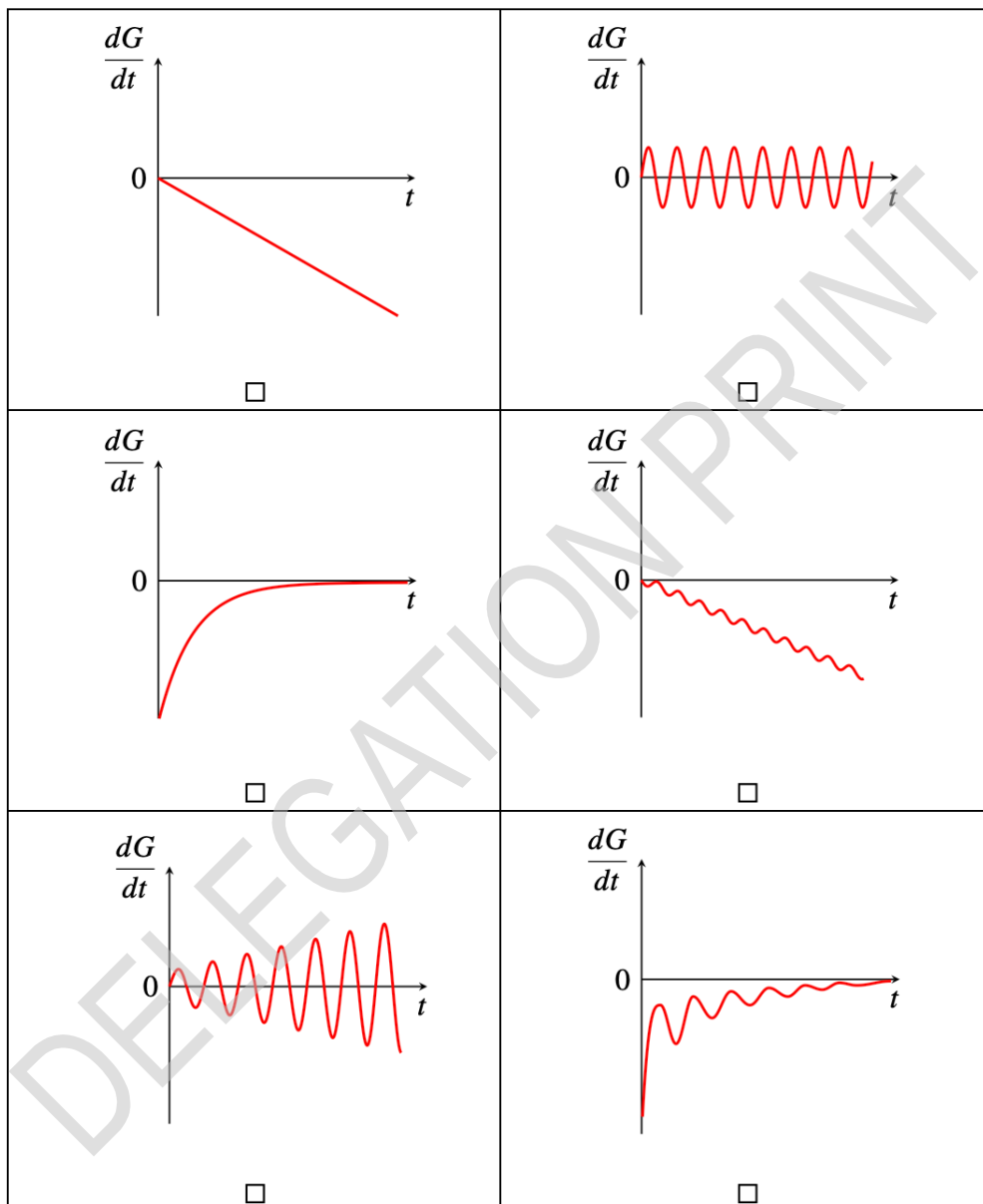
2.6 (4.0 pt)

	a	b	c	d	e
1.	☐	☐	☐	☐	☐
2.	☐	☐	☐	☐	☐
3.	☐	☐	☐	☐	☐
4.	☐	☐	☐	☐	☐

DELEGATION PRINT



2.7 (3.0 pt)

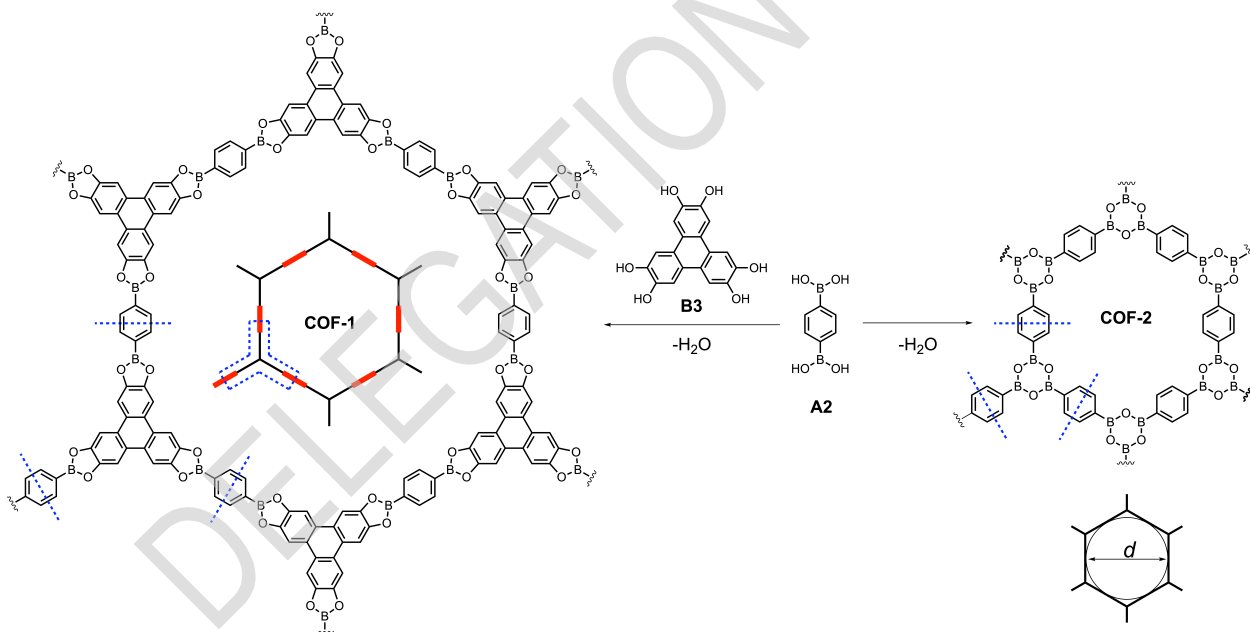


Т3. Введение в ретикулярную химию

7 баллов							
3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	Σ
2	3	23	12	6	12	5	63

Ковалентные органические каркасы (**COFs**) — это класс полимеров, образующих двумерные (2D) или трехмерные (3D) структуры за счет образования прочных ковалентных связей между исходными органическими молекулами (прекурсорами). В результате получают упорядоченные пористые кристаллические материалы.

На рисунке ниже приведены два примера двумерных **COFs** сотового типа (напоминающих пчелиные соты), построенных из боронатных эфиров и бороксиновых циклов. Пунктирными линиями на схеме выделены повторяющиеся звенья. На всех топологических схемах **COFs** черные и красные жирные линии обозначают различные исходные структурные блоки.



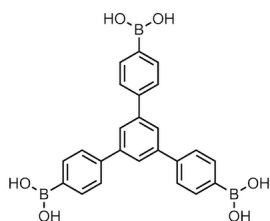
- 3.1** Определите эмпирическую формулу **COF-1** и рассчитайте массовую долю углерода (в %, с точностью до сотых) в **COF-1**. 2.0 pt

- 3.2** **Рассчитайте** внутренний диаметр d (в Å) соты для **COF-2**, используя следующие допущения: 3.0 pt
- C–C/C=C (арены) = 1.39 Å
 - C–B = 1.56 Å
 - B–O = 1.38 Å
 - Примечание: диаметр d окружности, вписанной в правильный шестиугольник, равен $d = a\sqrt{3}$, где a - длина стороны шестиугольника.
 - При расчетах пренебрегите толщиной линкеров, которые связывают органические фрагменты.

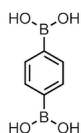
Theory

Q3-3

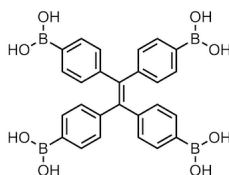
Приведенные ниже структуры могут образовывать 2D- и 3D-**COFs**. В данном вопросе рассматривайте образование только тех **COFs**, которые содержат боронатные эфиры, имины и C=C связи, образованные в реакциях конденсации. Буквами **A-E** обозначены классы соединений, содержащие различные функциональные группы.



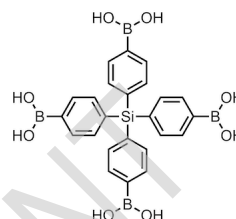
A1



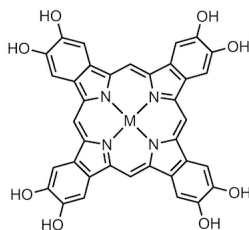
A2



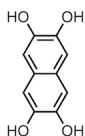
A3



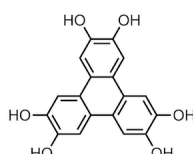
A4



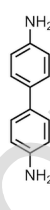
B1



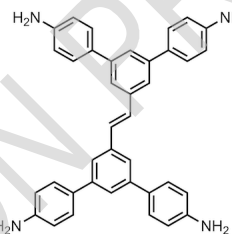
B2



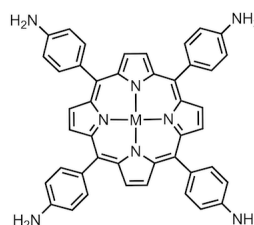
B3



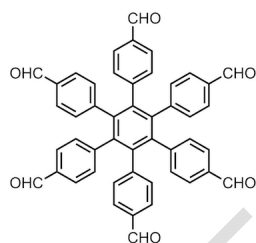
C1



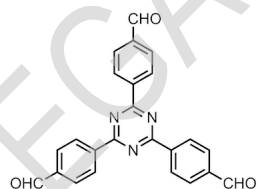
C2



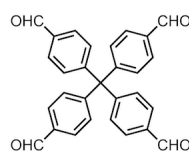
C3



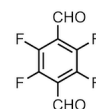
D1



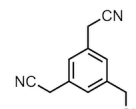
D2



D3



D4



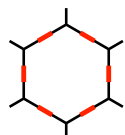
E1



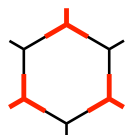
Tetragonal 1



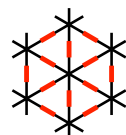
Tetragonal 2



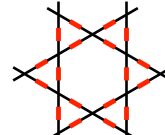
Hexagonal 1



Hexagonal 2



Trigonal



Kagome



Tetrahedral

Tetragonal (тетрагональная/квадратная сетка), **Hexagonal** (гексагональная/шестиугольная сетка), **Trigonal** (тригональная сетка), **Kagome** (решетка КагOME — специфический тип трехлучевой/шестилучевой двумерной топологии), **Tetrahedral** (тетраэдрическая топология, характерная для объемных 3D-каркасов).

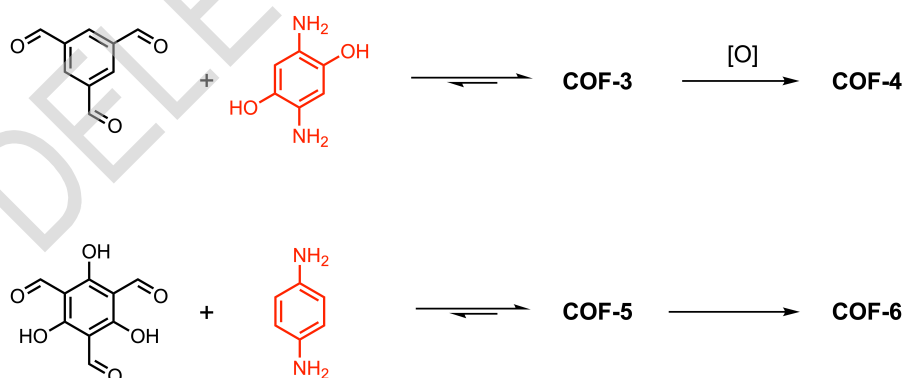
- 3.3** Заполните все ячейки таблицы либо новыми примерами комбинаций мономеров, которые приводят к показанным выше топологиям, либо символами «XXX», если вы уверены, что никакие другие комбинации не соответствуют данной топологии. Оцениваться будут как предложенные комбинации, так и записи «XXX». За неверные ответы (как для комбинаций, так и для записей «XXX») будут начисляться штрафные баллы. Пустые ячейки таблицы оцениваться не будут. 23.0 pt

Tetragonal 1	Tetragonal 2	Hexagonal 1	Hexagonal 2	Trigonal	Kagome	Tetra- hedral
		A2 + B3	E1 + D2		C2 + D4	

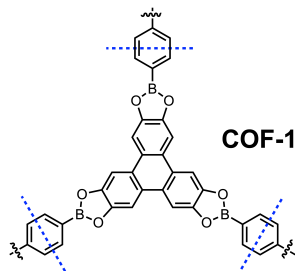
Хотя COFs на основе иминов довольно легко синтезировать, они все же подвержены гидролизу в кислых и щелочных средах. Эту проблему можно решить путем введения гидроксильных групп (-OH) в исходные альдегидные или аминные мономеры.

В ИК-спектре полимера **COF-3** присутствуют полосы валентных колебаний, характерные для иминной группы, тогда как в спектре **COF-4** они отсутствуют. Каркас **COF-4** содержит связи C=N другого типа. Согласно данным элементного анализа, единственное отличие **COF-4** от **COF-3** заключается в потере шести атомов водорода на каждое повторяющееся звено.

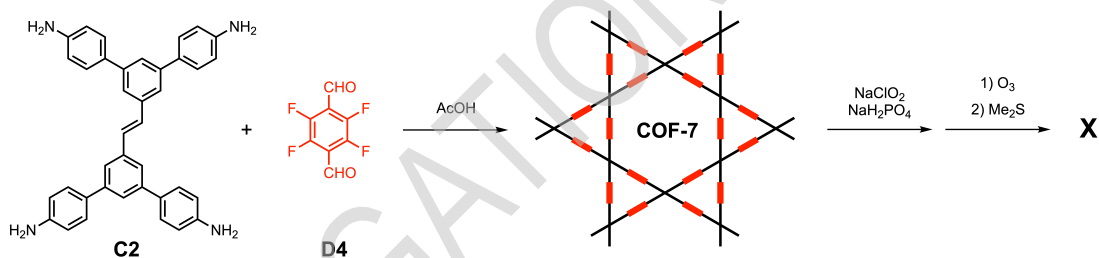
Каркас **COF-5** необратимо превращается (изомеризуется) в **COF-6**, в ИК-спектре которого полосы колебаний иминогруппы отсутствуют.



- 3.4** Нарисуйте повторяющиеся звенья для **COF-3** – **COF-6**, обозначив каждое повторяющееся звено штриховой линией ровно также, как это показано для **COF-1**. 12.0 pt



Макроцикл **X** получили следующим образом: сначала провели химическую модификацию уже готового каркаса **COF-7** (собранного из мономеров **C2** и **D4**), а затем разрушили (расщепили) этот каркас.

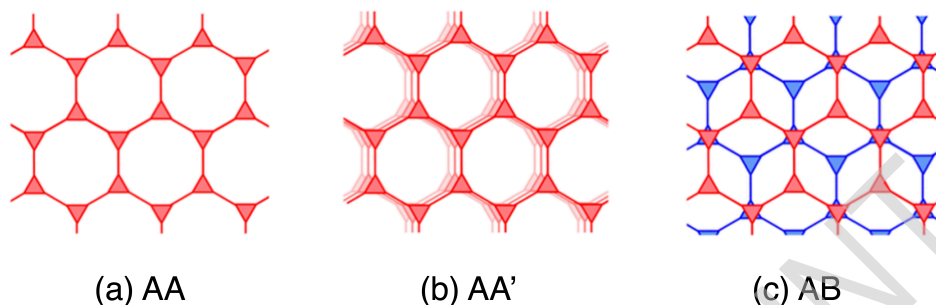


- 3.5** Нарисуйте наименьшее повторяющееся звено макроцикла **X**. 6.0 pt

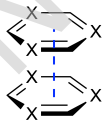
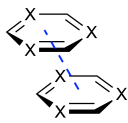
Theory

Q3-6

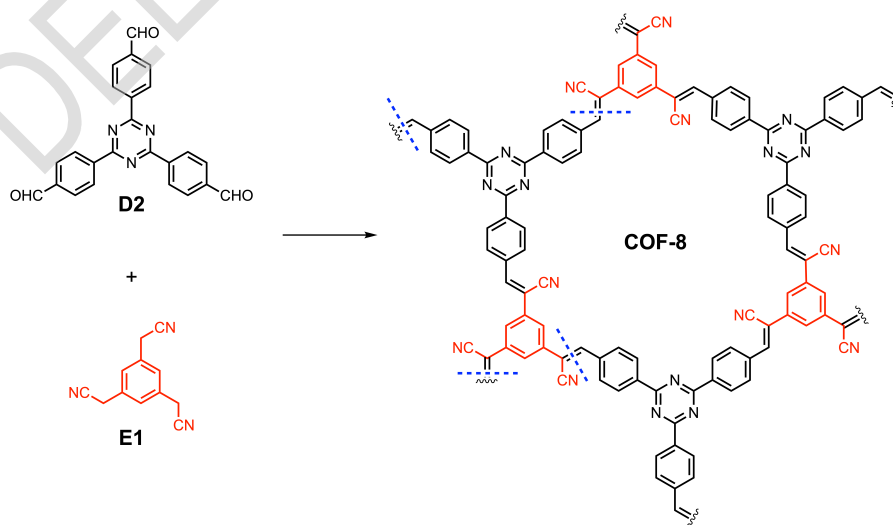
За счет π - π стэкингowych взаимодействий слои каркаса **COF** могут накладываться друг на друга разными способами. Некоторые из таких вариантов укладки изображены ниже.



В зависимости от того, как именно слои накладываются друг на друга, энергия их взаимодействия, как показано ниже, будет различаться.

Геометрия взаимодействия	E в кДж/моль	
		
бензол (X = CH) – бензол (b-b)	-7.9	-12.6
бензол-триазин (X = N) (b-t)	-49.8	-55.6
триазин-триазин (t-t)	-6.7	-16.7

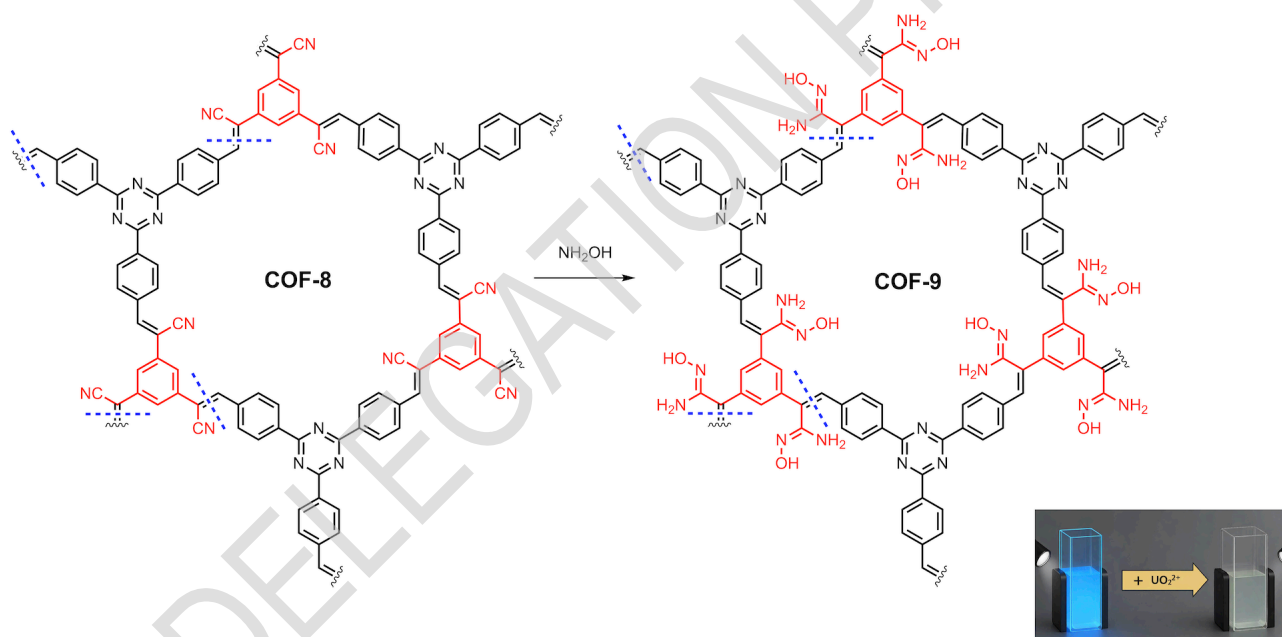
Каркас **COF-8**, собранный из мономеров **E1** и **D2**, выделяется своей удивительной стабильностью. В двухслойном каркасе **COF-8** слои уложены со слегка смещенным наложением (тип **AA'**). При этом энергия π - π стэкингowego взаимодействия между двумя слоями в расчете на одно повторяющееся звено составляет -67.1 кДж/моль.



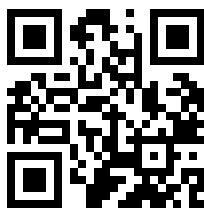
- 3.6** Рассчитайте энергию π - π стэкингowego взаимодействия между двумя слоями в расчете на одно повторяющееся звено **COF-8** для трех вариантов взаимного расположения слоев: **AA**, **AB** и **AB'**. При расчете учтите, что π - π стэкингowe взаимодействие возникает только между ароматическими кольцами. 12.0 pt

Каркас **COF-9**, полученный модификацией **COF-8**, адсорбирует ионы уранила UO_2^{2+} , что приводит к тушению его флуоресценции.

В ходе эксперимента навеску **COF-9** массой 5.000 мг внесли в 200.0 мл раствора, содержащего ионы UO_2^{2+} (начальная концентрация 19.90 мг/дм³). После установления равновесия полученную суспензию отфильтровали, а равновесная концентрация ионов UO_2^{2+} в фильтрате составила 9.225 мг/дм³.



- 3.7** Рассчитайте равновесную адсорбционную емкость каркаса **COF-9** при данной температуре (q_e , в мг/г). Определите число ионов UO_2^{2+} , приходящихся на одну пору. Примите, что весь уран в растворе находится исключительно в виде ионов UO_2^{2+} . 5.0 pt

**T3. Into Reticular Chemistry**

7%							
3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	Σ
2	3	23	12	6	12	5	63

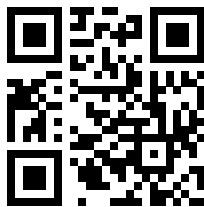
3.1 (2.0 pt)

COF-1: _____

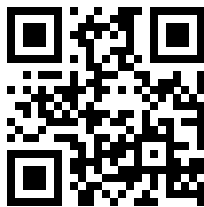
C: _____ %

3.2 (3.0 pt)

d = _____ Å

**3.3** (23.0 pt)

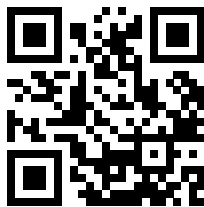
Tetragonal 1	Tetragonal 2	Hexagonal 1	Hexagonal 2	Trigonal	Kagome	Tetrahe- dral
		A2 + B3	E1 + D2		C2 + D4	



3.4 (12.0 pt)

COF-3	COF-4
COF-5	COF-6

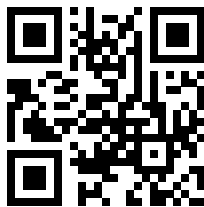
DELEGATION PRINT



3.5 (6.0 pt)

3.6 (12.0 pt)

$E, \text{kJ mol}^{-1}$	AA	AA'	AB	AB'
		-67.1		



3.7 (5.0 pt)

$q_e =$ _____ mg g^{-1}

COF-9: $\text{UO}_2^{2+} =$ _____

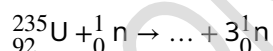
Т4. Ядерное прошлое Узбекистана

6 баллов									
4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	Σ
2	3	3	2	2	2	2	2	4	22

Природный уран состоит в основном из двух изотопов: ^{235}U и ^{238}U . Изотоп ^{235}U отвечает за поддержание реакций ядерного деления.

4.1 Рассчитайте мольную долю изотопа ^{235}U в природном уране, считая, что он состоит только из изотопов ^{235}U (235.04 а.е.м) и ^{238}U (238.05 а.е.м). 2.0 pt

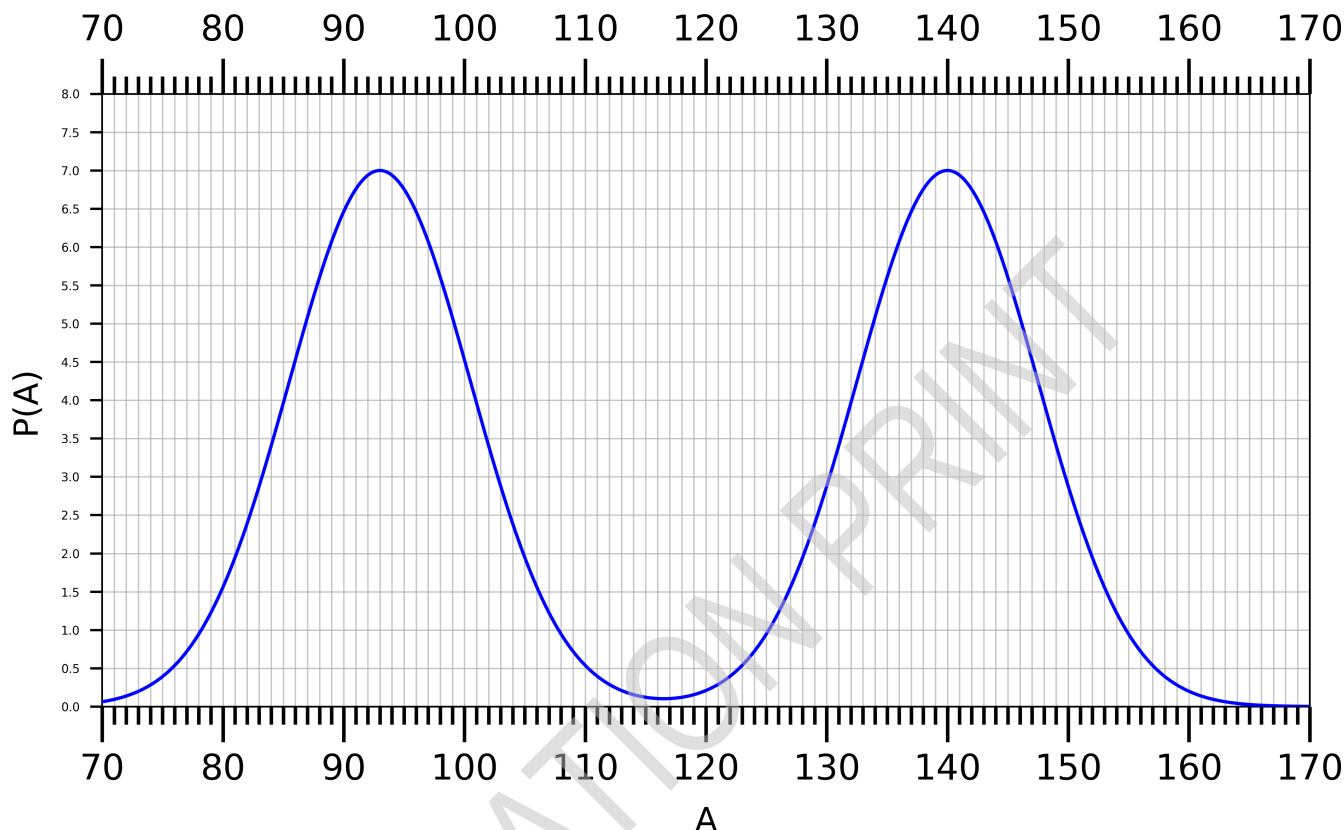
Основная реакция, протекающая в ядерных реакторах — деление ядер ^{235}U при поглощении нейтронов, сопровождающееся выделением энергии и образованием трех дополнительных нейтронов, поддерживающих цепную реакцию.



Нейтроны, инициирующие цепную реакцию, образуются несколькими способами:

- а) Реакцией ^{11}B с α -частицами в активной зоне реактора;
- б) Взаимодействием γ -лучей с ядрами ^2D , присутствующими в теплоносителе (вода) реактора;
- в) Реакцией ^9Be с α -частицами, испускаемыми внешним источником нейтронов.

4.2 Напишите уравнения ядерных реакций для пунктов (а), (б) и (в). 3.0 pt



На вышеприведенном графике показан процентный выход $P(A)$ продуктов деления в зависимости от массового числа A , образующихся в результате деления ^{235}U .

4.3 Напишите уравнение, соответствующее преобладающему пути распада ядра ^{235}U при поглощении нейтрона. Пара образующихся элементов принадлежит к одной группе Периодической системы. 3.0 pt

4.4 Рассчитайте энергию, выделяющуюся при делении ядра (ΔE , в МэВ), если энергия связи ядра ^{235}U составляет 7.59 МэВ/нуклон, а средняя энергия связи продуктов деления составляет 8.45 МэВ/нуклон. Энергией связи свободных нейтронов следует пренебречь. 2.0 pt

При делении нейтроны образуются со средней энергией 2 МэВ и замедляются из-за многочисленных столкновений с ядрами. После нескольких столкновений их скорость уменьшается до тех пор, пока их средняя кинетическая энергия не будет сопоставимой с кинетической энергией окружающих атомов или молекул.

Логарифмическое уменьшение энергии (ξ) показывает, насколько в среднем уменьшается логарифм энергии нейтрона за одно столкновение:

$$\xi = \ln \left(\frac{E_{\text{initial}}}{E_{\text{final}}} \right)$$

Theory

Q4-3

$E_{initial}$ и E_{final} - это энергии нейтрона до и после столкновения, соответственно.

ξ является постоянной величиной для каждого типа материала и не зависит от начальной энергии нейтронов.

- 4.5** Рассчитайте среднее число соударений (n_c), необходимое для замедления нейтрона с 2 МэВ до 0.012 эВ, используя воду в качестве замедлителя. ξ (вода)=0.948 2.0 pt

В 1963 году на газовом месторождении *Уртабулак* произошел неконтролируемый выброс природного газа из скважины, в результате чего выделились огромные объемы горящего метана.

- 4.6** Рассчитайте $\Delta_r H_{298}^\circ$ (в кДж/моль) для сгорания одного моля метана при температуре 298 К. Считайте, что все участники реакции являются газообразными. Для расчетов используйте нижеприведенные термодинамические данные. 2.0 pt

$\Delta_f H_{298}^\circ(\text{CH}_4)$	-74.8 кДж/моль
$\Delta_f H_{298}^\circ(\text{H}_2\text{O, газ})$	-241.8 кДж/моль
$\Delta_f H_{298}^\circ(\text{CO}_2)$	-393.5 кДж/моль
$C_P(\text{CH}_4)$	35 Дж/(моль · К)
$C_P(\text{H}_2\text{O, газ})$	34 Дж/(моль · К)
$C_P(\text{O}_2)$	29 Дж/(моль · К)
$C_P(\text{CO}_2)$	37 Дж/(моль · К)

Если вы дурачок и не получили ответ в пункте 4.6, то далее используйте $\Delta_r H_{298}^\circ = -750$ кДж/моль.

- 4.7** Рассчитайте энтальпию сгорания $\Delta_r H_{2000}$ (в кДж/моль) одного моля метана при температуре 2000 К. Считайте, что все участники реакции являются газообразными. 2.0 pt

Если вы дурачок и не получили ответ в пункте 4.7, то далее используйте $\Delta H_{2000} = -700$ кДж/моль.

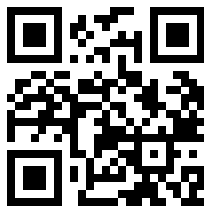
Допустим, что метан, прежде чем он загорится, вытекает из скважины при давлении 101.325 кПа и 298 К с объемным расходом $Q = 2.2 \times 10^5$ м³ в сутки.

- 4.8** Рассчитайте общую энергию, выделяемую за сутки, E , (в Дж/сутки), при полном изотермическом сгорании метана при $T = 2000$ К. 2.0 pt

Утечка газа из *Уртабулака* была прекращена подземным ядерным взрывом мощностью 30 кило тонн в тротиловом эквиваленте, который разрушил резервуар и устранил утечку. 1 тонна тротилового эквивалента составляет 4.184 ГДж энергии.

- 4.9** Используя значение из пункта **4.4**, рассчитайте общее число актов деления TN в ходе ядерного взрыва. Рассчитайте массу m обогащенного урана, использованного при взрыве (в кг), приняв, что массовая доля изотопа ^{235}U в нем составляла 90%, и 33% этого изотопа подверглось делению. 4.0 pt
- Если вы не получили ответ в пункте 4.4, то используйте $\Delta E = 200 \text{ МэВ}$.*

DELEGATION PRINT



T4. The nuclear past of Uzbekistan

6% of total									
4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	Σ
2	3	3	2	2	2	2	2	4	22

4.1 (2.0 pt)

^{235}U : _____%

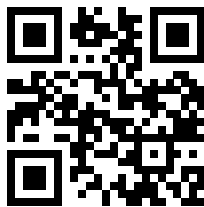
4.2 (3.0 pt)

(a) :

(b) :

(c) :

4.3 (3.0 pt)



4.4 (2.0 pt)

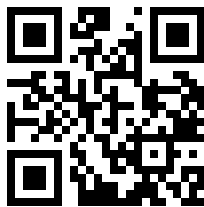
ΔE : _____ MeV

4.5 (2.0 pt)

n_c : _____

4.6 (2.0 pt)

$\Delta_r H_{298} =$ _____ kJ mol^{-1}

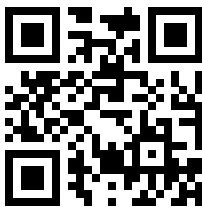


4.7 (2.0 pt)

$$\Delta_r H_{2000} = \text{_____} \text{ kJ mol}^{-1}$$

4.8 (2.0 pt)

$$E = \text{_____} \text{ J day}^{-1}$$



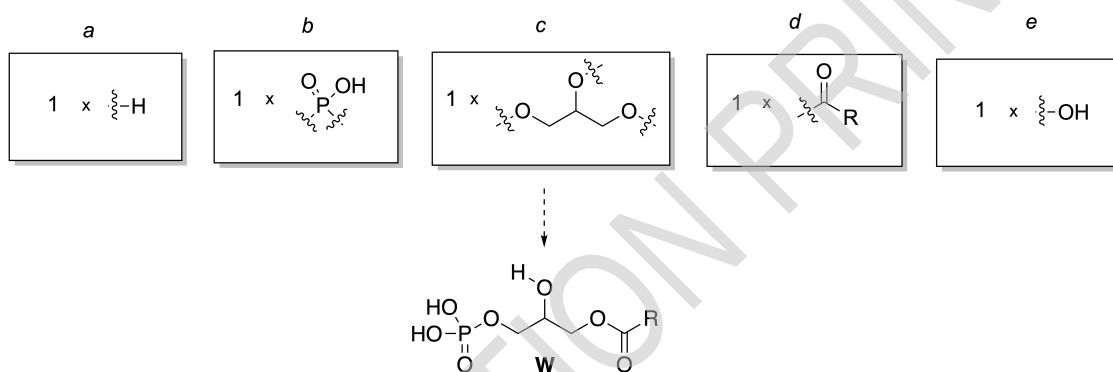
4.9 (4.0 pt)

$TN =$ _____ $m =$ _____ kg

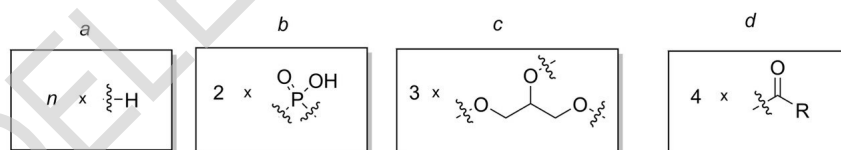
T5. Кардиолипины

6 баллов						
5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	Σ
1	6	4	2	2	3	18

В этой задаче вам нужно собирать молекулы из фрагментов. Например, если вам нужно нарисовать хиральный фосфолипид, такой как **W**, используя фрагменты *a-e*, его можно собрать, как показано ниже.



Кардиолипины — это семейство ациклических фосфолипидов, различающихся остатками жирных кислот. Они играют важную роль в получении энергии и обеспечении стабильности мембран. **PL1** относится к этому семейству. Используя только структурные фрагменты *a-d* в указанных ниже количествах, можно собрать неионизированную форму соединения **PL1**. R — углеводородный заместитель в структуре жирной кислоты.



PL1 не содержит пероксидных связей.

- 5.1** Отметьте галочкой одно верное утверждение относительно значения *n* 1.0 pt
 (количества фрагментов типа *a*).
 (a) *n* — чётное,
 (b) *n* — нечётное,
 (c) *n* может быть как нечётным, так и чётным.

Некоторые кардиолипины являются хиральными молекулами, даже если они содержат четыре одинаковых остатка жирных кислот, как в случае соединения **PL1**. Один из энантиомеров соединения **PL1** встречается у прокариот и эукариот, а другой — только у архей. Все остальные диастереомеры соединения **PL1** являются ахиральными, поскольку имеют плоскость симметрии. Не учитывайте хиральность атомов фосфора в качестве стереоцентров.

PL1 — двухосновная кислота с одинаковыми кислотными группами. Ее второе депротонирование существенно менее выгодно ($pK_{a2} \gg pK_{a1}$) из-за особой, стабильной структуры ее моноаниона **Y**.

- 5.2 Нарисуйте** структуру одного из энантиомеров соединения **PL1**. 6.0 pt
Нарисуйте структуру **Y** так, чтобы показать стабилизацию, объясняющую разницу между pK_{a1} и pK_{a2} . Используйте аббревиатуру R для остатков жирных кислот.

Для идентификации жирной кислоты (RCOOH) в **PL1** был проведён ряд экспериментов. При восстановительном озонлизе RCOOH даёт три различных органических продукта в эквимольных количествах.

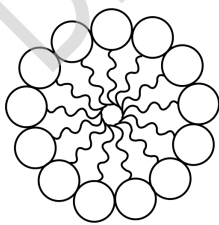
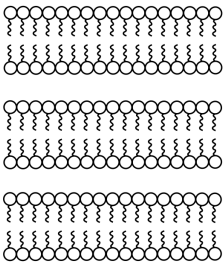
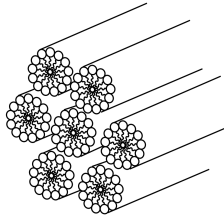
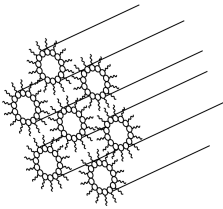
- 5.3 Определите** молекулярную формулу жирной кислоты (RCOOH), если в 4.0 pt
 неионизированной форме соединения **PL1** содержится в общей сложности 255 σ и π связей между атомами. **Подтвердите** свой ответ расчётами.
*Если вам не удалось найти структурную формулу соединения **PL1**, можно воспользоваться фрагментами a–d из 5.1.*

100 г RCOOH вступает в реакцию с 181.0 г иода. RCOOH также вступает в аналогичную реакцию с **X**, давая аддукт с массовой долей иода 36.57 %.

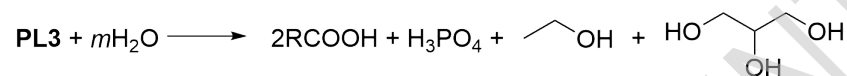
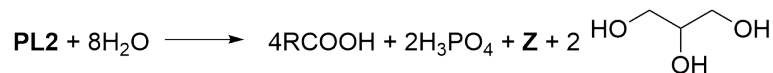
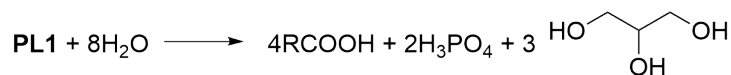
- 5.4 Определите** молекулярную формулу **X**. **Обоснуйте** свой ответ с помощью 2.0 pt
 расчётов.

Фазовое поведение **PL1** зависит от значения pH. При физиологических условиях **PL1** представляет собой дианион и образует ламеллярную фазу.

- 5.5** Какую липидную фазу образует **PL1**, когда оба содержащихся в нем кислотных фрагмента протонированы? Обратите внимание: для ответа на этот вопрос знание структуры **PL1** не требуется. 2.0 pt
Отметьте галочкой правильный ответ.

			
(a) мицеллярная	(b) ламеллярная	(c) гексагональная	(d) обратная гексагональная

Следующие уравнения реакций описывают гидролиз фосфолипидов **PL1-PL3**:

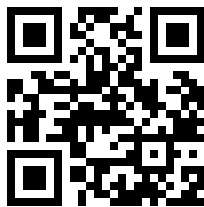


- Неионизированная форма соединения **PL2** содержит в общей сложности 254 σ и π связей между атомами. Это хиральная молекула, более симметричная, чем **PL1**,

- **Z** содержит только C, H и O и не вступает в реакцию с H_2 в присутствии катализатора,

- Фосфолипид **PL3** — заряженная молекула при физиологических значениях pH, и существует в виде пары энантиомеров.

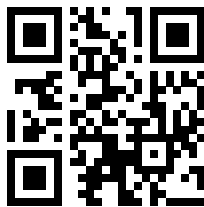
5.6 Нарисуйте структуры **PL2** и **PL3**, используя R для обозначения остатков жирных кислот. Укажите стереохимию, там, где это необходимо. 3.0 pt

**T5. Cardiolipins**

6%						
5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	Σ
1	6	4	2	2	3	18

5.1 (1.0 pt)

(a)	(b)	(c)



5.2 (6.0 pt)

PL1

Y

DELEGATION PRINT



5.3 (4.0 pt)

$N_{C=C} =$

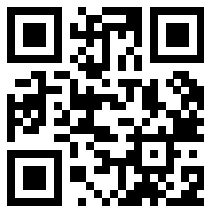
RCOOH : _____

5.4 (2.0 pt)

X:

5.5 (2.0 pt)

(a)	(b)	(c)	(d)



5.6 (3.0 pt)

PL2

PL3

DELEGATION PRINT

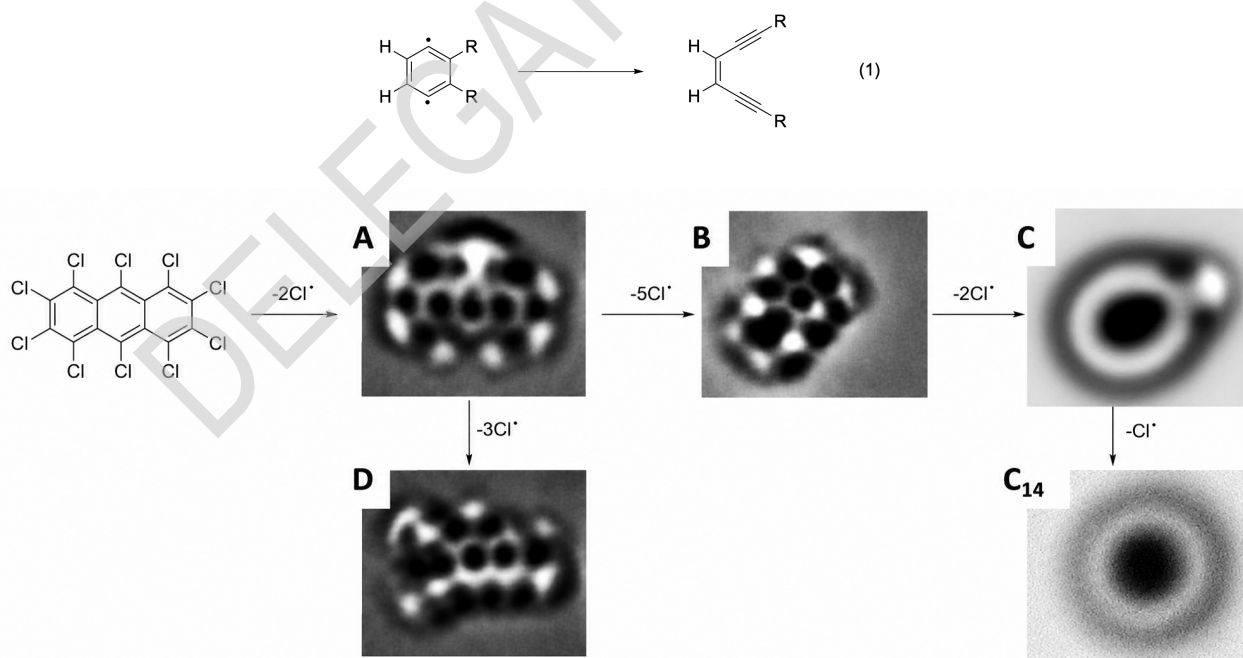
Т6. Углеродные нанокольца

7 баллов							
6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	Σ
10	11	2	12	24	20	4	83

В 2019 году был обнаружен C_{18} — первый представитель нового класса аллотропных модификаций углерода, называемых цикло[n]углеродами (C_n). Циклоуглероды представляют собой напряженные моноциклические соединения, состоящие только из атомов углерода и обладающие низкой устойчивостью. Они могут быть получены и исследованы с помощью атомно-силовой микроскопии (AFM) с разрешением химических связей. Циклоуглероды обладают интересными ароматическими свойствами, обусловленными системами их π -электронов. Соединение C_{13} существует в триплетной ($^3C_{13}$, спин $S = 1$) и синглетной ($^1C_{13}$, спин $S = 0$) формах.

- 6.1** На основании правила Хюккеля запишите в таблицу число различных ароматических (**A**) и антиароматических (**AA**) π -систем, присутствующих в каждом из соединений C_{18} , C_{16} , $^3C_{13}$ и $^1C_{13}$. Заполните все пустые поля. 10.0 pt

Позднее цикло[n]углероды C_{10} , C_{12} , C_{14} , C_{20} и C_{26} были получены на подложке с помощью реакций дегалогенирования и ретро-Бергмана (1). Ниже приведены изображения AFM, полученные в ходе синтеза C_{14} :

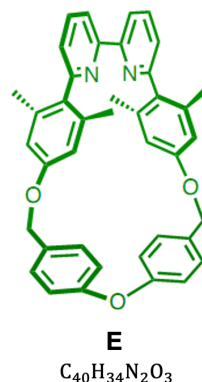
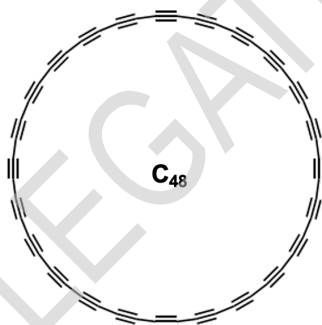


- 6.2** Нарисуйте структуры **B-D**. Обратите внимание, что они могут содержать один или несколько неспаренных электронов. Структура **A** приведена в листах для ответов в качестве примера. 11.0 pt

- 6.3** Напряжение, прикладываемое при AFM-опосредованном синтезе C_n , можно варьировать. Используя приведенные энергии связи C-X, **выберите** возможный(е) галоген(ы) в галогенсодержащем реагенте для синтеза C_{18} посредством реакции ретро-Бергмана при напряжении 2.5 В, воздействующем на электроны. 2.0 pt

Связь (C-X)	Энергия разрыва связи в кДж/моль
C-F	467
C-Cl	346
C-Br	290
C-I	228

В 2025 году был синтезирован первый относительно устойчивый цикло[48]углерод. Молекула была стабилизирована катенацией (образованием взаимно сцепленных колец) с макроциклом **Е** и впервые охарактеризована методом масс-спектрометрии с электрораспылением в режиме регистрации положительных ионов.

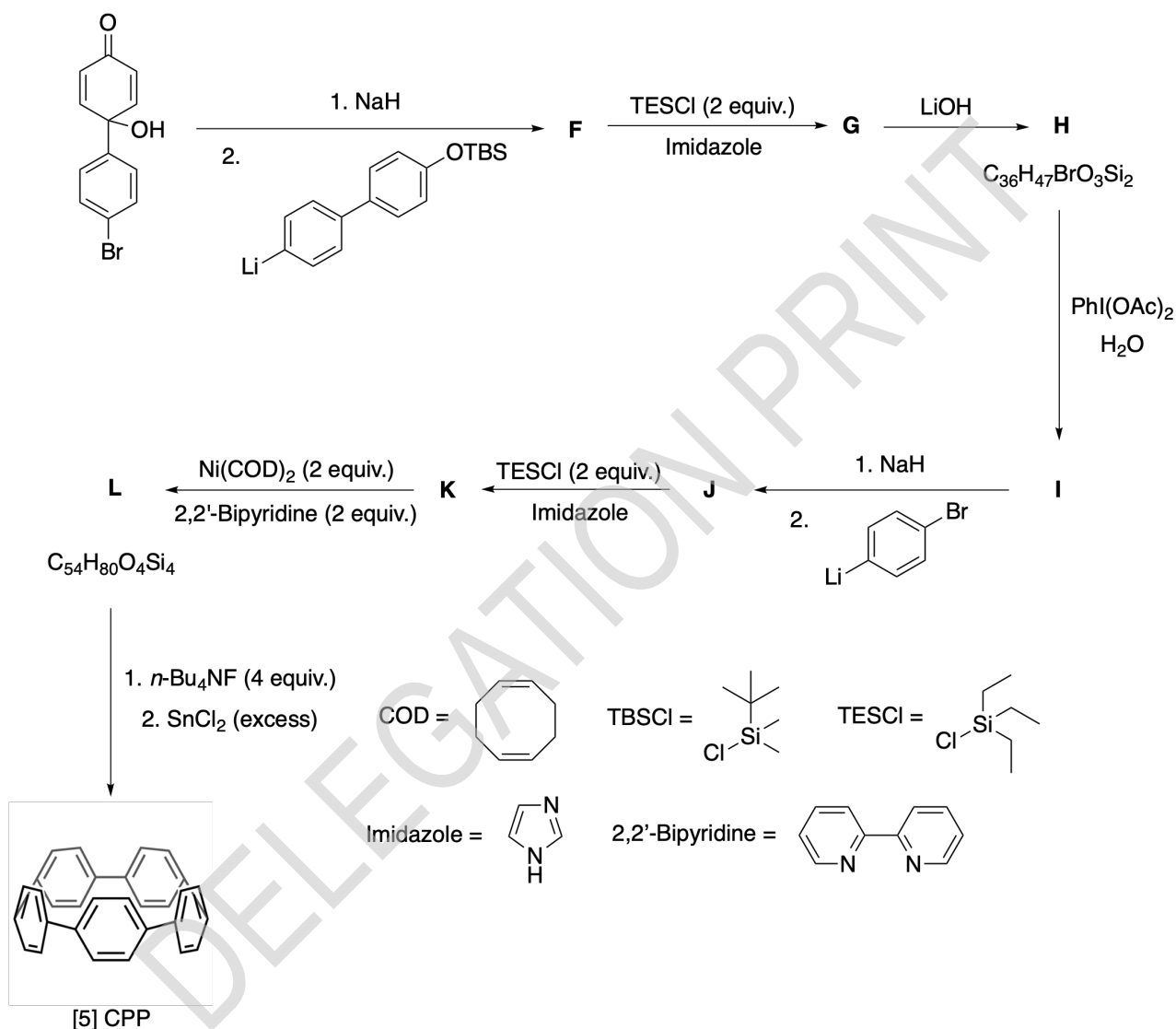


- 6.4** В полученном масс-спектре наблюдались четыре интенсивных пика при m/z : 591, 783, 879 и 1174. **Напишите** формулу этих ионов. **Используйте** целочисленные атомные массы и **считайте**, что фрагментации не происходит. Ион, соответствующий $m/z = 591$, приведён в качестве примера в листах для ответов. 12.0 pt

Theory

Q6-3

Циклопарафенилен (CPP) — ещё одно циклическое высоконапряженное соединение, также известное как углеродный нанобод. Схема синтеза его наименьшего известного представителя, [5]CPP, приведена ниже; $\text{PhI}(\text{OAc})_2$ выступает в роли двухэлектронного окислителя.



(equiv. = эквивалент, excess = избыток)

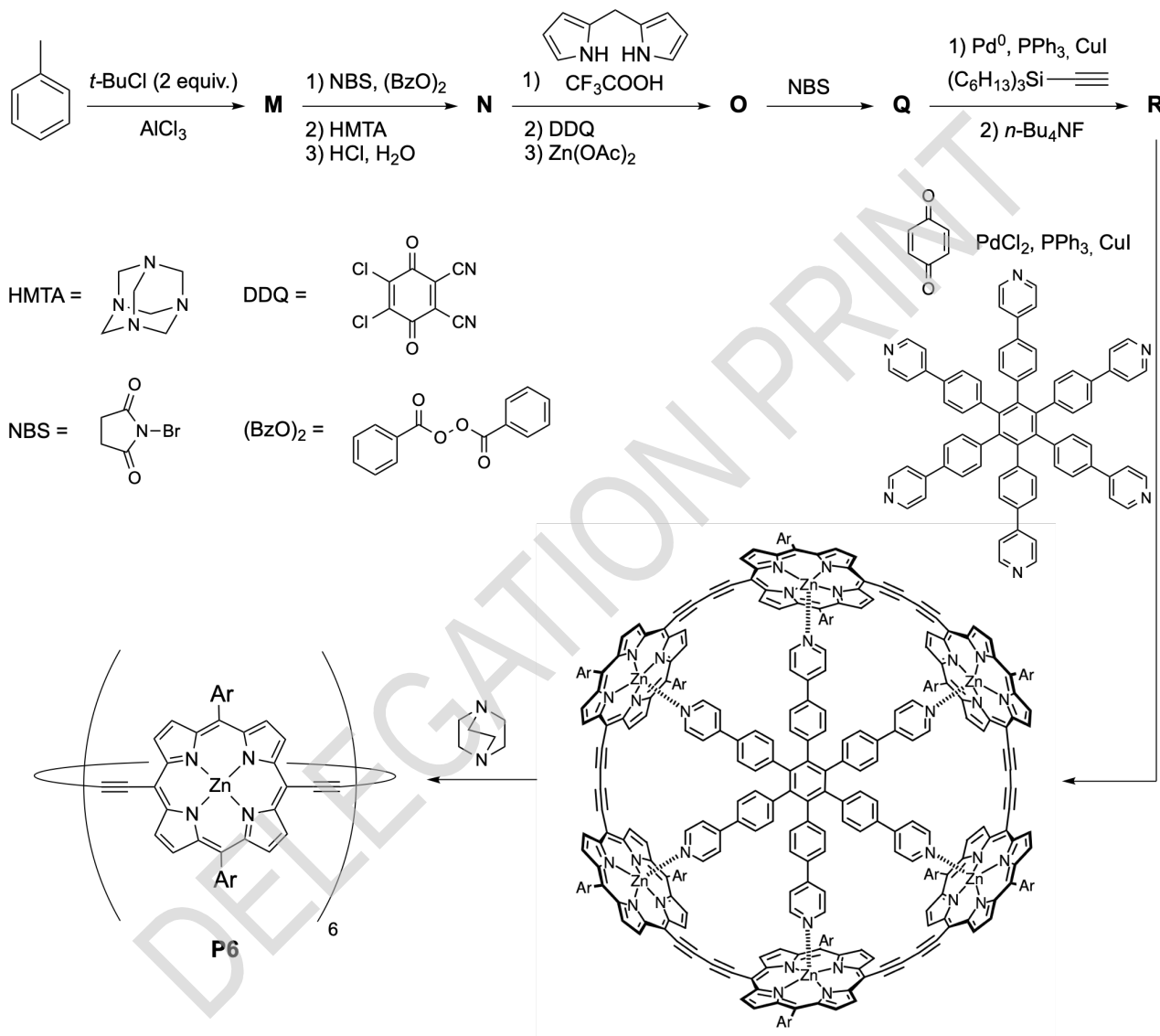
6.5 Нарисуйте структуры F-L.

24.0 pt

Theory

Q6-4

Наноленты следующего поколения были построены из порфириновых колец и тройных связей с использованием метода темплатного синтеза. *Подсказка: М* является продуктом термодинамического контроля и содержит четыре типа протонов.

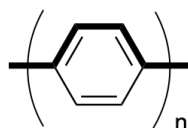


(equiv. = эквивалент)

6.6 Нарисуйте структуры **M–R**.

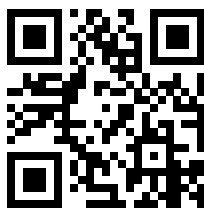
20.0 pt

При соединении ароматических колец в макроцикл окисление или восстановление может приводить к возникновению глобальной ароматичности, при которой π -электроны делокализованы по всему макроциклу. В этой делокализации участвует только такая π -система, которая образует непрерывный сопряженный путь по кольцу. Например, [n]CPP могут становиться глобально ароматическими при присоединении или удалении электронов. Учитывать следует только те π -электроны, которые локализованы вдоль выделенной жирным линией на рисунке ниже.



При окислении **P6** может проявлять как глобальную ароматичность, так и глобальную антиароматичность.

- | | | |
|------------|---|--------|
| 6.7 | На основании правила Хюккеля <u>определите</u> минимальное число электронов, $n(e)$, которое необходимо удалить из P6 для достижения глобальной ароматичности. <u>Укажите</u> общее число π -электронов, $n(t)$, в глобальной ароматической системе. | 4.0 pt |
|------------|---|--------|



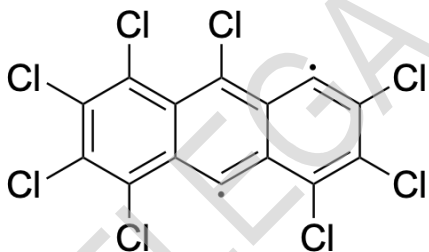
T6. Carbon Nanorings

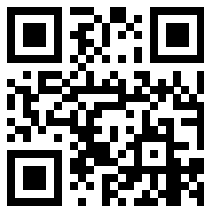
7%							
6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	Σ
10	11	2	12	24	20	4	83

6.1 (10.0 pt)

	C_{18}	C_{16}	$^3C_{13}$	$^1C_{13}$
A				
AA				

6.2 (11.0 pt)

 A	B
C	D

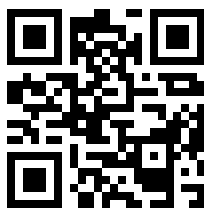


6.3 (2.0 pt)

X = _____

6.4 (12.0 pt)

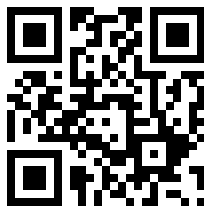
<i>m/z</i>	591	783	879	1174
	[E + H] ⁺			



6.5 (24.0 pt)

F	G
H	I

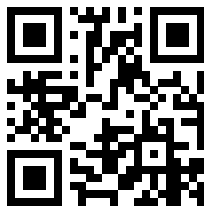
DELEGATION PRINT



6.5 (cont.)

J	K
L	

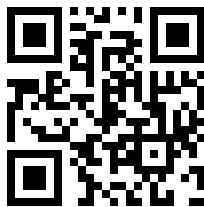
DELEGATION PRINT



6.6 (20.0 pt)

M	N
O	Q

DELEGATION PRINT

**6.6 (cont.)****6.7 (4.0 pt)**

$n(e)$	
$n(t)$	

T7. Фиксация азота

7 баллов							
7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	Σ
3	8	15	3	6	6	13	54

Процесс Габера–Боша является основным промышленным способом получения аммиака. Упрощенная схема установки синтеза аммиака приведена ниже.

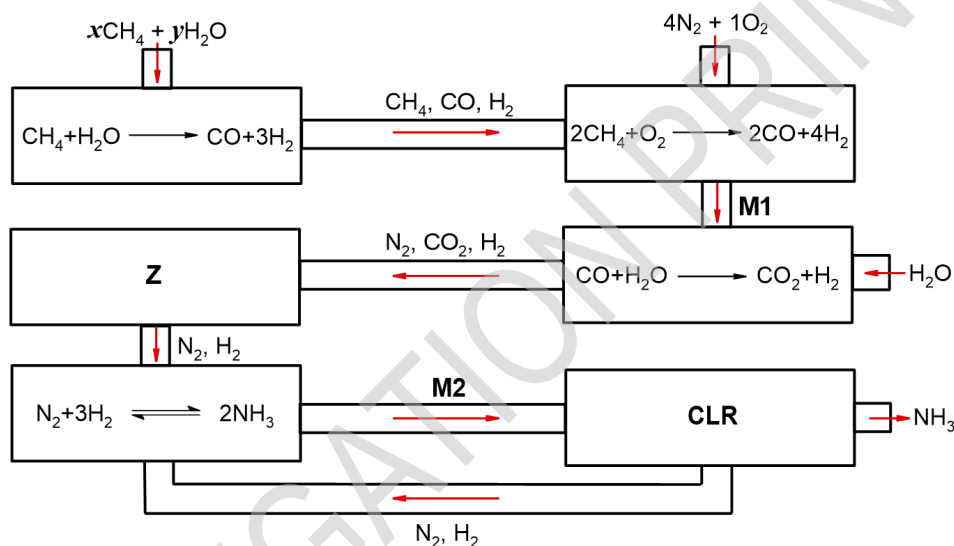


Рис.1. M1 — смесь 1, M2 — смесь 2, Z — поглотитель CO₂, CLR — холодильник

В последующих расчетах считайте, что все реакции, показанные на **Рис. 1**, кроме образования NH₃, протекают количественно.

- 7.1** Отметьте галочками газы, входящие в состав M1 и M2, и отметьте правильное соотношение между x и y . 3.0 pt

На предприятии *Навоиазот* в Узбекистане введен в эксплуатацию комплекс по производству аммиака мощностью 660 000 тонн в год, работающий с общим выходом 97.0%.

- 7.2** Рассчитайте массу CH₄ (в тоннах), необходимую в год для производства 660 000 тонн аммиака, если предприятие *Навоиазот* работает по схеме, приведенной на **Рис. 1**. 8.0 pt

Theory

Q7-2

Рассмотрим модель реальной реакционной системы, включающей рециркуляцию реагентов. Открытая система работает в циклическом режиме. Каждый цикл состоит из четырех стадий:

1. После каждого цикла в реактор подают стехиометрическую смесь $N_2 : H_2 = 1 : 3$ с общим количеством вещества n_0 моль.
2. Реакция протекает с постоянным выходом $\eta = 0.150$.
3. Аммиак отделяют с помощью сжижения.
4. Непрореагировавшие газы возвращают в реактор.

Цикл повторяют до достижения требуемого общего выхода.

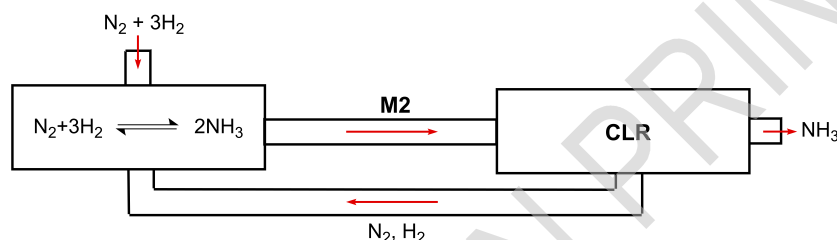
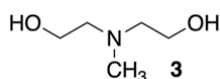


Рис. 2. M2 — смесь 2, CLR — холодильник.

- 7.3** а) **Рассчитайте** количество вещества азота, находящегося в системе после 58-го цикла (до добавления 59-й порции смеси), если $n_0 = 4$ моль. **Приведите** ответ с точностью до 4 знаков после запятой. *Подсказка: потребуется формула суммы членов геометрической прогрессии.* 15.0 pt
- б) **Рассчитайте** число циклов, необходимое для увеличения **общего** выхода с 15.0% до 97.0%.

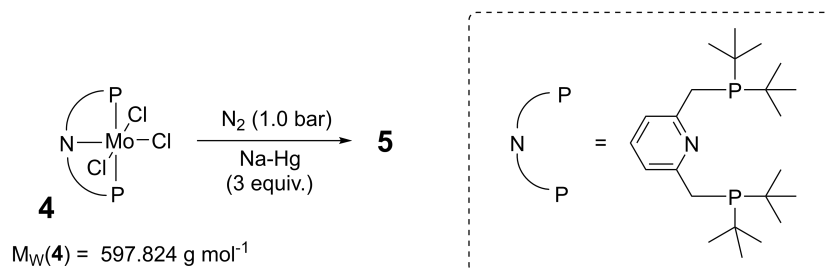
Для удаления CO_2 из смеси используют водный раствор соединения **3**.



- 7.4** **Запишите** уравнение этой реакции.

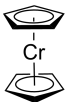
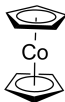
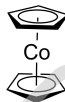
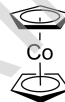
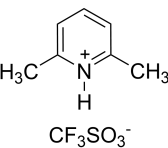
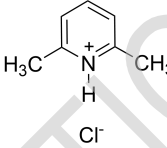
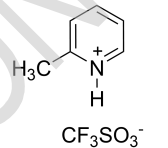
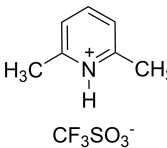
3.0 pt

Комплекс **5** получают в результате фиксации молекулярного азота по приведенной ниже схеме.

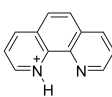
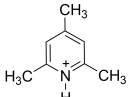
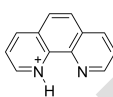


7.5 Нарисуйте структуру **5**, используя упрощенную схему лиганда. Обратите внимание, что 1.00 г соединения **4** стехиометрически реагирует с 94.97 мл азота N_2 при 273.15 К и 1.0 бар. 6.0 pt

Было исследовано влияние различных восстановителей (Red) и добавок (Ad) на выход NH_3 . Различные комбинации Red и Ad, соответствующие значения E° и pK_a , а также полученные выходы NH_3 приведены ниже.

#	1	2	3	4
Red				
E° (V)	-0.88	-1.15	-1.15	-1.15
Ad				
pK_a	14.4	14.4	13.9	14.4
NH_3 yield (mole)	0	0.7	9.1	11.8

7.6 Расположите комбинации **Red/Ad A-D** в порядке уменьшения выхода аммиака. 6.0 pt

#	A	B	C	D
Red				
E° (V)	-0.09	-1.10	-1.10	-1.10
Ad	 CF_3SO_3^-	 CF_3SO_3^-	 CF_3SO_3^-	 CF_3SO_3^-
pK_a	13.7	15.0	13.7	10.6

Фиксация азота также может осуществляться с участием бинарных нитридов (соединений, содержащих N^{3-}). Такие нитриды **7**, **8** и **9** были получены из простых веществ. При их совместном нагревании с SiO_2 в качестве единственного продукта образуются красные кристаллы устойчивого соединения **10**. Простейшая формула, описывающая структуру соединения **10**, имеет вид $\text{Q}_\alpha\text{R}_\beta\text{S}_2\text{T}[\text{Si}_{12}\text{N}_{24}]$. Кроме того:

1. Массовые доли азота составляют $w(\text{N})_7 = 9.16\%$, $w(\text{N})_8 = 18.90\%$, $w(\text{N})_9 = 39.94\%$.
2. **Q** и **R** — катионы металлов в их высшей степени окисления.
3. **S** — одноатомный анион.
4. **T** — анион тетраэдрического строения.
5. Для количественного образования **10** необходимо массовое соотношение $7 : 8 : 9 : \text{SiO}_2 = 5.09 : 2.96 : 3.27 : 1.00$.

7.7 Определите простейшие формулы соединений **7–10**. Укажите состав анионов **S** и **T**. 13.0 pt



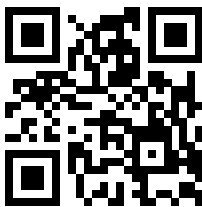
T7. Nitrogen Fixation

7%							
7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	Σ
3	8	15	3	6	6	13	54

7.1 (3.0 pt)

	CH ₄	H ₂ O	CO	O ₂	H ₂	N ₂	NH ₃	CO ₂
M1								
M2								

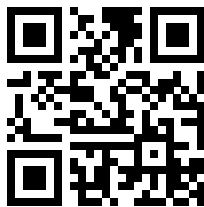
$x > y$	$x = y$	$x < y$



7.2 (8.0 pt)

$m(\text{CH}_4) = \underline{\hspace{2cm}}$

DELEGATION PRINT

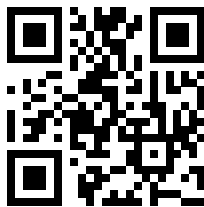


7.3 (15.0 pt)

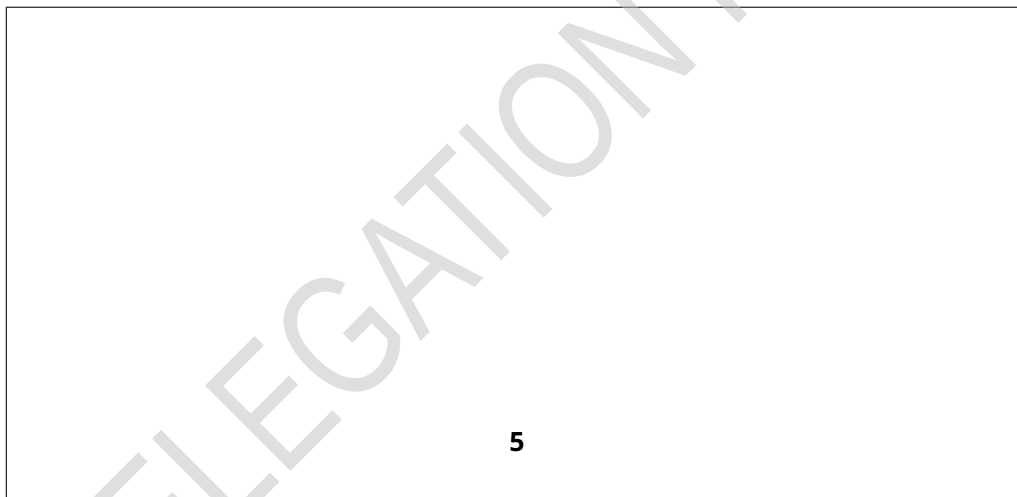
$f_n =$ _____

$n =$ _____

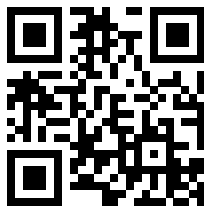
7.4 (3.0 pt)



7.5 (6.0 pt)



7.6 (6.0 pt)



7.7 (13.0 pt)

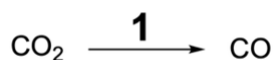
7: _____ 8: _____ 9: _____ 10: _____

S: _____ T: _____

Т8. Переработка диоксида углерода

7 баллов										
8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.6	8.7	8.8	8.9	8.10	Σ
2	16	2	29	5	10	2	4	12	2	84

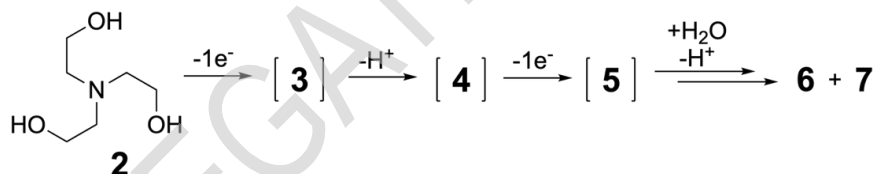
Удаление газообразного CO_2 из атмосферы играет ключевую роль в борьбе с изменением климата. Одним из перспективных подходов является фотокаталитическое восстановление CO_2 до CO с использованием молекулярного катализатора **1**.



8.1 Запишите полуреакцию восстановления CO_2 до CO в кислой среде.

2.0 pt

Сопреженная реакция окисления протекает с участием жертвенного восстановителя **2** в водном растворе по следующему механизму:

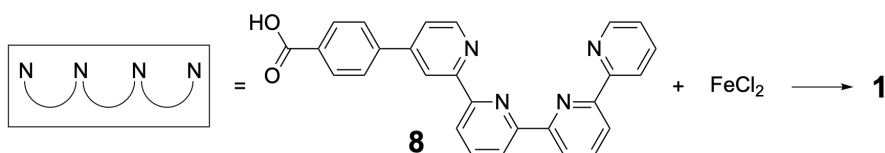


Частицы **3**, **4** и **5** являются короткоживущими ионными и/или радикальными интермедиатами. Соединение **7** дает реакцию «серебряного зеркала» с $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH}$.

8.2 Нарисуйте структуры соединений **3-7**.

16.0 pt

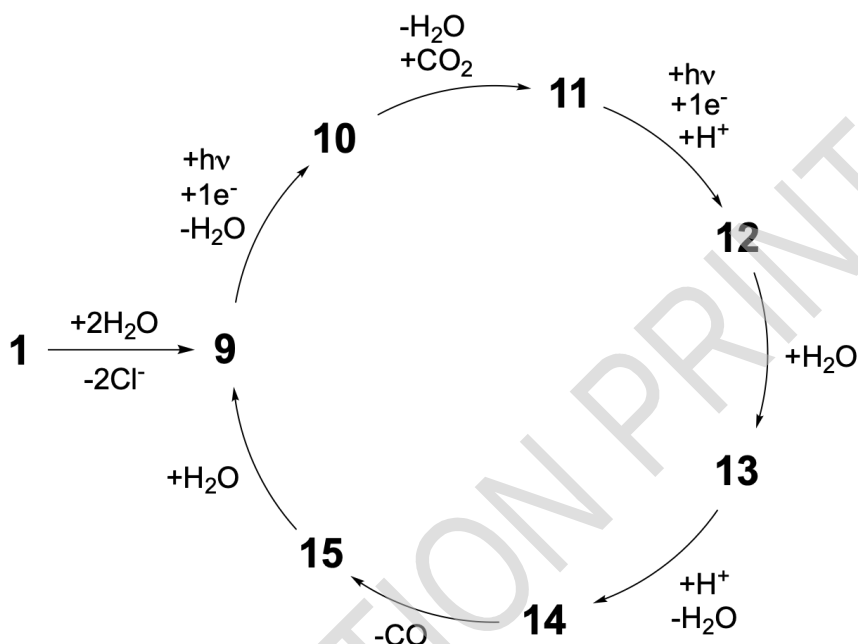
Катализатор **1** может быть синтезирован по следующей реакции.



8.3 Отметьте галочкой правильную геометрию соединения **1**.

2.0 pt

При нанесении **1** на кристаллический нитрид углерода (C_3N_4) в качестве носителя, восстановление CO_2 протекает по следующему механизму.



8.4 Нарисуйте структуры **9–15**. Используйте схематическое изображение лиганда **8**, приведенное выше. Для соединений **9–15** **укажите** степень окисления (OS), координационное число (CN) и число валентных электронов (VE) атома Fe, а также общий заряд соответствующего комплекса (Z). Примечание: часть информации приведена в листе ответов. 29.0 pt

8.5 Рассчитайте число молекул катализатора (N_{cat}) на 1 nm^2 поверхности C_3N_4 , если массовая доля катализатора **1** в системе составляет $\omega_{кат} = 3.8\%$, а удельная площадь поверхности C_3N_4 равна $17.8 \text{ m}^2/\text{г}$. $M_{кат} = 557.21 \text{ г/моль}$. 5.0 pt

Частота оборотов катализатора (TOF) — это число молекул продукта, образующихся на одну активную молекулу катализатора за один час. При облучении светодиодам ($\lambda = 390 \text{ nm}$) мощностью 50 мВатт значение TOF составляло 8 ч^{-1} для образца, в котором масса C_3N_4 равна 10 мг , а содержание катализатора **1** равно $\omega_{кат} = 3.8\%$. Квантовый выход считайте по формуле:

$$\varphi = \frac{\text{количество электронов, пошедших на реакцию}}{\text{количество входящих фотонов}} \cdot 100\%$$

Theory



IDB-1 T-8 Q-3

Q8-3

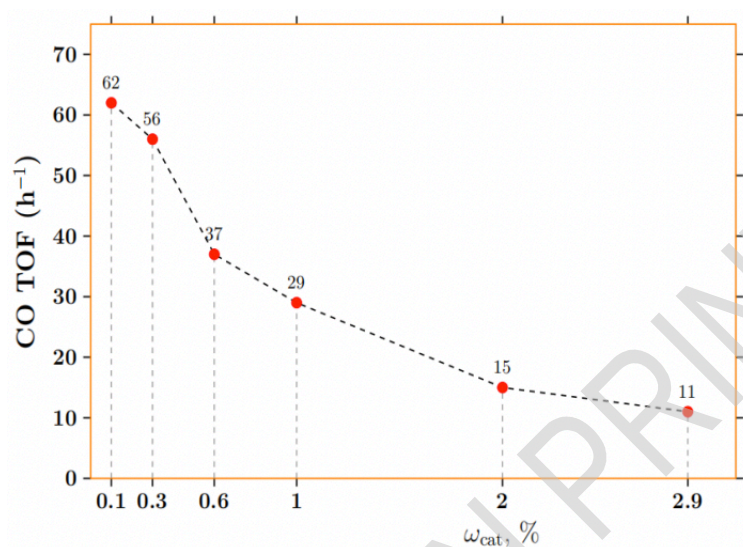
IDB Russian (Independent Delegation 2)

8.6 Рассчитайте квантовый выход, $\varphi(\%)$, для реакции образования CO.

10.0 pt

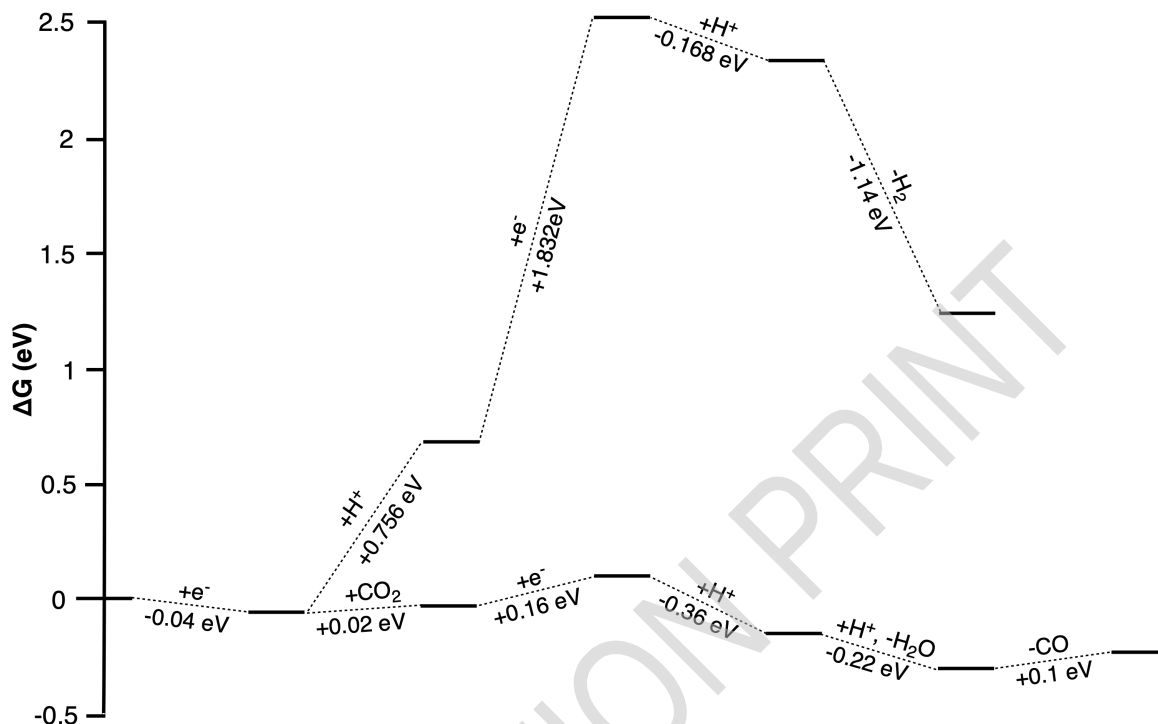
DELEGATION PRINT

На диаграмме ниже показано изменение TOF образования CO при изменении $\omega_{\text{кат}}$ (ω_{cat}).

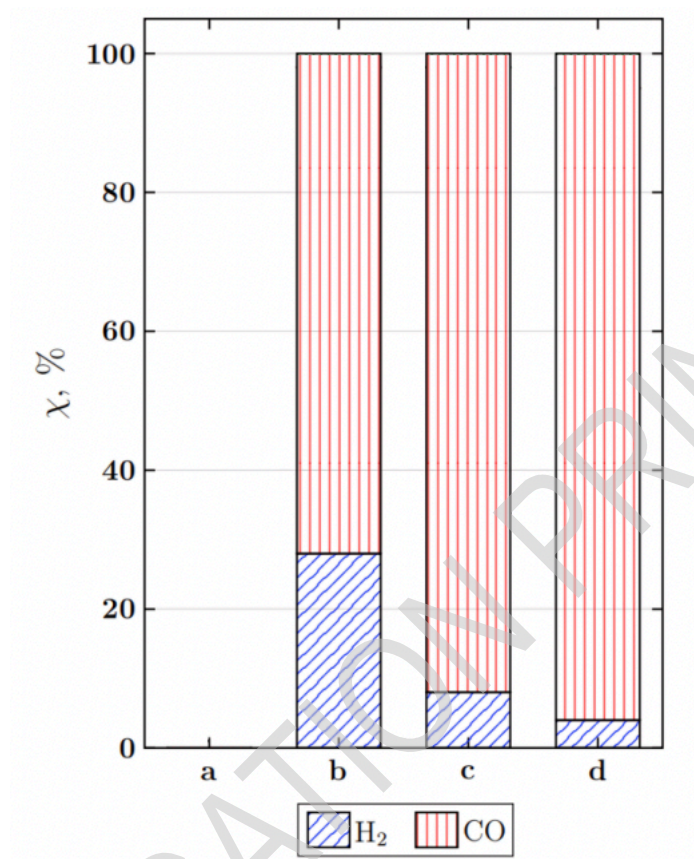


- 8.7** Как изменяется общая скорость образования CO, в расчете на один грамм C_3N_4 , с нанесенным на него катализатором **1**, при увеличении $\omega_{\text{кат}}$ в диапазоне $0.1 \leq \omega_{\text{кат}} \leq 2.9$? **Отметьте галочкой** правильный ответ. 2.0 pt
- a) увеличивается
 - b) уменьшается
 - c) не изменяется

Восстановление CO_2 может дополнительно сопровождаться восстановлением протонов. Изменения энергии Гиббса для этих двух путей реакции показаны на диаграмме.



Систему облучали различными светодиодами. На диаграмме ниже показаны мольные доли, χ , образующихся H₂ и CO при восстановлении CO₂ в четырёх различных условиях: без облучения (N) и при облучении красным (R), зелёным (G) и синим (B) светом.



8.8 Отметьте галочкой, какое из четырёх указанных выше условий соответствует обозначениям **a**, **b**, **c** и **d** на диаграмме. 4.0 pt

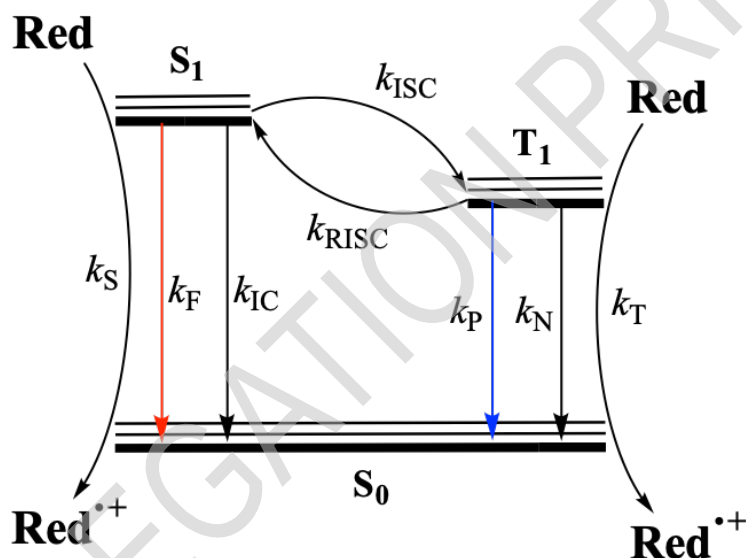
Theory

Q8-7

Фотосенсибилизаторы (PS) обладают рядом преимуществ по сравнению с C_3N_4 при восстановлении CO_2 . Квантовый выход в системах с комплексами $Mn(I)$ и PS может достигать ~23%. В этой системе восстановительное тушение возбужденных синглетного (S_1) и триплетного (T_1) состояний фотосенсибилизатора восстановителем (Red) приводит к образованию $PS^{\bullet-}$, который передает электроны молекуле CO_2 через комплекс $Mn(I)$.



Следующая диаграмма Яблонского описывает процессы, происходящие с фотосенсибилизатором:



$\tau_0(S_1) = 2.9 \text{ нс}$ и $\tau_0(T_1) = 84 \text{ мкс}$, где τ_0 — время жизни возбужденного состояния в отсутствие тушителя.

8.9 **Рассчитайте** квантовые выходы тушения (η_q , в %) возбужденных состояний S_1 и T_1 при $[Red] = 0.1 \text{ M}$. Примечание: считайте k_{ISC} и k_{RISC} пренебрежимо малыми. 12.0 pt

8.10 **Как** изменятся времена жизни возбужденных состояний S_1 и T_1 при увеличении $[Red]$? **Отметьте галочкой** правильный квадратик. 2.0 pt

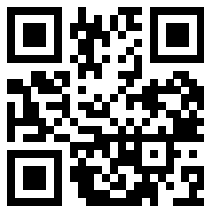
а) увеличиваются
 б) уменьшаются
 в) не изменяются

**T8. Recycling of Carbon Dioxide**

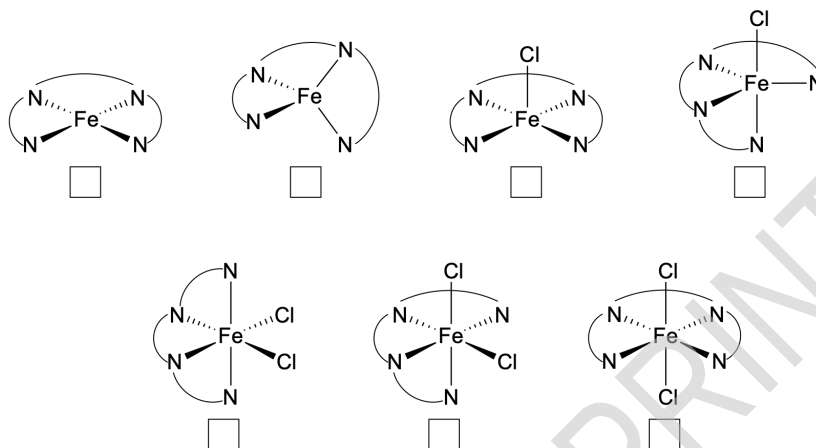
7%										
8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.6	8.7	8.8	8.9	8.10	Σ
2	16	2	29	5	10	2	4	12	2	84

8.1 (2.0 pt)**8.2** (16.0 pt)

3	4
5	6
7	



8.3 (2.0 pt)





8.4 (29.0 pt)

9

 $Z = \underline{\hspace{2cm}}$ $OS = \underline{\hspace{2cm}} \quad CN = \underline{\hspace{2cm}} \quad VE = \underline{\hspace{2cm}}$

10

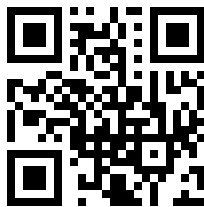
 $Z = \underline{\hspace{2cm}}$ $OS = \underline{\hspace{2cm}} \quad CN = \underline{\hspace{2cm}} \quad VE = \underline{\hspace{2cm}}$

11

 $Z = \underline{\hspace{2cm}}$ $OS = +3 \quad CN = 6 \quad VE = \underline{\hspace{2cm}}$

12

 $Z = \underline{\hspace{2cm}}$ $OS = \underline{\hspace{2cm}} \quad CN = 5 \quad VE = \underline{\hspace{2cm}}$



8.4 (cont.)

13

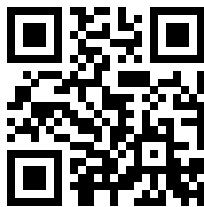
 $Z = \underline{\hspace{2cm}}$ $OS = +2 \quad CN = \underline{\hspace{2cm}} \quad VE = \underline{\hspace{2cm}}$

14

 $Z = \underline{\hspace{2cm}}$ $OS = \underline{\hspace{2cm}} \quad CN = \underline{\hspace{2cm}} \quad VE = \underline{\hspace{2cm}}$

15

 $Z = \underline{\hspace{2cm}}$ $OS = \underline{\hspace{2cm}} \quad CN = \underline{\hspace{2cm}} \quad VE = 16$



8.5 (5.0 pt)

$N_{cat} =$ _____

8.6 (10.0 pt)

$\varphi =$ _____ %

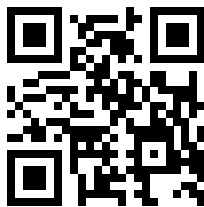


8.7 (2.0 pt)

a	b	c
☐	☐	☐

8.8 (4.0 pt)

	N	R	G	B
a	☐	☐	☐	☐
b	☐	☐	☐	☐
c	☐	☐	☐	☐
d	☐	☐	☐	☐



8.9 (12.0 pt)

$$\eta_q(S_1) = \text{_____} \%$$

$$\eta_q(T_1) = \text{_____} \%$$

8.10 (2.0 pt)

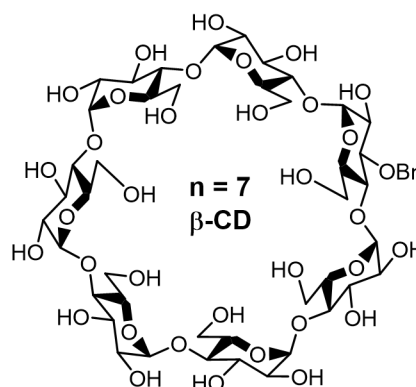
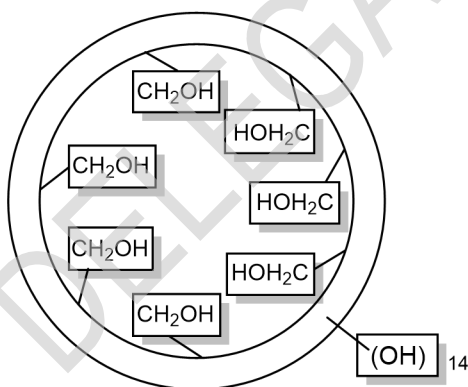
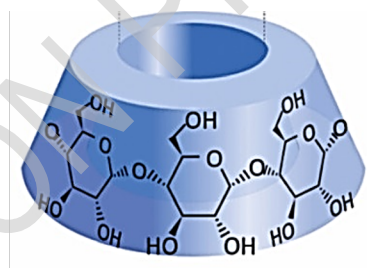
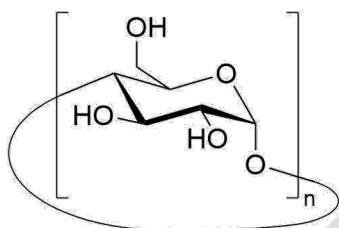
a	b	c
☐	☐	☐

T9. Химия циклодекстринов

7 баллов									
9.1	9.2	9.3	9.4	9.5	9.6	9.7	9.8	9.9	Σ
2	6	8	3	2	4	6	18	4	53

Циклодекстрины (**CD**) — семейство циклических олигосахаридов, построенных из остатков глюкозы, связанных α -1,4-гликозидными связями. Три наиболее распространенных представителя (α -, β -, γ -циклодекстрины) содержат 6, 7 и 8 глюкопиранозных звеньев, соответственно.

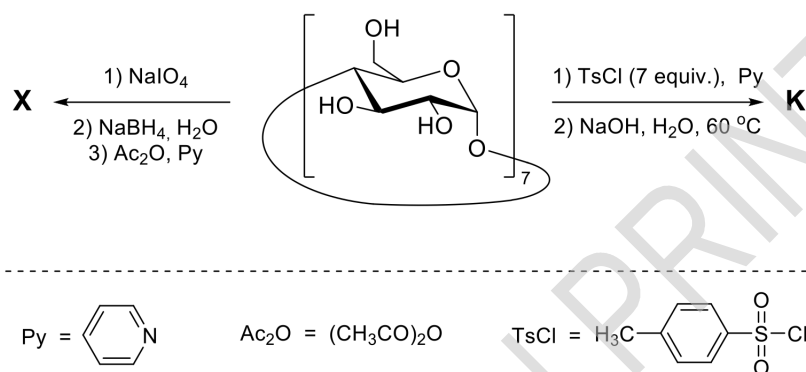
9.1 Рассчитайте молярную массу β -циклодекстрина (β -CD). Примите, что молярная масса глюкозы равна 180.16 г/моль. 2.0 pt



Theory

Q9-2

Циклодекстрины (**CD**) сочетают в себе свойства макроциклов и химические особенности глюкозы, что было продемонстрировано на примере синтеза соединения **X**. Первичные и вторичные гидроксильные группы проявляют различную реакционную способность вследствие их вхождения в структуру **CD**. Так, Стоддартом с соавторами было получено соединение **K**, в котором на каждое глюкопиранозное звено приходится только одна свободная OH-группа.

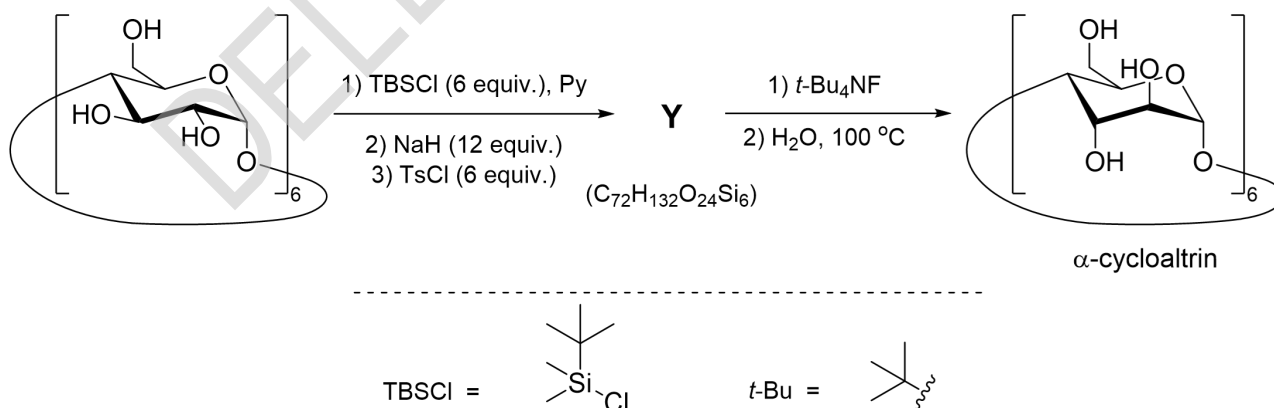


equiv. = эквивалент

9.2 Отметьте наиболее выгодную конформацию кресла и нарисуйте структуру соединения **K**, заполнив шаблон **CD**. Четко укажите стереохимию. 6.0 pt

9.3 Определите размер цикла (*rs*) макроцикла **X**. Укажите число стереоцентров (*sc*) в соединении **X**. 8.0 pt

α -Циклоальтрин, синтетический аналог α -**CD**, был получен следующим образом.

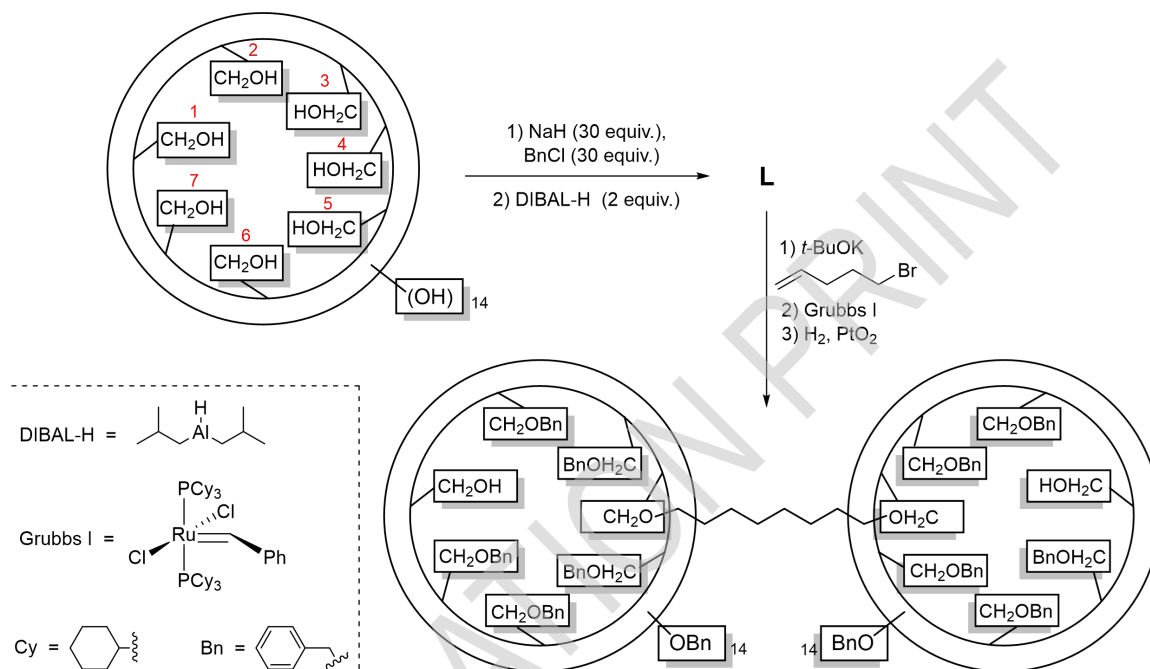


9.4 Нарисуйте структуру **Y** с указанием стереохимии, дополнив шаблон **CD**. 3.0 pt

Theory

Q9-3

В 2000 году Синай с соавторами продемонстрировали, что наличие единственной протондонорной группы (NH и OH) в звене 1 направляет **последующее** восстановительное дебензилирование первичной OH-группы в звено 4 макроциклического кольца (или в звено 3, если положение в звене 4 недоступно). Это позволило осуществить синтез следующего димера β -CD в виде смеси региоизомеров связывания.



9.5 Нарисуйте структуру **L** на шаблоне β -CD. Заполните все поля.

2.0 pt

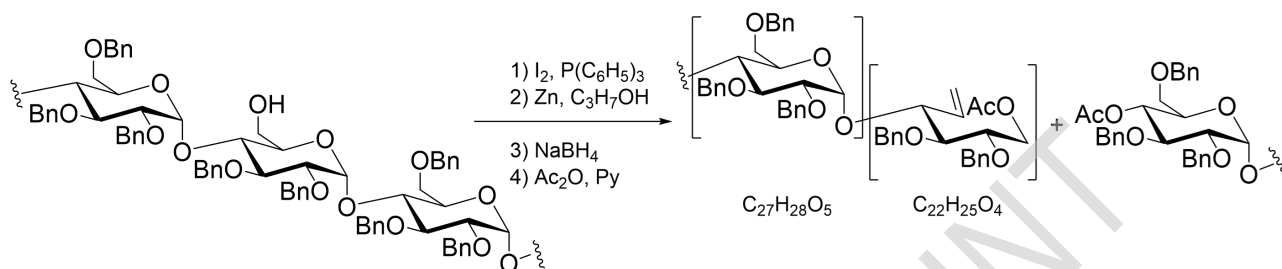
9.6 Определите число изомеров для димера β -CD, которые могут образоваться в ходе синтеза проведенного Синаем с соавторами.

4.0 pt

Theory

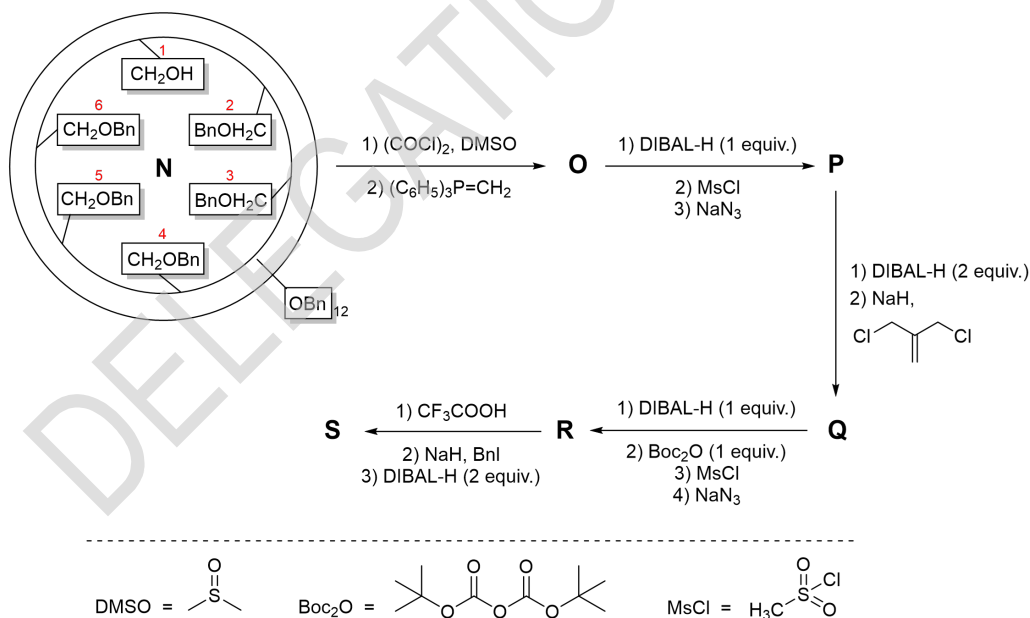
Q9-4

Чтобы подтвердить положения дебензилирования, соединение **L** подвергли реакции «деградации гексо-5-еноз», как показано ниже. Затем полученные продукты проанализировали методом масс-спектрометрии.

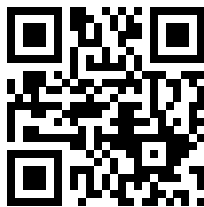


- 9.7** **Вычислите** значения m/z для двух пиков $[M + Na]^+$, наблюдаемых для продуктов распада соединения **L**. При расчётах используйте целочисленные значения атомных масс. 6.0 pt

Позднее Соллогуб с соавторами использовали способность алкенов направлять дебензилирование на «орто»-глюкопиранозное звено для синтеза гексадифференцированного α -CD **S**:



- 9.8** Нарисуйте структуры соединений **O-S** на шаблонах α -CD. Заполните все поля. При необходимости вы можете изображать структуры за пределами рамок. Примите, что при последовательном введении функциональных групп 1,2-модификация происходит **по часовой стрелке**, в то время как 1,3-модификация - **против часовой стрелки**. Протонные (протонодонорные) группы обладают более сильным направляющим эффектом, чем алкены. 18.0 pt
- 9.9** Определите число всех возможных вариантов расстановки функциональных групп в гексадифференцированном α -циклодекстрине (α -CD) (примите, что модификации подверглись только группы $-\text{CH}_2\text{OH}$). 4.0 pt



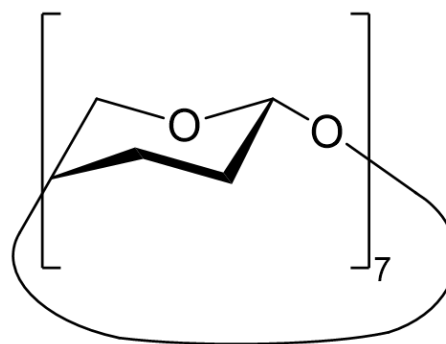
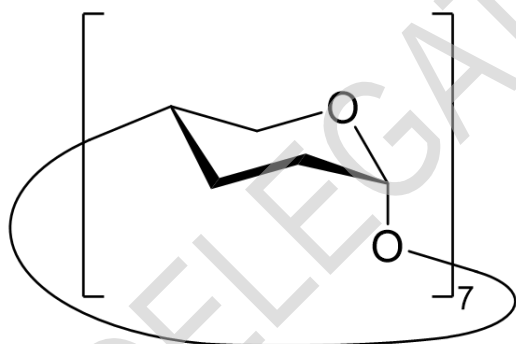
T9 Cyclodextrin Chemistry

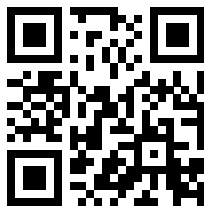
7%									
9.1	9.2	9.3	9.4	9.5	9.6	9.7	9.8	9.9	Σ
2	6	8	3	2	4	6	18	4	53

9.1 (2.0 pt)

M_w : β -CD = _____

9.2 (6.0 pt)



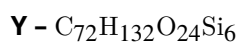
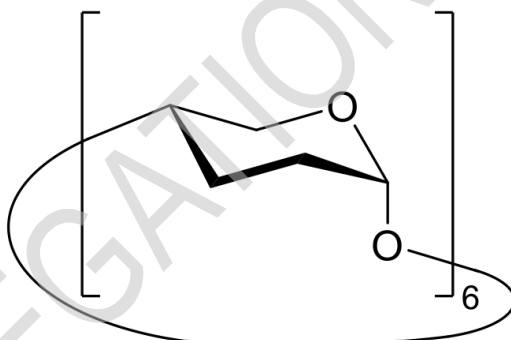


9.3 (8.0 pt)

rs: _____

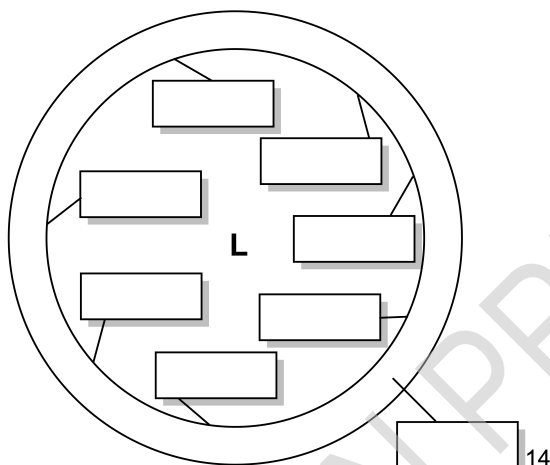
sc: _____

9.4 (3.0 pt)





9.5 (2.0 pt)

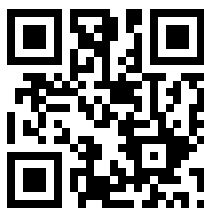


9.6 (4.0 pt)

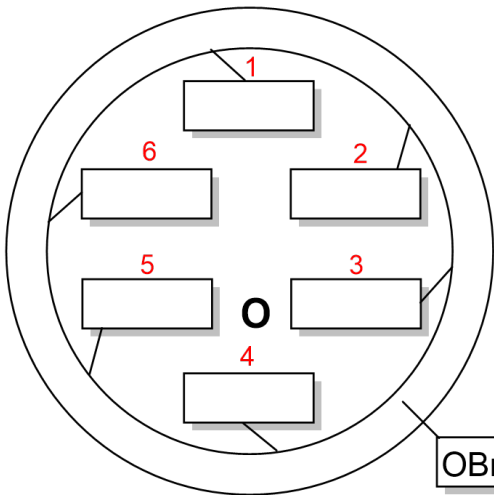
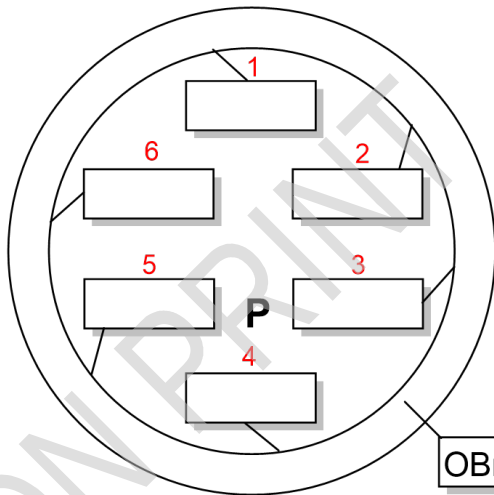
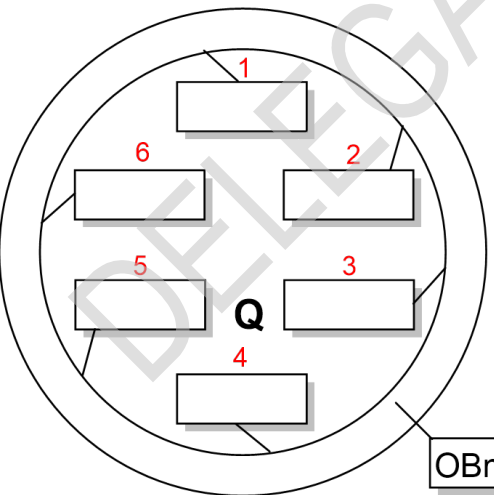
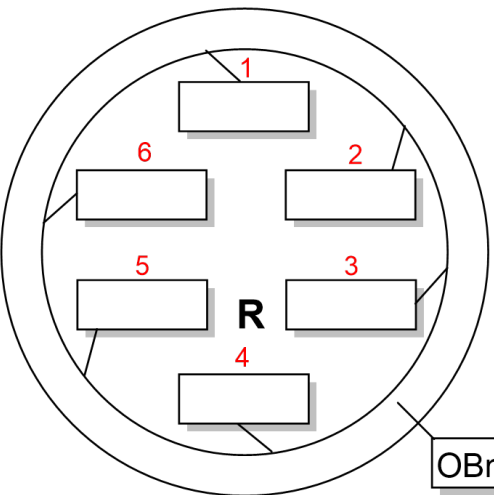
9.7 (6.0 pt)

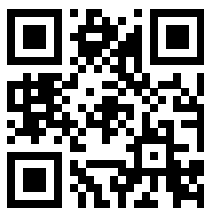
$[M_1 + Na]^+$: _____

$[M_2 + Na]^+$: _____

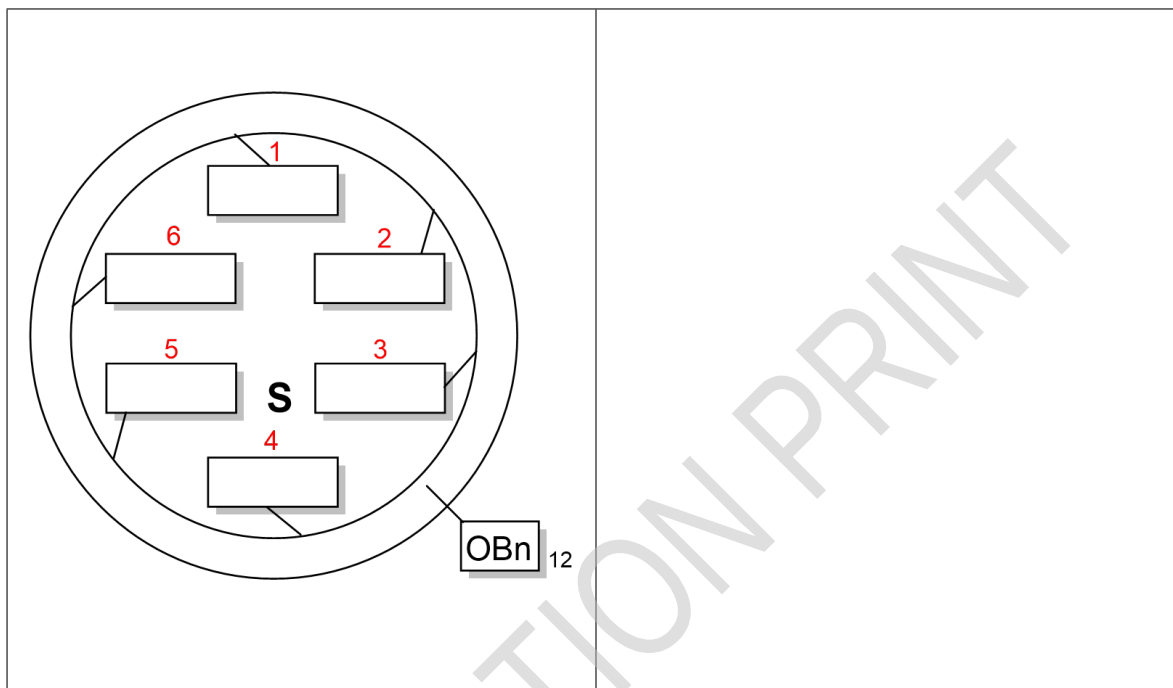


9.8 (18.0 pt)



9.8 (cont.)



9.9 (4.0 pt)