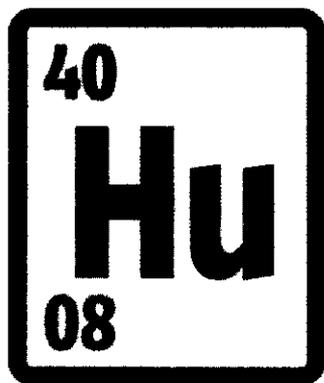


Фамилия: _____

Код: AZE-_____



40-я Международная
химическая олимпиада

Теоретический тур

17 июля 2008 г.

Будапешт, Венгрия

Фамилия: _____

Код: AZE-_____

Инструкция

- В верхней части каждого листа заданий впишите латинскими буквами свою фамилию и к коду страны добавьте свой номер, обозначенный на вашем рабочем месте.
- На выполнение работы вам дается 5 часов. Начинайте работать только по команде СТАРТ.
- Разрешается пользоваться только выданными вам ручкой и калькулятором.
- Все результаты должны быть вписаны в специально отведенные места листов заданий. Написанное вне указанных мест оцениваться не будет. Для черновика используйте оборотные стороны листов.
- Там, где указано, вы должны привести необходимые расчеты. Если вы укажете только конечный результат решения сложного задания, даже правильный, все равно за это задание вы получите ноль баллов.
- По окончании работы вы должны вложить все листы в выданный вам конверт. Не заклеивайте конверт.
- Вы должны немедленно остановить работу по команде СТОП. При задержке в 3 минуты за всю вашу работу вам могут поставить 0 баллов.
- Не покидайте своего места, пока не получите разрешения от организаторов.
- Комплект для теоретического тура состоит из 29 листов.
- Вы можете попросить у организаторов официальную английскую версию, но только в целях уточнения неясных мест в русском тексте.

Фамилия: _____

Код: AZE- _____

Константы и формулы

Постоянная
Авогадро:

$$N_A = 6.022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$$

Уравнение
идеального газа:

$$pV = nRT$$

Универсальная
газовая посто-
янная:

$$R = 8.314 \text{ Дж К}^{-1} \text{ моль}^{-1}$$

Энергия Гиббса:

$$G = H - TS$$

Число Фарадея:

$$F = 96485 \text{ Кл} \cdot \text{моль}^{-1}$$

$$\Delta_r G^\circ = -RT \ln K = -nFE^\circ_{\text{ячейки}}$$

Постоянная
Планка:

$$h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

Уравнение
Нернста:

$$E = E^\circ + \frac{RT}{zF} \ln \frac{c_{\text{ок}}}{c_{\text{ред}}}$$

Скорость света:

$$c = 3.000 \cdot 10^8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$$

Энергия фотона:

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

Нулевая точка
на шкале Цель-
сия:

$$273.15 \text{ К}$$

Закон Бугера-
Ламберта-Бэра:

$$A = \log \frac{I_0}{I} = \varepsilon c l$$

В расчетах, связанных с константами равновесия, в качестве стандартной концентрации принимайте 1 моль/л. Считайте газы идеальными во всех заданиях.

Периодическая таблица и относительные атомные массы элементов

1 H 1.008																	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 24.30	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 72.64	33 As 74.92	34 Se 78.96	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 95.96	43 Tc -	44 Ru 101.07	45 Rh 102.91	46 Pd 106.42	47 Ag 107.87	48 Cd 112.41	49 In 114.82	50 Sn 118.71	51 Sb 121.76	52 Te 127.60	53 I 126.90	54 Xe 131.29
55 Cs 132.91	56 Ba 137.33	57-71	72 Hf 178.49	73 Ta 180.95	74 W 183.84	75 Re 186.21	76 Os 190.23	77 Ir 192.22	78 Pt 195.08	79 Au 196.97	80 Hg 200.59	81 Tl 204.38	82 Pb 207.2	83 Bi 208.98	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 -							

57 La 138.91	58 Ce 140.12	59 Pr 140.91	60 Nd 144.24	61 Pm -	62 Sm 150.36	63 Eu 151.96	64 Gd 157.25	65 Tb 158.93	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93	68 Er 167.26	69 Tm 168.93	70 Yb 173.05	71 Lu 174.97
89 Ac -	90 Th 232.04	91 Pa 231.04	92 U 238.03	93 Np -	94 Pu -	95 Am -	96 Cm -	97 Bk -	98 Cf -	99 Es -	100 Fm -	101 Md -	102 No -	103 Lr -

Фамилия: _____

Код: AZE- _____

Задание 1

6 баллов

Вопрос	1a	1b	1c	1d	Задание 1
Очки	4	2	8	8	22

В сосуде находится разбавленный водный раствор кислоты. Этикетка на сосуде повреждена, можно прочесть только молярную концентрацию кислоты.

С помощью рН-метра измерили молярную концентрацию ионов водорода в растворе. Оказалось, что она совпадает с концентрацией кислоты, указанной на этикетке.

- а) **Впишите в клеточки** формулы четырех кислот, растворы которых могли бы находиться в сосуде, если известно, что при разбавлении водных растворов этих кислот в 10 раз значение рН меняется на 1.

--	--	--	--

- б) **Может ли** в сосуде находиться разбавленный раствор серной кислоты? Поставьте галочку в нужной клетке.

Для справки: для серной кислоты определено значение $pK_{a2} = 1.99$.

Да Нет

Если вы ответили «Да», рассчитайте рН раствора.

рН:

Фамилия: _____

Код: AZE-_____

- d) **Может ли** в сосуде находиться раствор ЭДТА (этилендиаминтетрауксусной кислоты)?

Поставьте галочку в нужной клетке.

Да

Нет

Для справки: для ЭДТА $pK_{a1} = 1.70$, $pK_{a2} = 2.60$, $pK_{a3} = 6.30$, $pK_{a4} = 10.60$.

Если вы ответили «Да», рассчитайте молярную концентрацию кислоты (c). При решении задачи можете использовать разумные упрощающие приближения.

Расчеты:

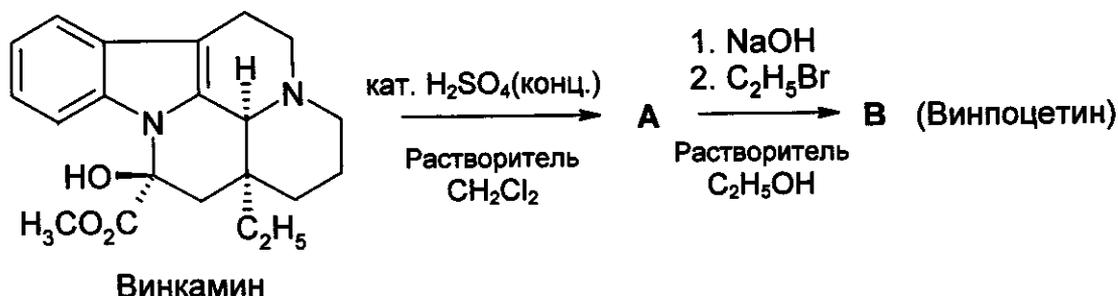
СэдТА:

Задание 3

6 баллов

Вопрос	3a	3b	3c	Задание 3
Очки	4	8	2	14

Винпоцетин (Cavinton®, Calan®) – одно из самых успешно продаваемых венгерских лекарств. Его получают из природного предшественника, (+)-винкамина ($C_{21}H_{26}N_2O_3$), который выделяют из винного дерева, *vinca minor*. Превращение (+)-винкамина в Винпоцетин осуществляется в две стадии, приведенные ниже.



Все соединения (от А до F) – энантиомерно чистые.

- Элементный состав А: С 74.97%, Н 7.19%, N 8.33%, О 9.55%.
- В имеет 3 других стереоизомера.

а) Изобразите структуры интермедиата А и Винпоцетина (В).

А	В
---	---

Для описания любого лекарства необходимо исследовать пути его метаболизма. Так, были обнаружены четыре соединения, каждое из которых образуется непосредственно из Винпоцетина В: вещества С и D образуются в результате реакций гидролиза или гидратации, а вещества Е и F являются продуктами окисления.

Фамилия: _____

Код: AZE- _____

Учтите, что:

- Кислотность соединений убывает в ряду $C \gg E \gg D$. Вещество **F** не содержит подвижных протонов.
- Каждое из соединений **C** и **E** имеет по 3 других стереоизомера, а каждое из соединений **D** и **F** имеет по 7 других стереоизомеров.
- Вещество **F** является пентациклическим цвиттер-ионом и имеет такой же элементный состав, как **E**, а именно: C 72.11%, H 7.15%, N 7.64%, O 13.10%.
- Одной из стадий в образовании **E** из **B** является электрофильная атака.
- Вещество **D** образуется из **B** регио- и стереоселективно.

b) Изобразите по одной *возможной* структуре для каждого из соединений **C**, **D**, **E** и **F**.

C	D
E	F

c) Изобразите ту резонансную структуру **B**, которая объясняет региоселективность образования **D**.

Фамилия: _____

Код: AZE- _____

Задание 4

6 баллов

Вопрос	4a	4b	4c	4d	4e	Задание 4
Очки	6	2	6	8	6	28

Основным путем превращения оксиранов (эпоксидов) является раскрытие цикла, которое может осуществляться различными путями.

Раскрытие цикла, катализируемое кислотами, происходит через образование катионных интермедиатов (типа карбениевых ионов). В замещенных оксиранах направление раскрытия цикла (то, какая из связей C–O разрывается) определяется устойчивостью промежуточного иона: чем более устойчив карбениевый ион, тем более вероятно его образование. Однако открытые карбениевые ионы с планарной структурой образуются в качестве интермедиата, только если они являются третичными, бензильными или аллильными.

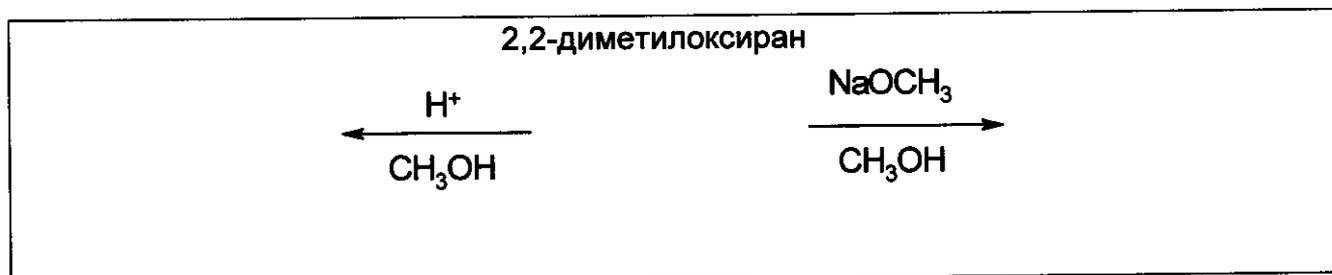
Если раскрытие цикла происходит под действием основания, то преимущественно разрывается наименее стерически затрудненная связь C–O.

Важно. При выполнении задания будьте внимательны и везде указывайте стереохимию.

Для обозначения химических связей при описании стереохимии используйте только символы   .

а) **Изобразите** структуру 2,2-диметилоксирана (1,2-эпокси-2-метилпропана), а также основных продуктов его реакции с метанолом при пониженной температуре при использовании в качестве катализатора:

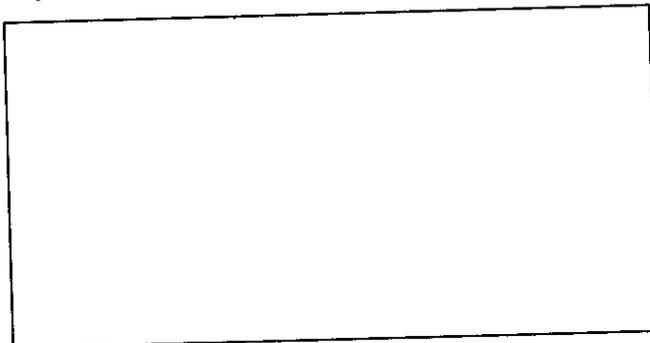
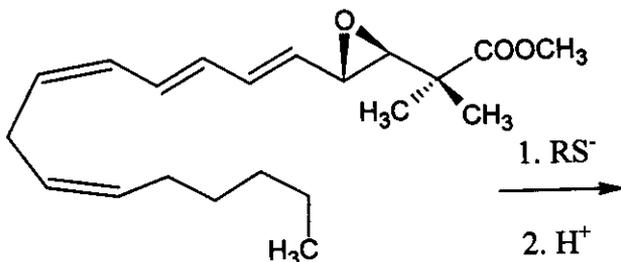
- (i) серной кислоты;
- (ii) NaOCH₃.



Фамилия: _____

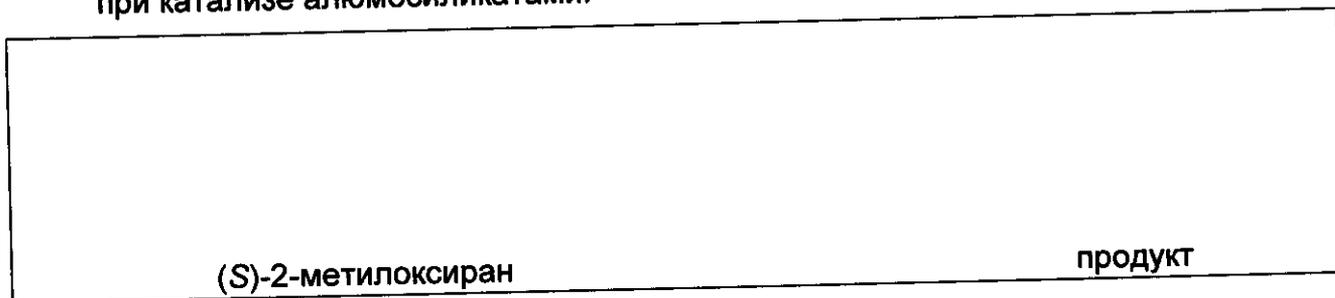
Код: AZE- _____

- b) **Изобразите** структуру основного продукта, который образуется в реакции раскрытия эпоксидного цикла приведенного ниже соединения при его взаимодействии с тиолят-анионом (RS^-) и последующем подкислении.



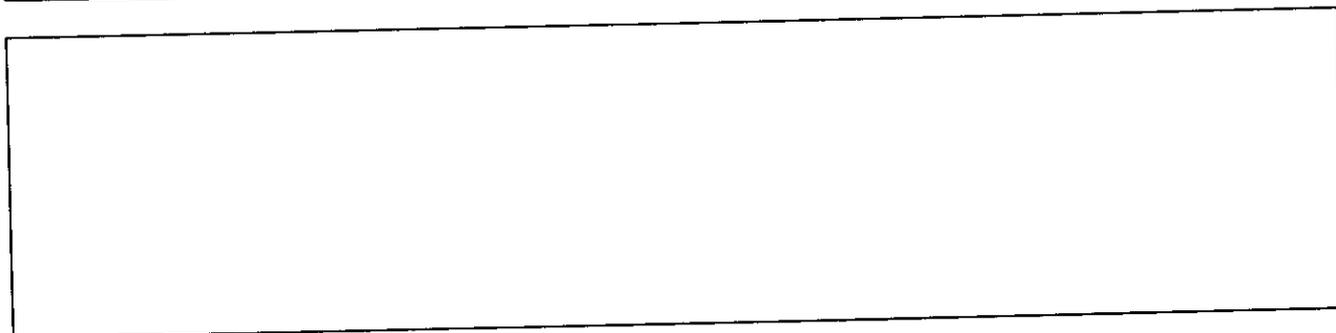
Различные пористые алюмосиликаты **кислой** природы также могут выступать катализаторами превращений алкилоксиранов. В этом случае, помимо раскрытия цикла, основным направлением реакции является образование производных 1,4-диоксана. (Диоксан представляет собой шестичленный насыщенный гетероцикл с двумя атомами кислорода в положениях 1 и 4.)

- c) **Изобразите** структуру (*S*)-2-метилоксирана ((*S*)-1,2-эпоксипропана) и структуру(ы) наиболее вероятного производного 1,4-диоксана, образующегося из него при катализе алюмосиликатами.



- d) **Изобразите** структуру (*R*)-1,2-эпокси-2-метилбутана ((*R*)-2-этил-2-метилоксирана) и структуру(ы) замещенных 1,4-диоксана(ов), образующихся из него в реакции, катализируемой алюмосиликатами.

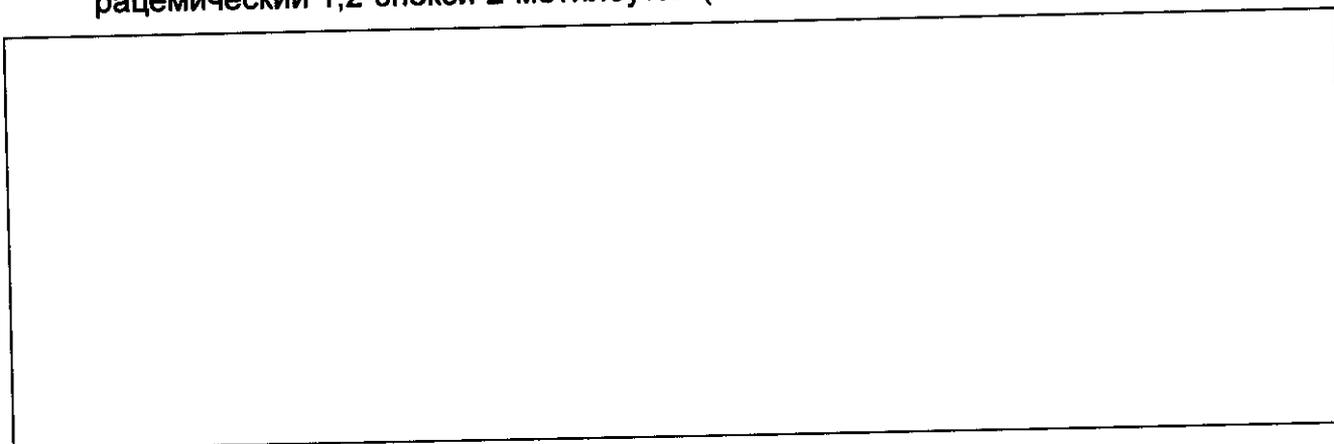
(*R*)-1,2-эпокси-2-метилбутан:



Фамилия: _____

Код: AZE- _____

- е) **Изобразите** структуру(ы) замещенных 1,4-диоксана(ов), образующихся в реакции, катализируемой алюмосиликатами, если исходным эпоксидом является рацемический 1,2-эпокси-2-метилбутан (2-этил-2-метилоксиран).



Фамилия: _____

Код: AZE- _____

Задание 5

7 баллов

Вопрос	5a	5b	Задание 5
Очки	67	33	100

A и **B** представляют собой белые кристаллические вещества. Они оба очень хорошо растворимы в воде, не меняют свой состав при умеренном нагревании (до 200 °C), но разлагаются при более сильном нагревании. Если к водному раствору, содержащему 20.00 г **A** (имеющему слабощелочную среду, pH ≈ 8.5-9), прибавить водный раствор, содержащий 11.52 г **B** (имеющий слабокислую среду, pH ≈ 4.5-5), выпадает белый осадок **C**, масса которого после промывания и высушивания равна 20.35 г. Фильтрат имеет практически нейтральную среду, а добавление к нему подкисленного раствора KI приводит к появлению коричневого окрашивания. При кипячении фильтрат испаряется, не образуя твердого остатка.

Твердое белое вещество **D** может быть получено нагреванием **A** в отсутствие воздуха. Экзотермическая реакция **D** с водой приводит к образованию бесцветного раствора. При длительном хранении этого раствора на воздухе медленно образуется белый твердый осадок **E** и в конце концов над ним остается чистая вода. Если твердое вещество **D** оставить на воздухе при комнатной температуре на длительное время, оно также превращается в **E**. Однако, нагревание навески **D** на воздухе при 500 °C приводит к образованию другого белого вещества **F**, которое очень незначительно растворимо в воде, а его масса составляет 85.8% от массы вещества **E**, образующегося из такой же навески вещества **D**. При добавлении вещества **F** к подкисленному раствору KI появляется коричневое окрашивание.

Вещество **E** может быть превращено обратно в **D** прокаливанием при температуре выше 1400 °C. Реакция **B** с **D** в водном растворе приводит к образованию осадка **C** и появлению характерного запаха.

а) Впишите в клеточки формулы веществ **A – F**

A	B	C
D	E	F

Фамилия: _____

Код: AZE-_____

- б) Запишите уравнения реакций, описывающие все процессы, упомянутые в задаче. Расставьте коэффициенты. (Уравнение реакции термического разложения В писать не требуется)

Уравнения реакций:

Задание 6**7 баллов**

Вопрос	6a	6b	6c	6d	6e	6f	6g	Задание 6
Очки	3	5	3	6	6	12	10	45

При пропускании газообразного хлора через охлажденную почти до температуры заморозания воду выделяется хлопьевидный зеленоватый осадок. Похожие осадки образуются и для других газов, таких как метан или инертные газы.

Все эти вещества имеют сходное строение. Молекулы охлажденной воды вблизи температуры заморозания образуют развитую сеть водородных связей. Молекулы газов ("гости") стабилизируют эту сеть, заполняя пустоты в ней и образуя клатраты.

Клатраты хлора и метана имеют одну и ту же кристаллическую структуру. Ее основу составляют додекаэдры, каждый из которых образован 20 молекулами воды. Элементарная ячейка имеет объемно-центрированную кубическую структуру, составленную из додекаэдров, которые можно считать сферическими. Кроме них, на каждой грани элементарной ячейки находится еще по 2 молекулы воды. Длина ребра элементарной ячейки для обоих веществ равна 1.182 нм.

В структуре этих клатратов существуют два типа пустот – внутри додекаэдров (А) и между ними (В). Пустоты типа А меньше по размерам. Пустот типа В приходится 6 штук на каждую элементарную ячейку.

а) Сколько пустот типа А приходится на каждую элементарную ячейку?

б) Сколько молекул воды приходится на каждую элементарную ячейку?

с) Если в каждой пустоте будет находиться одна молекула «гостя», каким будет отношение числа молекул воды к числу молекул гостя?

Фамилия: _____

Код: AZE- _____

- d) Гидрат метана, полученный при температурах 0-10 °С, имеет состав, описанный в пункте (с). Рассчитайте плотность клатрата.

Расчеты:

Плотность :

- e) Плотность гидрата хлора равна 1.26 г/см³. Рассчитайте отношение числа молекул воды к числу молекул "гостя" в этом клатрате.

Расчет:

Отношение вода / "гость":

Определите, какие пустоты заполнены хлором в кристалле гидрата хлора. Отметьте галочкой один или несколько вариантов ответа.

Некоторые А

Некоторые В

Все А

Все В

Фамилия: _____

Код: AZE- _____

Ковалентные радиусы атомов описывают расстояния между ковалентно связанными атомами. Ван-дер-ваальсовы радиусы характеризуют размеры атомов, не связанных друг с другом ковалентно (атомы считаются жесткими сферами).

Атом	Ковалентный радиус (пм)	Ван-дер-ваальсов радиус (пм)
H	37	120
C	77	185
O	73	140
Cl	99	180

f) Используя ковалентные и ван-дер-ваальсовы радиусы атомов, рассчитайте нижнюю и верхнюю границы для радиуса пустот А и нижнюю границу для радиуса пустот В. Приведите ваши расчеты.

Расчеты:

$< r(A) <$

$< r(B)$

Рассмотрим следующие процессы



g) Определите знаки термодинамических молярных величин для этих реакций при 4 °С. В каждой строчке поставьте -, 0 или +.

	знак
$\Delta G_m(1)$	
$\Delta G_m(2)$	
$\Delta H_m(1)$	
$\Delta H_m(2)$	
$\Delta S_m(1)$	
$\Delta S_m(2)$	
$\Delta S_m(2) - \Delta S_m(1)$	
$\Delta H_m(2) - \Delta H_m(1)$	

Задание 7**8 баллов**

Вопрос	7a	7b	7c	7d	7e	7f	7g	7h	Задание 7
очки	2	1	4	2	8	5	8	12	42

Дитионат-ион ($S_2O_6^{2-}$) – весьма инертный неорганический ион. Он образуется при пропускании газообразного диоксида серы через охлаждаемую льдом воду, к которой периодически добавляют небольшие количества диоксида марганца. В этих условиях образуются дитионат- и сульфат-ионы.

а) Напишите уравнения этих двух реакций.

После окончания реакции к смеси добавляют $Ba(OH)_2$ до полного осаждения сульфат-ионов. Затем к раствору прибавляют Na_2CO_3 .

б) Напишите уравнение реакции, протекающей при добавлении Na_2CO_3 .

При испарении части воды из раствора дитионата натрия выпадают кристаллы. Они хорошо растворяются в воде и не дают осадка с раствором $BaCl_2$. При выдерживании кристаллов при $130\text{ }^\circ\text{C}$ они теряют 14.88 % массы, превращаясь в белый порошок, хорошо растворимый в воде и не дающий осадка с раствором $BaCl_2$. При выдерживании исходных кристаллов при $300\text{ }^\circ\text{C}$ в течение нескольких часов потеря массы составляет 41.34 %. Оставшийся белый порошок растворяется в воде, раствор дает белый осадок с раствором $BaCl_2$.

с) Определите состав кристаллов, выпавших из раствора дитионата натрия, и напишите уравнения двух процессов, которые протекают при их нагревании.

Формула:

Уравнение реакции ($130\text{ }^\circ\text{C}$):

Уравнение реакции ($300\text{ }^\circ\text{C}$):

Фамилия: _____

Код: AZE- _____

Хотя с точки зрения термодинамики дитионат-ион – довольно хороший восстановитель, в водном растворе при комнатной температуре он не окисляется. Однако он может быть окислен при 75 °С в кислой среде.

Для реакции дитионат-иона с бромом был проведен ряд кинетических измерений.

- d) Напишите уравнение реакции между бромом и дитионат-ионом в водном растворе.

В экспериментах была измерена начальная скорость реакции (v_0) при 75 °С.

$[\text{Br}_2]_0$ (ммоль/л)	$[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_6]_0$ (моль/л)	$[\text{H}^+]_0$ (моль/л)	v_0 (ммоль л ⁻¹ с ⁻¹)
0.500	0.0500	0.500	640
0.500	0.0400	0.500	511
0.500	0.0300	0.500	387
0.500	0.0200	0.500	252
0.500	0.0100	0.500	129
0.400	0.0500	0.500	642
0.300	0.0500	0.500	635
0.200	0.0500	0.500	639
0.100	0.0500	0.500	641
0.500	0.0500	0.400	511
0.500	0.0500	0.300	383
0.500	0.0500	0.200	257
0.500	0.0500	0.100	128

- e) Определите порядки реакции по Br_2 , H^+ и $\text{S}_2\text{O}_6^{2-}$, запишите кинетическое уравнение и рассчитайте константу скорости (укажите размерность).

Порядок реакции

по Br_2 :

по H^+ :

по $\text{S}_2\text{O}_6^{2-}$:

Кинетическое уравнение:

Константа скорости k :

Фамилия: _____

Код: AZE- _____

В аналогичных экспериментах, проводимых также при 75 °С, в качестве окислителей использовали хлор, бромат-ион, пероксид водорода и дихромат-ион. Эти реакции описываются таким же кинетическим уравнением, как и в случае брома. Значения констант скорости (с одной и той же размерностью) равны: $2.53 \cdot 10^{-5}$ (Cl_2), $2.60 \cdot 10^{-5}$ (BrO_3^-), $2.56 \cdot 10^{-5}$ (H_2O_2), и $2.54 \cdot 10^{-5}$ ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$).

Изучалось также кинетическое поведение подкисленного раствора дитионата натрия в отсутствие окислителей. В УФ-спектрах раствора, снятых в разные моменты времени, наблюдалось постепенное появление новой полосы поглощения вблизи 275 нм. Также выяснилось, что в растворе образуется гидросульфат-ион, который не поглощает свет с длиной волны больше 200 нм.

- f) Приведите формулу частицы, которой соответствует новая полоса поглощения. Напишите уравнение реакции, протекающей в кислом растворе дитионата в отсутствие окислителей.

Частица:

Уравнение реакции:

Провели кинетическое исследование этой реакции при температуре 75 °С. Для раствора с начальными концентрациями $[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_6]_0 = 0.0022$ моль/л, $[\text{H}^+]_0 = 0.70$ моль/л измеряли оптическую плотность при 275 нм. Полученная кинетическая кривая соответствовала псевдо-первому порядку с периодом полупревращения 10 часов 45 минут.

- g) Рассчитайте истинную константу скорости реакции.

Расчет:

Константа скорости k :

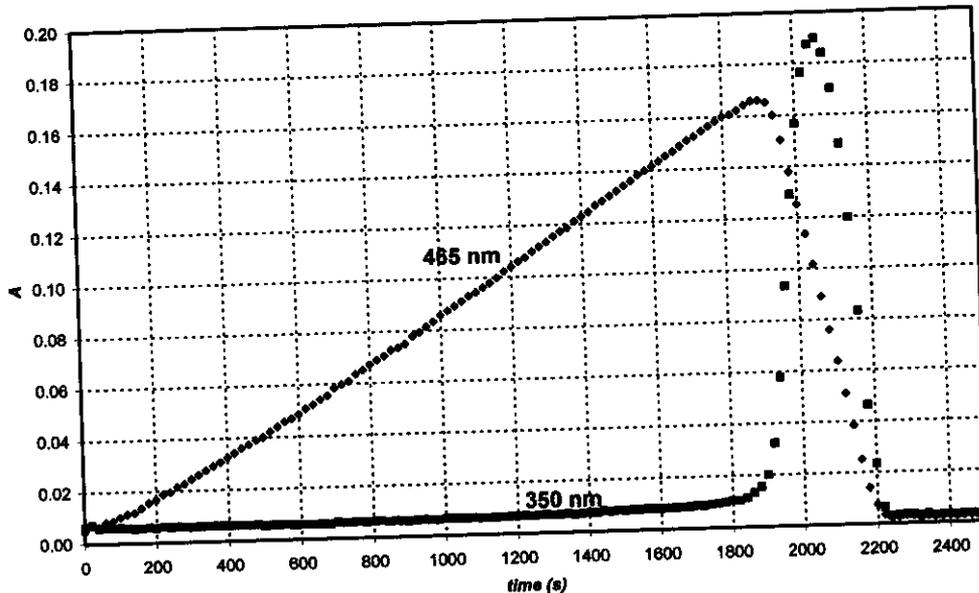
Напишите уравнение лимитирующей стадии для реакций, протекающих при окислении дитионат-иона в кислой среде.

Уравнение лимитирующей стадии:

Фамилия: _____

Код: AZE- _____

При окислении дитионат-иона ионом H_4IO_6^- при 75°C были получены две кинетические кривые при разных длинах волн (см. рисунок). Начальные концентрации составляли: $[\text{H}_4\text{IO}_6^-]_0 = 5.3 \cdot 10^{-4}$ моль/л, $[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_6]_0 = 0.0519$ моль/л, $[\text{HClO}_4]_0 = 0.728$ моль/л. При 465 нм поглощает только I_2 , его молярный коэффициент поглощения составляет $715 \text{ л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$. При 350 нм поглощает только I_3^- , молярный коэффициент поглощения равен $11000 \text{ л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$. Длина оптического пути равна 0.874 см .



- h) Напишите уравнение химической реакции, приводящей к увеличению поглощения при 465 нм, а также уравнение реакции, приводящей к уменьшению поглощения при 465 нм.

Уравнение реакции в области роста поглощения:

Уравнение реакции в области уменьшения поглощения:

Рассчитайте ожидаемое время (t_{max}) появления максимума на кривой поглощения при 465 нм.

Расчет:

t_{max} :

Фамилия: _____

Код: AZE-_____

Оцените ожидаемое отношение наклонов восходящего и нисходящего участков кинетической кривой при 465 нм.

Отношение наклонов:

Задание 8**7 баллов**

Вопрос	8a	8b	8c	8d	8e	8f	8g	8h	8i	Задание 8
очки	3	3	4	3	3	2	7	3	5	32

Однажды студентка Z обнаружила, что при длительном УФ-облучении подкисленного водного раствора CeCl_3 образуются маленькие пузырьки газа. В отсутствие облучения пузырьки не появлялись.

Для изучения этого явления мисс Z использовала маленькую кварцевую колбу, в которую вставила хлорид-селективный электрод. Из колбы также можно было отбирать пробы для спектрофотометрических измерений.

Сначала она откалибровала хлорид-селективный электрод, используя два раствора NaCl разной молярной концентрации, и получила следующие результаты:

c_{NaCl} (моль/л)	E (мВ)
0.1000	26.9
1.000	-32.2

- a) Приведите формулу для расчета молярной концентрации хлорид-ионов в неизвестном растворе по электродному потенциалу (E).

[Cl⁻] =

В спектрофотометрических измерениях мисс Z определила молярный коэффициент поглощения для Ce^{3+} ($\epsilon = 35.2 \text{ л} \cdot \text{моль}^{-1} \text{ см}^{-1}$) при 295 нм, а также, на всякий случай, для Ce^{4+} ($\epsilon = 3967 \text{ л} \cdot \text{моль}^{-1} \text{ см}^{-1}$) при этой же длине волны.

- b) Приведите формулу для расчета молярной концентрации Ce^{3+} по оптической плотности (A) на длине волны 295 нм в растворе, содержащем только CeCl_3 (длина оптического пути равна 1.000 см).

[Ce³⁺] =

Фамилия: _____

Код: AZE- _____

Мисс Z приготовила раствор, содержащий 0.0100 моль/л CeCl_3 и 0.1050 моль/л HCl , поместила его в кварцевую колбу и начала облучать светом 295 нм. HCl не поглощает при 295 нм.

- с) Рассчитайте ожидаемые значения оптической плотности раствора при длине оптического пути 1.000 см и электродного потенциала в самом начале эксперимента.

$$A_{295 \text{ нм}} =$$

$$E =$$

Перед проведением количественных измерений мисс Z пропустила газ, выделившийся при облучении, через тщательно нейтрализованный раствор метилоранжа (кислотно-основной и редокс-индикатор). Ни цвет раствора, ни интенсивность окраски не изменились даже через сутки.

- д) По данным этого эксперимента можно исключить возможность образования некоторых газов при облучении подкисленного раствора CeCl_3 . Приведите формулы двух таких газов. Учтите, что они должны содержать только те химические элементы, которые были в растворе.

В количественном эксперименте измерялись зависимости оптической плотности и электродного потенциала от времени. Погрешность спектрофотометра составляет ± 0.002 , электродный потенциал измеряется с точностью ± 0.3 мВ. Мисс Z получила следующие результаты:

Время (мин)	0	120	240	360	480
$A_{295 \text{ нм}}$	0.3496	0.3488	0.3504	0.3489	0.3499
E (мВ)	19.0	18.8	18.8	19.1	19.2

- е) Оцените среднюю скорость изменения концентраций ионов Ce^{3+} , Cl^- и H^+ .

$$d[\text{Ce}^{3+}]/dt =$$

$$d[\text{Cl}^-]/dt =$$

$$d[\text{H}^+]/dt =$$

Фамилия: _____

Код: AZE-_____

На следующий день для облучения мисс Z использовала источник монохроматического света (254 нм) с мощностью 0.0500 Вт. Она пропустила свет через кварцевую кювету длиной 5 см, заполненную тем же самым подкисленным раствором CeCl_3 , который она изучала раньше. Она измерила молярный коэффициент поглощения для Ce^{3+} ($\varepsilon = 2400 \text{ л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$) при 254 нм.

f) Какая доля света (в процентах) поглотилась раствором?

Газы, образующиеся в этом эксперименте, пропускают сначала через осушитель для удаления следов водяных паров, а затем собирают в закрытом сосуде объемом 68 см^3 . Сосуд связан с прецизионным манометром и зажигающим устройством. Мисс Z заполнила сосуд сухим аргоном, давление которого составило 102165 Па, и начала облучение раствора. Через 18.00 часов облучения давление в сосуде достигло 114075 Па. Температура системы равна $22.0 \text{ }^\circ\text{C}$.

g) Рассчитайте количество вещества газов, собранных в сосуде.

Расчет:

$n_{\text{газ}}$:

Затем мисс Z выключила источник света и включила зажигающее устройство. Когда сосуд охладился до исходной температуры $22.0 \text{ }^\circ\text{C}$, конечное давление в нем составило 104740 Па.

Предложите формулу(ы) газа(ов), образовавшихся при облучении и собранных в сосуд. Напишите уравнение химической реакции, происходящей при облучении раствора.

Газ(ы):

Уравнение реакции:

Фамилия: _____

Код: AZE-_____

- h) Каким будет конечное давление в сосуде после поджигания и охлаждения, если повторить эксперимент в тех же условиях, но время облучения раствора увеличить до 24 часов?

$p =$

- i) Рассчитайте квантовый выход реакции, протекающей при облучении раствора Ce(III) .

Расчет:

Квантовый выход:

Фамилия: _____

Код: AZE- _____

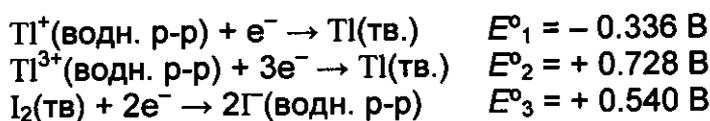
Задание 9

6 баллов

Вопрос	9a	9b	9c	9d	Задание 9
Очки	12	21	15	9	57

В соединениях таллий проявляет две разные степени окисления: Tl^+ и Tl^{3+} .
 В водных растворах иодид-ионы могут взаимодействовать с иодом, образуя трииодид-ионы I_3^- .

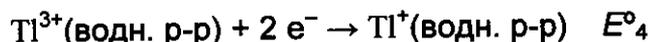
Ниже приведены стандартные окислительно-восстановительные потенциалы для некоторых полуреакций:



Константа равновесия реакции $I_2(\text{тв.}) + I^-(\text{водн. р-р}) \rightarrow I_3^-(\text{водн. р-р})$ равна $K_1 = 0.459$.

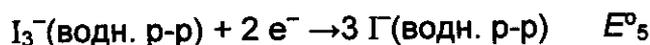
При решении этой задачи везде используйте температуру $t = 25 \text{ }^\circ\text{C}$.

- а) Рассчитайте окислительно-восстановительный потенциал для следующих полуреакций:



Расчет:

$E^{\circ}_4 =$



Расчет:

$E^{\circ}_5 =$

- б) Напишите эмпирические формулы всех теоретически возможных нейтральных соединений, содержащих один катион таллия и любое число иодид- и/или трииодид-анион(ов).

Фамилия: _____

Код: AZE- _____

Среди возможных эмпирических формул есть одна, которая отражает состав двух разных веществ (изомеров). Приведите её.

Используя стандартные окислительно-восстановительные потенциалы, определите, какой из двух вышеупомянутых изомеров более устойчив при стандартных условиях. Кратко поясните. Напишите уравнение реакции изомеризации другого изомера иодида таллия.

Более устойчивый изомер:

Уравнение реакции изомеризации:

Положение равновесия изомеризации можно сместить с помощью комплексообразования. Общая константа образования комплекса по реакции $Tl^{3+} + 4I^- \rightarrow TlI_4^-$ равна $\beta_4 = 10^{35.7}$.

- с) Напишите уравнение реакции, протекающей в результате прибавления избытка KI к раствору более стабильного изомера иодида таллия. Рассчитайте константу равновесия (K_2) этой реакции.

Уравнение реакции:

Расчет:

K_2 :

Фамилия: _____

Код: AZE-_____

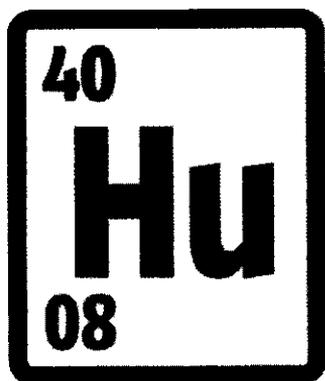
Если к раствору более устойчивого изомера прибавить сильное основание, то наблюдается образование чёрного осадка. Если удалить всю воду из осадка, то оставшееся вещество содержит 89.5 % таллия (по массе).

- d) Определите эмпирическую формулу этого вещества. Приведите соответствующие расчеты. Напишите уравнение реакции его образования и расставьте в нем коэффициенты.

Расчет:

Формула:

Уравнение реакции:



40th International
Chemistry Olympiad

Theoretical Problems

17 July 2008

Budapest, Hungary

Instructions

- Write your name and code on each page.
- You have 5 hours to work on the problems. Begin only when the START command is given.
- Use only the pen and calculator provided.
- All results must be written in the appropriate boxes. Anything written elsewhere will not be graded. Use the reverse of the sheets if you need scratch paper.
- Write relevant calculations in the appropriate boxes when necessary. If you provide only correct end results for complicated problems, you receive no score.
- When you have finished the examination, you must put your papers into the envelope provided. Do not seal the envelope.
- You must stop your work immediately when the STOP command is given. A delay in doing this by 3 minutes may lead to cancellation of your exam.
- Do not leave your seat until permitted by the supervisors.
- This examination has 26 pages.
- The official English version of this examination is available on request only for clarification.

Constants and Formulae

Avogadro constant: $N_A = 6.022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ Ideal gas equation: $pV = nRT$

Gas constant: $R = 8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ Gibbs energy: $G = H - TS$

Faraday constant: $F = 96485 \text{ C mol}^{-1}$ $\Delta_r G^\circ = -RT \ln K = -nFE_{\text{cell}}^\circ$

Planck constant: $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$ Nernst equation: $E = E^\circ + \frac{RT}{zF} \ln \frac{c_{\text{ox}}}{c_{\text{red}}}$

Speed of light: $c = 3.000 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$ Energy of a photon: $E = \frac{hc}{\lambda}$

Zero of the Celsius scale: 273.15 K Lambert-Beer law: $A = \log \frac{I_0}{I} = \epsilon c l$

In equilibrium constant calculations all concentrations are referenced to a standard concentration of 1 mol/dm^3 . Consider all gases ideal throughout the exam.

Periodic table with relative atomic masses

1 H 1.008																	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 24.30											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 72.64	33 As 74.92	34 Se 78.96	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 95.96	43 Tc -	44 Ru 101.07	45 Rh 102.91	46 Pd 106.42	47 Ag 107.87	48 Cd 112.41	49 In 114.82	50 Sn 118.71	51 Sb 121.76	52 Te 127.60	53 I 126.90	54 Xe 131.29
55 Cs 132.91	56 Ba 137.33	57-71 -	72 Hf 178.49	73 Ta 180.95	74 W 183.84	75 Re 186.21	76 Os 190.23	77 Ir 192.22	78 Pt 195.08	79 Au 196.97	80 Hg 200.59	81 Tl 204.38	82 Pb 207.2	83 Bi 208.98	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 -							

57 La 138.91	58 Ce 140.12	59 Pr 140.91	60 Nd 144.24	61 Pm -	62 Sm 150.36	63 Eu 151.96	64 Gd 157.25	65 Tb 158.93	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93	68 Er 167.26	69 Tm 168.93	70 Yb 173.05	71 Lu 174.97
89 Ac -	90 Th 232.04	91 Pa 231.04	92 U 238.03	93 Np -	94 Pu -	95 Am -	96 Cm -	97 Bk -	98 Cf -	99 Es -	100 Fm -	101 Md -	102 No -	103 Lr -

Name: _____

Code: AZE- _____

Problem 1

6% of the total

1a	1b	1c	1d	Task 1
4	2	8	8	22

The label on a bottle containing a dilute aqueous solution of an acid became damaged. Only its concentration was readable. A pH meter was nearby, and a quick measurement showed that the hydrogen ion concentration is equal to the value on the label.

- a) Give the formulae of four acids that could have been in the solution if the pH changed one unit after a tenfold dilution.

--	--	--	--

- b) Could it be possible that the dilute solution contained sulfuric acid?

Sulfuric acid: $pK_{a2} = 1.99$

Yes No

If yes, calculate the pH (or at least try to estimate it) and show your work.

<p>pH:</p>

Name:

Code: AZE-

c) Could it be possible that the solution contained acetic acid?

Acetic acid: $pK_a = 4.76$

Yes No

If yes, calculate the pH (or at least try to estimate it) and show your work.

pH:

Name:

Code: AZE-

- d) Could it be possible that the solution contained EDTA (ethylene diamino tetraacetic acid)? You may use reasonable approximations.

EDTA: $pK_{a1} = 1.70$, $pK_{a2} = 2.60$, $pK_{a3} = 6.30$, $pK_{a4} = 10.60$

Yes No

If yes, calculate the concentration.

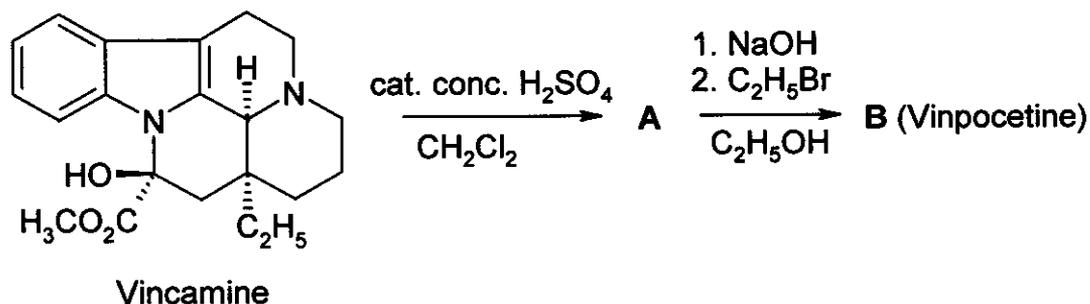
CEDTA:

Problem 3

6% of the total

3a	3b	3c	Task 3
4	8	2	14

Vinpocetine (Cavinton®, Calan®) is one of the best selling original drugs developed in Hungary. Its preparation relies on a natural precursor, (+)-vincamine ($C_{21}H_{26}N_2O_3$), which is isolated from the vine plant, *vinca minor*. The transformation of (+)-vincamine to vinpocetine is achieved in two steps depicted below.



All compounds (A to F) are enantiomerically pure compounds.

- The elementary composition of A is: C 74.97%, H 7.19%, N 8.33%, O 9.55%.
- B has 3 other stereoisomers.

a) Propose structures for the intermediate A and vinpocetine (B).

A	B

A study of the metabolism of any drug forms a substantial part of its documentation. There are four major metabolites each formed from vinpocetine (B): C and D are formed in hydrolysis or hydration reactions, while E and F are oxidation products.

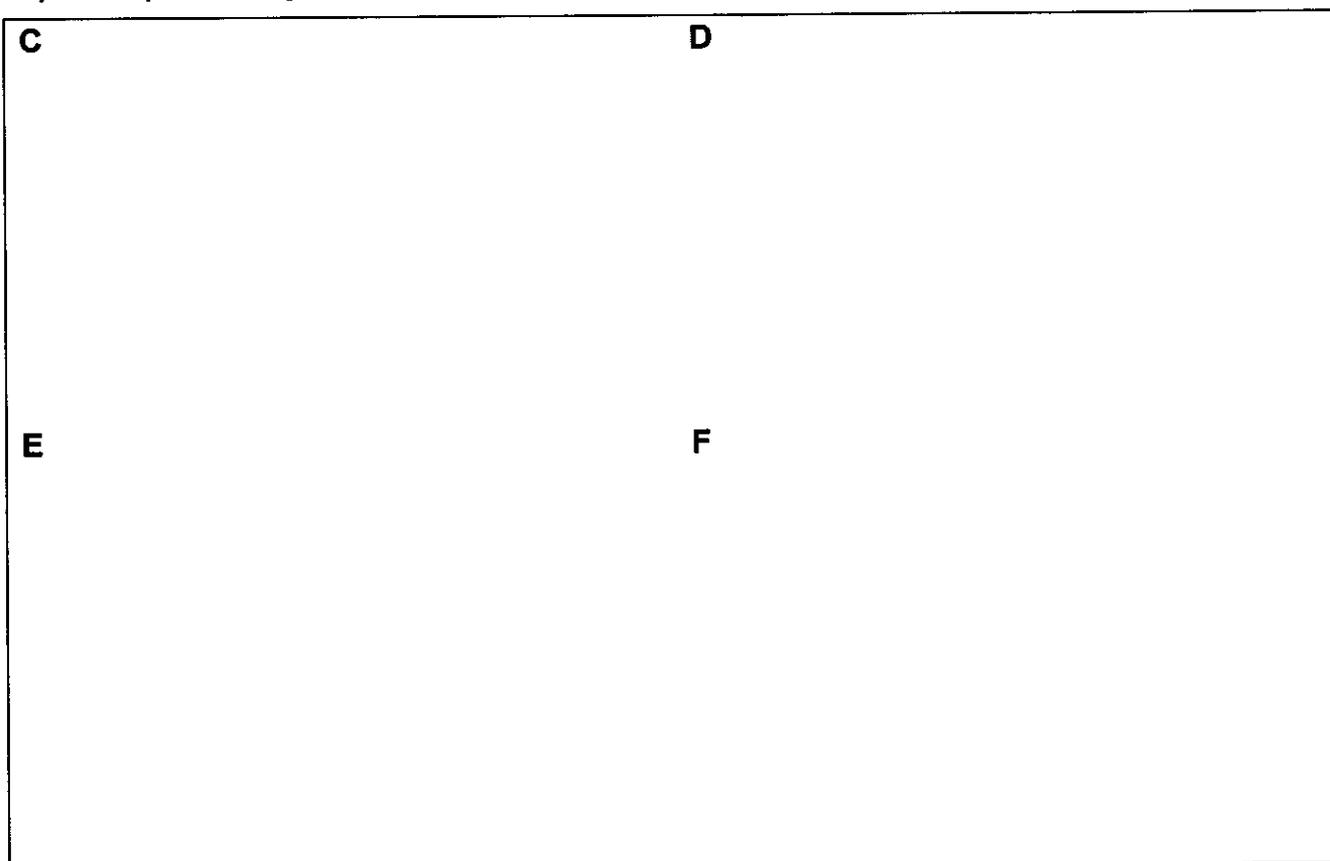
Name:

Code: AZE-

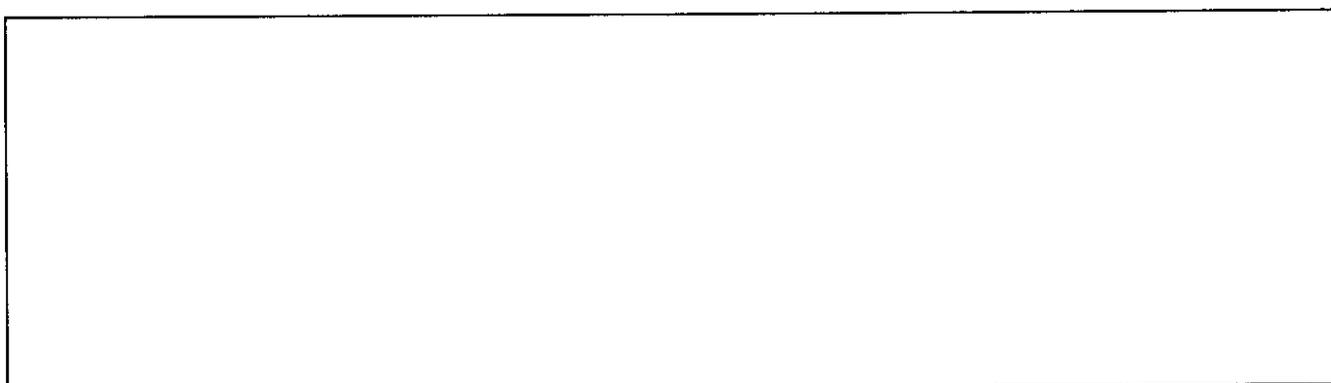
Hints:

- The acidity of the metabolites decreases in the order $C \gg E \gg D$. **F** does not contain an acidic hydrogen.
- **C** and **E** each have 3 other stereoisomers, while **D** and **F** each have 7 other stereoisomers.
- **F** is a pentacyclic zwitterion and it has the same elementary analysis as **E**: C 72.11%, H 7.15%, N 7.64%, O 13.10%.
- The formation of **E** from **B** follows an electrophilic pattern.
- The formation of **D** from **B** is both regio- and stereoselective.

b) Propose one *possible* structure for each of the metabolites **C**, **D**, **E** and **F**!



c) Draw a resonance structure for **B** that explains the regioselective formation of **D** and the absence of the alternate regioisomer in particular.



Problem 4

6% of the total

4a	4b	4c	4d	4e	Task 4
6	2	6	8	6	28

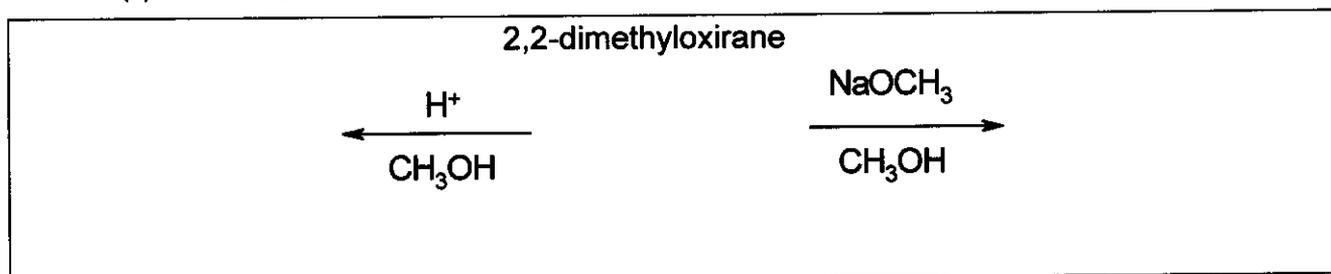
A major transformation route for oxiranes (epoxides) is ring opening. This may be accomplished in various ways.

On acid catalysis the reactions proceed through cation-like (carbenium ion-like) species. For substituted oxiranes the direction of ring opening (which C–O bond is cleaved) depends on the stability of the intermediate carbenium ion. The more stable the intermediate carbenium ion the more probable its formation. However, an open carbenium ion (with a planar structure) only forms if it is tertiary, benzylic or allylic.

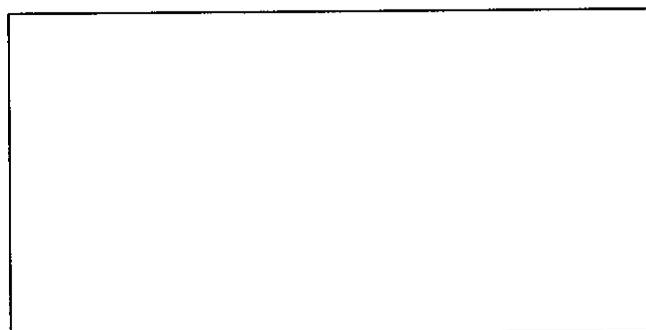
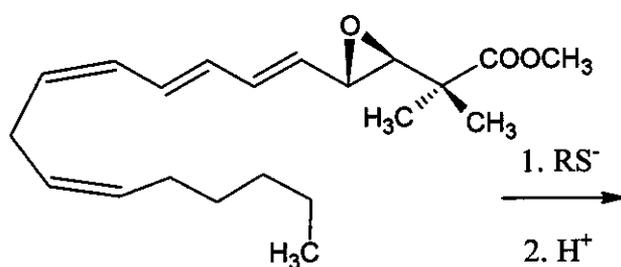
On base catalysis the sterically less hindered C–O bond is cleaved predominantly.

Keep stereochemistry in mind throughout the whole problem. To depict stereochemistry use only the \blacksquare \cdots --- bond symbols and nothing else where necessary.

- a) Draw the structure of the reactant and the predominant products when 2,2-dimethyloxirane (1,2-epoxy-2-methylpropane) reacts with methanol at low temperatures, catalysed by
- sulfuric acid
 - NaOCH_3 .



- b) Draw the structure of the predominant product when the epoxide ring of the following leukotriene derivative is opened with a thiolate (RS^-).

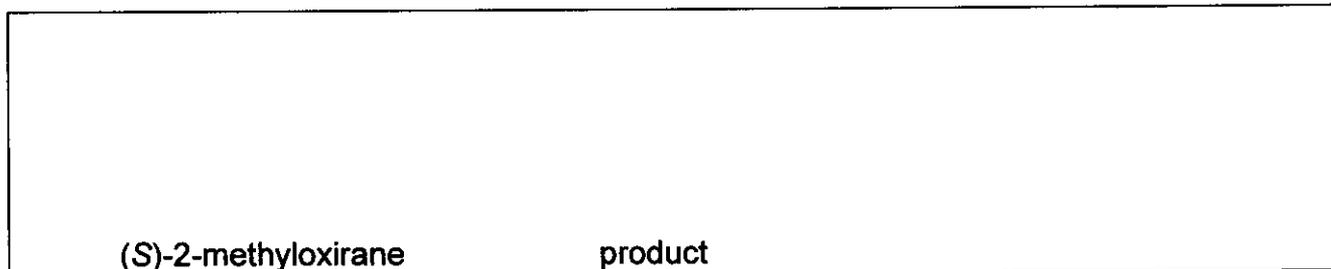


Different porous **acidic** aluminosilicates can also be used to catalyse the transformation of alkyl oxiranes. In addition to ring opening, cyclic dimerisation is found to be the main reaction pathway producing mainly 1,4-dioxane derivatives (six-membered saturated rings with two oxygen atoms in positions 1,4).

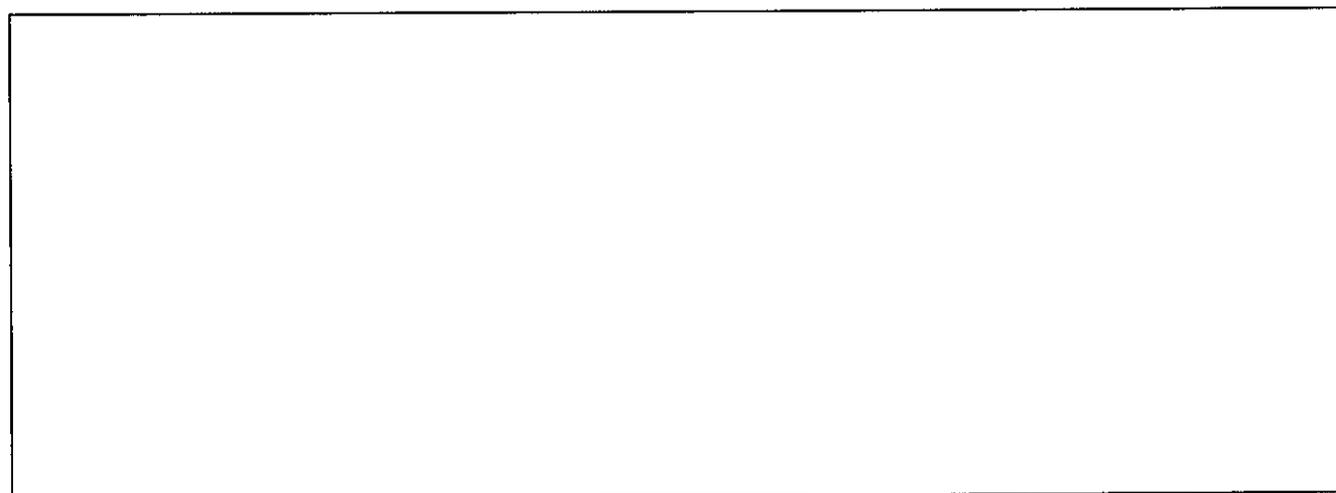
Name:

Code: AZE-

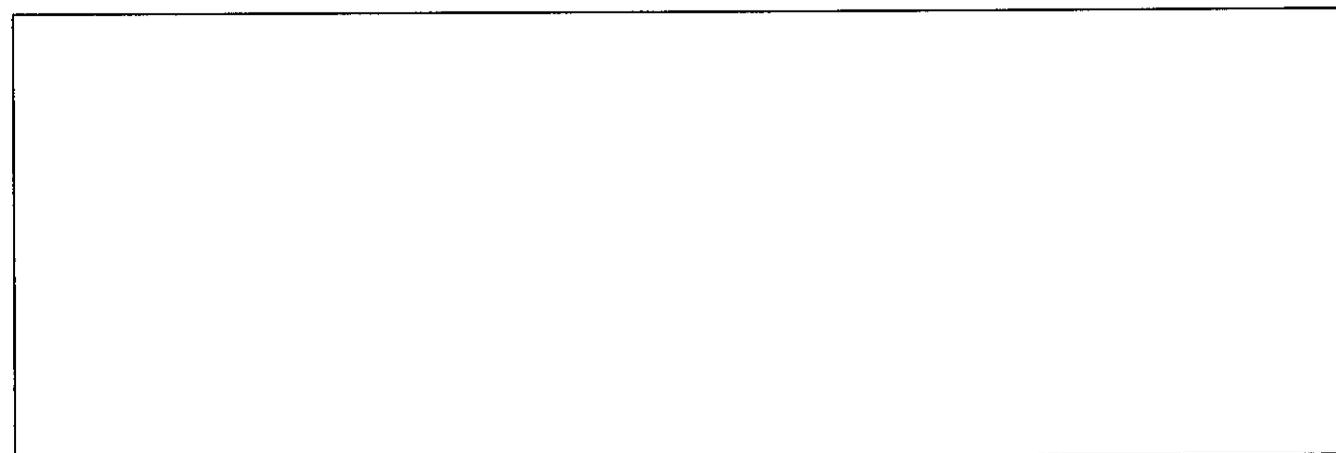
- c) Draw the structure(s) of the most probable 1,4-dioxane derivative(s) when the starting compound is (S)-2-methyloxirane ((S)-1,2-epoxypropane). Give the structure of the reactant as well.



- d) Draw the structure(s) of the substituted 1,4-dioxane(s) when the epoxide reacting is (R)-1,2-epoxy-2-methylbutane ((R)-2-ethyl-2-methyloxirane). Give the structure of the reactant as well.



- e) Give the structure(s) of the substituted 1,4-dioxane(s) when this reaction is carried out with racemic 1,2-epoxy-2-methylbutane (2-ethyl-2-methyloxirane).



Name:

Code: AZE-

Problem 5**7% of the total**

5a	5b	Task 5
67	33	100

A and **B** are white crystalline substances. Both are highly soluble in water and can be moderately heated (up to 200 °C) without change but both decompose at higher temperatures. If an aqueous solution of 20.00 g **A** (which is slightly basic, $\text{pH} \approx 8.5-9$) is added to an aqueous solution of 11.52 g **B** (which is slightly acidic, $\text{pH} \approx 4.5-5$) a white precipitate **C** forms that weighs 20.35 g after filtering, washing and drying. The filtrate is essentially neutral and gives a brown colour reaction with an acidified KI solution. When boiled, the filtrate evaporates without the appearance of any residue.

The white solid **D** can be prepared by the heating of **A** in the absence of air. The exothermic reaction of **D** with water gives a colourless solution. This solution, if kept in an open container, slowly precipitates a white solid **E** and leaves water. Upon prolonged exposure to air at room temperature, solid **D** is transformed into **E** as well. However, heating **D** in air at 500 °C produces a different white substance **F**, which is barely soluble in water and has a mass of only 85.8% of the **E** formed from the same amount of **D**. **F** gives a brown colour reaction with an acidified solution of KI.

E can be converted back into **D** but ignition above 1400 °C is required for this purpose. The reaction of **B** and **D** in water forms the precipitate **C** and is accompanied by a characteristic odour.

- a) Give the formulae of the substances A - F

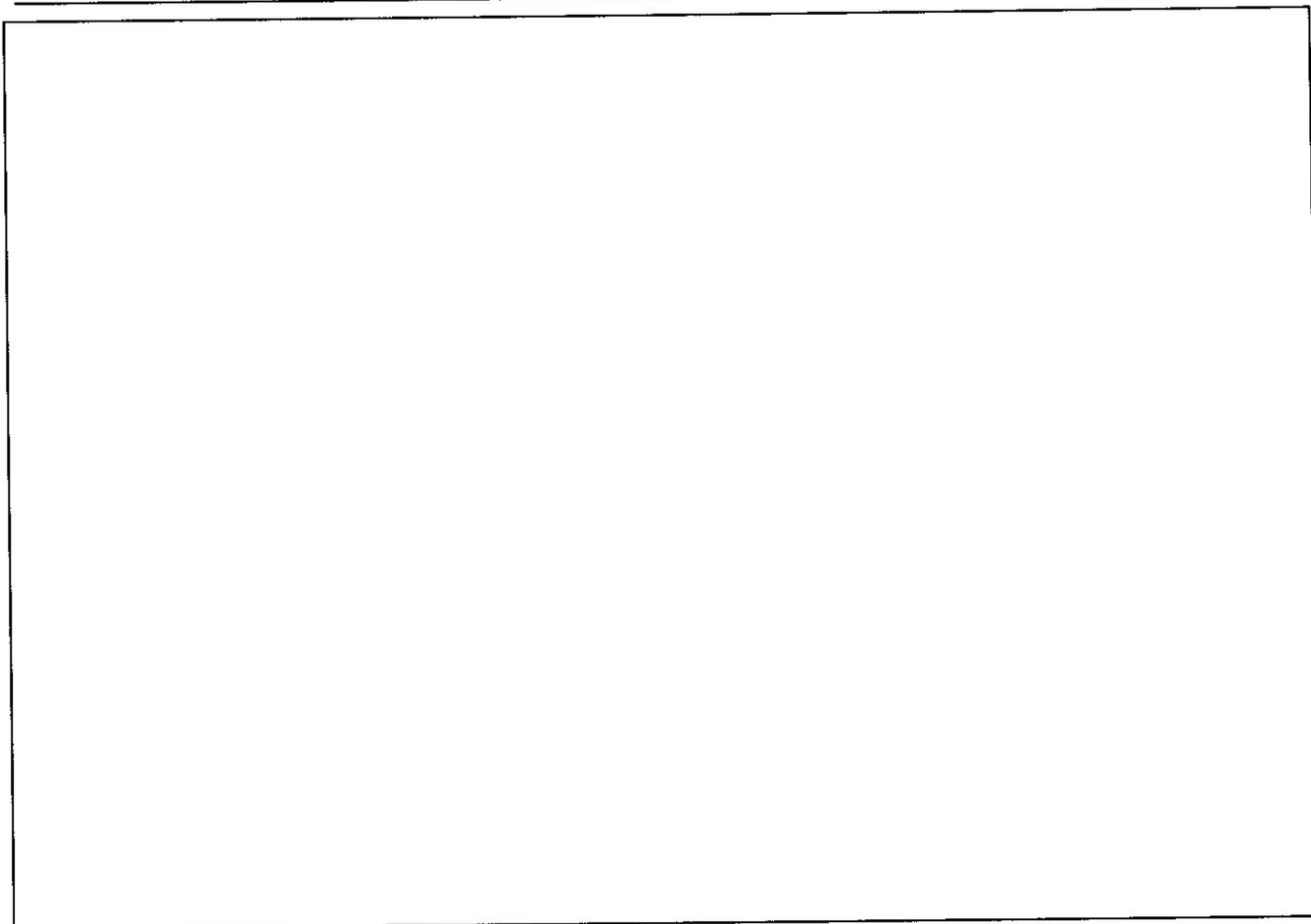
A	B	C
D	E	F

- b) Write balanced equations for all the reactions mentioned. (The equation for the thermal decomposition of **B** is not required.)

Equations:

Name:

Code: AZE-



Problem 6**7% of the total**

6a	6b	6c	6d	6e	6f	6g	Task 6
3	5	3	6	6	12	10	45

A feathery, greenish solid precipitate can be observed if chlorine gas is bubbled into water close to its freezing point. Similar precipitates form with other gases such as methane and noble gases. These materials are interesting because vast quantities of the so-called methane-hydrates are supposed to exist in nature (comparable in quantity with other natural gas deposits).

These precipitates all have related structures. The molecules of water just above its freezing point form a hydrogen-bonded structure. The gas molecules stabilize this framework by filling in the rather large cavities in the water structure forming clathrates.

The crystals of chlorine and methane clathrates have the same structure. Their main characteristics are dodecahedra formed from 20 water molecules. The unit cell of the crystal can be thought as a body-centered cubic arrangement built from these dodecahedra which are almost spherical objects. The dodecahedra are connected via additional water molecules located on the faces of the unit cell. Two water molecules can be found on each face of the unit cell. The unit cell has an edge dimension of 1.182 nm.

There are two types of cavities in this structure. One is the internal space in the dodecahedra (**A**). These are somewhat smaller than the other type of voids (**B**), of which there are 6 for each unit cell.

- a) How many type A cavities can be found in a unit cell?

- b) How many water molecules are there in a unit cell?

- c) If all cavities contain a guest molecule, what is the ratio of the number of water to the number of guest molecules?

- d) Methane hydrate is formed with the structure in c) at temperatures between 0-10 °C. What is the density of the clathrate?

Name:

Code: AZE-

Density:

- e) The density of chlorine hydrate is 1.26 g/cm^3 . What is the ratio of the number of water and guest molecules in the crystal?

Ratio:

Which cavities are likely to be filled in a perfect chlorine hydrate crystal? Mark one or more.

Some A Some B All A All B

Covalent radii reflect atomic distances when the atoms are covalently bonded. Nonbonded or van der Waals radii give a measure of the atomic size when they are not bonded covalently (modeled as hard spheres).

Atom	Covalent radius (pm)	Nonbonded radius (pm)
H	37	120
C	77	185
O	73	140
Cl	99	180

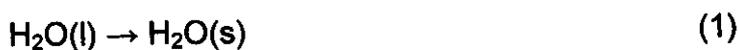
Name:

Code: AZE-

- f) Based on the covalent and nonbonded radii of these atoms estimate lower and upper bounds for the average radii of the cavities where possible. Show your reasoning.

$< r(\text{A}) <$ $< r(\text{B})$

Let us consider the following processes



- g) What are the signs of the following molar quantities referring to these reactions in the given direction at 4 °C? Mark with a -, 0 or +.

	sign
$\Delta G_m(1)$	
$\Delta G_m(2)$	
$\Delta H_m(1)$	
$\Delta H_m(2)$	
$\Delta S_m(1)$	
$\Delta S_m(2)$	
$\Delta S_m(2) - \Delta S_m(1)$	
$\Delta H_m(2) - \Delta H_m(1)$	

Name:

Code: AZE-

Problem 7

8% of the total

7a	7b	7c	7d	7e	7f	7g	7h	Task 7
2	1	4	2	8	5	8	12	42

The dithionate ion ($S_2O_6^{2-}$) is a rather inert inorganic ion. It can be prepared by bubbling sulphur-dioxide continuously into ice-cooled water to which manganese dioxide is added in small increments. Dithionate and sulphate ions are formed under these circumstances.

a) Write the balanced chemical equations for the two reactions.

After the reaction is complete, $Ba(OH)_2$ is added to the mixture until the sulphate ions are fully precipitated. This is followed by the addition of Na_2CO_3 .

b) Write the balanced equation for the reaction that takes place upon addition of Na_2CO_3 .

Sodium dithionate is then crystallized by evaporating some of the solvent. The prepared crystals dissolve readily in water and do not give a precipitate with $BaCl_2$ solution. When the solid is heated and maintained at $130\text{ }^\circ\text{C}$, 14.88 % weight loss is observed. The resulting white powder dissolves in water and does not give a precipitate with $BaCl_2$ solution. When another sample of the original crystals is kept at $300\text{ }^\circ\text{C}$ for a few hours, 41.34 % weight loss occurs. The resulting white powder dissolves in water and gives a white precipitate with $BaCl_2$ solution.

c) Give the composition of the prepared crystals and write balanced equations for the two processes that occur during heating.

Formula:

Equation ($130\text{ }^\circ\text{C}$):

Equation ($300\text{ }^\circ\text{C}$):

Name:

Code: AZE-

Although dithionate ion is a fairly good reducing agent thermodynamically, it does not react with oxidants in solution at room temperature. At 75 °C, however, it can be oxidized in acidic solutions. A series of kinetic experiments were carried out with bromine as an oxidant.

- d) Write the balanced chemical equation for the reaction between bromine and dithionate ion.

The initial rates (v_0) of the reaction were determined in a number of experiments at 75 °C.

$[\text{Br}_2]_0$ (mmol/dm ³)	$[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_6]_0$ (mol/dm ³)	$[\text{H}^+]_0$ (mol/dm ³)	v_0 (nmol dm ⁻³ s ⁻¹)
0.500	0.0500	0.500	640
0.500	0.0400	0.500	511
0.500	0.0300	0.500	387
0.500	0.0200	0.500	252
0.500	0.0100	0.500	129
0.400	0.0500	0.500	642
0.300	0.0500	0.500	635
0.200	0.0500	0.500	639
0.100	0.0500	0.500	641
0.500	0.0500	0.400	511
0.500	0.0500	0.300	383
0.500	0.0500	0.200	257
0.500	0.0500	0.100	128

- e) Determine the order of the reaction with respect to Br_2 , H^+ and $\text{S}_2\text{O}_6^{2-}$, the experimental rate equation, and the value and unit of the rate constant.

Reaction order for Br_2 :

for H^+ :

for $\text{S}_2\text{O}_6^{2-}$:

Experimental rate equation:

k :

Name:

Code: AZE-

In similar experiments, chlorine, bromate ion, hydrogen peroxide and chromate ion have all been used as oxidizing agents at 75 °C. The rate equations for these processes are analogous to the one observed with bromine, the units of all rate constants are the same, the values are $2.53 \cdot 10^{-5}$ (Cl_2), $2.60 \cdot 10^{-5}$ (BrO_3^-), $2.56 \cdot 10^{-5}$ (H_2O_2), and $2.54 \cdot 10^{-5}$ ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$).

Experiments were also carried out in acidic sodium dithionate solution without any oxidizing agent. When following the processes by UV spectrophotometry, the slow appearance of a new absorption band around 275 nm was observed. Although hydrogen sulphate ion is a detectable product of the reaction, it does not absorb any light above 200 nm.

- f) Give the formula of the major species causing the new absorption band and write the balanced equation of the chemical reaction occurring in the absence of oxidants.

Species:

Reaction:

An experiment was carried out to follow the absorbance at 275 nm with initial concentrations: $[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_6] = 0.0022 \text{ mol/dm}^3$, $[\text{HClO}_4] = 0.70 \text{ mol/dm}^3$, and the temperature was 75 °C. A pseudo first-order kinetic curve was found with a half-life of 10 hours and 45 minutes.

- g) Calculate the rate constant of the reaction.

k:

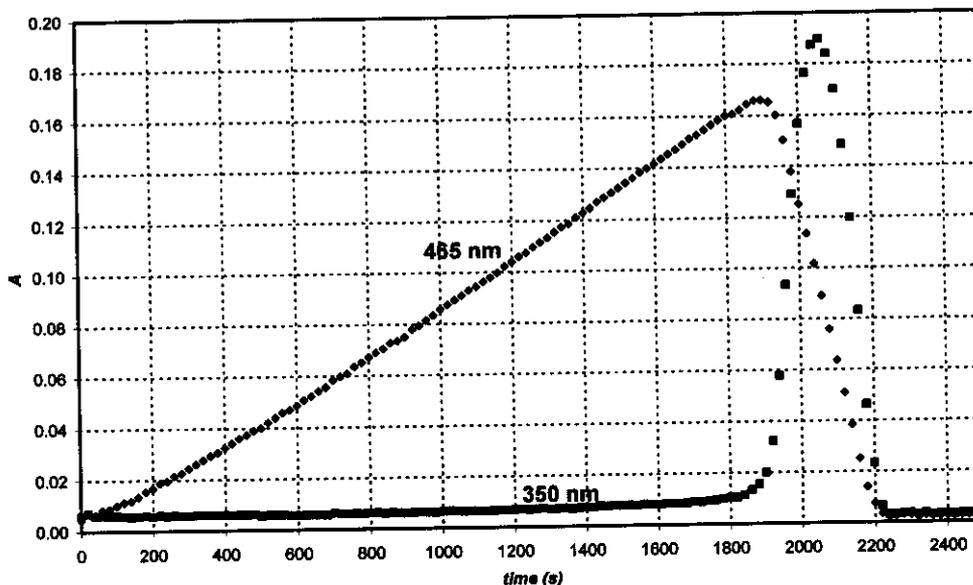
Suggest a balanced chemical equation for the rate determining step of the reactions that used an oxidizing agent.

Rate determining step:

When periodate ion (which is present as H_4IO_6^- in aqueous solution) was used as an oxidant for dithionate ion, the two kinetic curves depicted in the graph were detected at 75 °C in the same experiment at two different wavelengths. The initial concentrations were $[\text{H}_4\text{IO}_6^-] = 5.3 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$, $[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_6] = 0.0519 \text{ mol/dm}^3$, $[\text{HClO}_4] = 0.728 \text{ mol/dm}^3$. At 465 nm, only I_2 absorbs and its molar absorption coefficient is $715 \text{ dm}^3\text{mol}^{-1}\text{cm}^{-1}$. At 350 nm, only I_3^- absorbs and its molar absorption coefficient is $11000 \text{ dm}^3\text{mol}^{-1}\text{cm}^{-1}$. The optical path length was 0.874 cm.

Name:

Code: AZE-



- h) Write balanced chemical equations for the reactions that occur in the region where the absorbance increases at 465 nm, and in the region where the absorbance decreases at 465 nm.

Increase:

Decrease:

Calculate the expected time for the maximum absorbance of the kinetic curve measured at 465 nm.

t_{\max} :

Estimate the expected ratio of the slopes of the increasing and decreasing regions in the kinetic curve measured at 465 nm

Slope ratio:

Problem 8

7 % of the total

8a	8b	8c	8d	8e	8f	8g	8h	8i	Task 8
3	3	4	3	3	2	7	3	5	32

Ms. Z was a bright student, whose research project was to measure the complexation of all lanthanide(III) ions with newly designed complexing ligands. One day she monitored the UV-vis absorption with Ce(III) and a particularly poor complexing ligand in a spectrophotometer. She noticed that some small bubbles had formed in the closed cell by the end of the 12-hour experiment. Soon she realized that the presence of the ligand is not necessary to see the bubble formation, and continued her experiments with an acidified CeCl₃ solution. Bubble formation never occurred when she just kept the solution in the spectrophotometer without turning on the instrument. Next, Ms. Z used a small quartz flask, in which she dipped a chloride ion selective electrode and could also withdraw samples regularly for spectrophotometric measurements. She calibrated the chloride ion selective electrode using two different NaCl solutions and obtained the following results:

$c_{\text{NaCl}} \text{ (mol/dm}^3\text{)}$	$E \text{ (mV)}$
0.1000	26.9
1.000	-32.2

- a) Give a formula to calculate the chloride ion concentration of an unknown sample based on the electrode voltage reading (E).

[Cl⁻] =

Ms. Z also determined the molar absorption coefficient for Ce³⁺ ($\epsilon = 35.2 \text{ dm}^3\text{mol}^{-1}\text{cm}^{-1}$) at 295 nm, and, as a precaution, also for Ce⁴⁺ ($\epsilon = 3967 \text{ dm}^3\text{mol}^{-1}\text{cm}^{-1}$).

- b) Give a formula to calculate the Ce³⁺ concentration from an absorbance reading at 295 nm (A) measured in a solution containing CeCl₃ (cuvette path length: 1.000 cm).

[Ce³⁺] =

Ms. Z prepared a solution which contained 0.0100 mol/dm³ CeCl₃ and 0.1050 mol/dm³ HCl, and began her experiment by turning on a quartz lamp. HCl does not absorb at 295 nm.

- c) What were the expected initial absorbance and voltage readings?

$A_{295\text{nm}} =$

$E =$

Name:

Code: AZE-

Before the quantitative experiment Ms. Z collected the gas formed into a carefully neutralized solution of methyl orange (acid-base and redox indicator). Although she saw bubbles going through the solution, the colour did not change or fade even after a day.

- d) Give the formula of two gases, comprised of elements in the illuminated sample, which could not be present given the results of this experiment.

During her quantitative experiment she recorded the absorbance and voltage values regularly. The uncertainty of the spectrophotometric measurements is ± 0.002 and the accuracy of the voltage measurements is ± 0.3 mV.

time (min)	0	120	240	360	480
$A_{295\text{ nm}}$	0.3496	0.3488	0.3504	0.3489	0.3499
E (mV)	19.0	18.8	18.8	19.1	19.2

- e) Estimate the average rate of change in the concentrations of Ce^{3+} , Cl^- , and H^+ .

$d[\text{Ce}^{3+}]/dt =$

$d[\text{Cl}^-]/dt =$

$d[\text{H}^+]/dt =$

The following day, Ms. Z used an intense monochromatic light beam (254 nm) with an intensity of 0.0500 W. She passed this light through a 5-cm long quartz photoreactor filled with the same acidic CeCl_3 solution she had used before. She measured the molar absorption coefficient for Ce^{3+} ($\epsilon = 2400 \text{ dm}^3\text{mol}^{-1}\text{cm}^{-1}$) at 254 nm.

- f) What percentage of the light is absorbed in this experimental setup?

The equipment allowed her to lead the gas first through a drying tube that removed traces of water vapour and then into a closed chamber, whose volume was 68 cm^3 . The chamber was equipped with a high-precision manometer and an igniter. She first filled the chamber with dry argon to a pressure of 102165 Pa and then she turned on the lamp. In 18.00 hours, the pressure reached 114075 Pa. The temperature of the equipment was $22.0 \text{ }^\circ\text{C}$.

Name:

Code: AZE-

g) Estimate the amount of substance of the gas collected in the chamber.

n_{gas} :

At this point, Ms. Z turned off the light and pressed the ignition button. When the chamber cooled down to the initial temperature, the final pressure was 104740 Pa.

Suggest the formula(s) of the gas(es) formed and collected, and give the balanced equation for the original chemical reaction taking place under illumination.

Gas(es):

Reaction:

h) What would be the final pressure after the ignition if the chamber was being filled for 24 hours before ignition?

$p =$

i) Estimate the quantum yield of product formation in the Ce(III) solution.

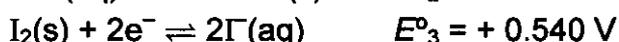
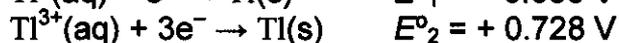
Quantum yield:

Problem 9**6 % of the total**

9a	9b	9c	9d	Task 9
12	21	15	9	57

Thallium exists in two different oxidation states: Tl^+ and Tl^{3+} . Iodide ions can combine with iodine to form tri-iodide ions (I_3^-) in aqueous solutions,

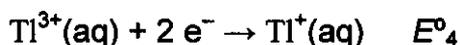
The standard redox potentials for some relevant reactions are:



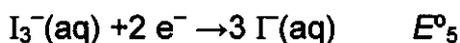
The equilibrium constant for the reaction $I_2(s) + I^-(aq) \rightarrow I_3^-(aq)$: $K_1 = 0.459$.

Use $T=25 \text{ }^\circ\text{C}$ throughout this problem.

a) Calculate the redox potential for the following reactions:



$E^{\circ}_4 =$



$E^{\circ}_5 =$

b) Write empirical formulae for all theoretically possible neutral compounds that contain one thallium ion and any number of iodide and/or tri-iodide ion(s) as anion(s).

There is an empirical formula that could belong to two different compounds. Which one?

Name:

Code: AZE-

Based on the standard redox potentials, which of the two isomers mentioned above is the stable one at standard conditions? Write the chemical reaction for the isomerisation of the other isomer of thallium iodide.

More stable:

Isomerisation:

Complex formation can shift this equilibrium. The cumulative complex formation constant for the reaction $Tl^{3+} + 4I^- \rightarrow TlI_4^-$ is $\beta_4 = 10^{35.7}$

- c) Write the reaction that takes place when a solution of the more stable isomer of thallium iodide is treated with an excess of KI. Calculate the equilibrium constant for this reaction.

Reaction:

K_2 :

If the solution of the more stable isomer is treated with a strong basic reagent precipitation of a black substance can be observed. After the water content of the precipitate is removed, the remaining material contains 89.5% thallium (by mass).

- d) What is the empirical formula of this compound? Show your calculations. Write a balanced equation for its formation.

Name:

Code: AZE-

Formula:

Equation:

Фамилия: _____

Код: AZE-_____

с) **Может ли** в сосуде находиться разбавленный раствор уксусной кислоты?

Поставьте галочку в нужной клетке.

Для справки: для уксусной кислоты $pK_a = 4.76$.

Да

Нет

Если вы ответили «Да», рассчитайте pH раствора (или, по крайней мере, попытайтесь оценить его), приведите ваши расчеты.

Расчеты:

pH: