



**Комплект задач  
Beyond Olympiad #1  
по химии  
I тур  
9 класс  
29 июня 2021**

## Регламент олимпиады

На выполнение олимпиады Вам дается 4 часа. Начало олимпиады: 10:00 по времени Алматы, конец олимпиады – 14:00. По завершении ваши решения необходимо отправить с помощью платформы Gradescope.com. (Инструкции по отправке см. ниже)

### Инструкция по выполнению и оформлению:

Выполнять задания Вы можете в любом порядке, при этом **необходимо**

- Оформлять каждую задачу на отдельном листе
- Вверху листа писать номер задачи, но при этом **запрещается** писать ваше имя, фамилию, инициалы или какие-либо другие личные идентификаторы
- Если решение задачи требует больше одного листа, то в конце страницы следует написать (Продолжение задачи номер \_\_ на следующей странице). При этом вверху следующей страницы необходимо пометить, что это является продолжением определенной задачи
- **Рекомендуется** придерживаться понятного и разборчивого почерка, избегать излишних зачеркиваний

### Инструкции по отправке решений:

Необходимо завершить выполнение заданий не позднее 14:00 по времени Алматы. По окончанию работы, вам необходимо объединить сканы ваших решений в один pdf-файл. Отметим, что в Google Play и AppStore есть множество приложений (PDF scanner, scanner app, scanbot и другие), предназначенных для этих целей. PDF-файл необходимо загрузить на сайт Gradescope.com. Код курса: **P536BW**.

### Памятка участнику:

- Из канцелярских принадлежностей **разрешаются**: карандаши, ручки, ластик, линейка.
- **Разрешается** пользоваться калькулятором (простым, инженерным, графическим), периодической таблицей (на пятой странице) и таблицей растворимости.
- Ответы **следует** округлять до четырех значащих цифр.

- **Строго запрещается** пользоваться помощью посторонних людей и дополнительной литературой, включая интернет-источники и учебные пособия.
- Попытки списывания и нарушения академической честности будут наказаны **баном** на ask.bc-pf.org сроком на год.

Результаты будут оглашены в течении 21 дня после окончания Олимпиады.

При наличии вопросов по проведению олимпиады следует также писать на почту [olympiads@bc-pf.org](mailto:olympiads@bc-pf.org) или в официальные аккаунты соц. сетей BEYOND CURRICULUM

***Организаторы, составители задач и жюри олимпиады:***

- Абдугафарова Кибриянур, выпускница GALAXY IS
- Есенгазин Азамат, студент NU
- Копенов Нурлыхан, студент KAIST
- Мельниченко Даниил, студент KAIST
- Молдагулов Галымжан, студент KAIST
- Нурпейсов Олжас, студент KAIST
- Турсын Нуржан, студент PTE

**Желаем успехов!**

## Данный комплект состоит из 5 задач:

Задача 1. Сталь и чугун.....	6
Задача 2. Газовый эксперимент .....	7
Задача 3. Неизвестный металл .....	8
Задача 4. Оптическая изомерия и $S_N2$ реакции .....	9
Задача 5. Немного химической термодинамики.....	12

Номер задачи	Максимальный балл за задачу	Вес задачи
1	8	12
2	14	22
3	29	22
4	15	22
5	14	22

### Что означает эта таблица?

Исходя из этой таблицы, Вы можете видеть, что каждая задача имеет свой удельный вес. То есть, один балл одной задачи не эквивалентен одному баллу другой задачи. Внутри каждой задачи подсчитывается ваш балл, согласно разбалловке составителя, затем по пропорции находится ваш окончательный балл за задачу.

Удельный вес каждой задачи согласован каждым членом жюри.

# Периодическая таблица

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

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



## Задача 1. Сталь и чугун

---

В древности освоение техники получения железа из железной руды послужило началом железного века. Для восстановления различных оксидов железа углем обычно требуется температура около  $1400^{\circ}\text{C}$ , которой в древнее время нельзя было достичь с помощью обычного костра. Позже люди освоили сыродутные печи, с помощью которых можно было получать 'железо'. Материал, который обычно называют 'железом', как правило является сталью или чугуном, представляющими из себя сплавы железа с углеродом. При содержании углерода от 0.3% до 2.14% по массе сплав называют сталью, а при содержании углерода выше 2.14% его называют чугуном.

Так, в лаборатории завалялась смесь оксидов железа  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  массой 160.4 г. Юный химик, вдохновившись историей получения железа, решил повторить подобные опыты, а также проверить состав полученного образца сплава. Сначала он нагревал смесь оксидов в атмосфере **(реакция 1)**, насыщенной кислородом, в результате чего масса смеси возросла на 3.6 г. Далее для получения сплава химик нагрел смесь с избытком угля **(реакция 2)** до нужной температуры. Для определения состава полученного сплава наш герой погрузил сплав в избыток соляной кислоты ( $\text{HCl}$ ) **(реакция 3)**. Масса нерастворившегося остатка составила 1.7482 г.

1. Напишите три упомянутых уравнения химических реакций. **[3 балла]**
2. Определите состав сплава, тип сплава (чугун или сталь), а также начальную массу взятого углерода, принимая во внимание, что все реакции проходят полностью. **[5 баллов]**

**[8 баллов]**

## Задача 2. Газовый эксперимент

---

Химик-инженер Ерасыл решил спроецировать малую модель промышленной нефтегазовой установки. В качестве сосуда он решил использовать снабженный барометром термос объёмом 14 л. Внутрь он закачал двухкомпонентную газовую смесь, плотность которой составила 1.217 г/л при температуре 0°C и давлении 1 атм. Затем в смесь постепенно начали вводить газообразный хлороводород, при этом постоянно поддерживая температуру при 0°C. В ходе данного процесса на дне сосуда стало накапливаться твёрдое вещество, а показатели давления начали постепенно уменьшаться. В момент, когда давление достигло своего минимального значения, плотность газа в сосуде составила 0.1786 г/л. При дальнейшем введении хлороводорода образование твёрдого вещества прекратилось, а давление при этом стало увеличиваться. Как только давление поднялось до исходного значения, Ерасыл рассчитал плотность газа в сосуде, и она составила 1.4 г/л.

Какие два вещества и в каких количествах находились в газовой смеси? Для расчётов используйте закон идеального газа  $PV = \nu RT$ .

**[14 баллов]**

### Задача 3. Неизвестный металл

Металл **X** является довольно распространенным в природе. Металл **X** довольно легко растворяется в разбавленной серной кислоте  $H_2SO_4$ , образуя раствор вещества **A** (**реакция 1**). Главной проблемой раствора **A** является нестабильность на воздухе. Так, раствор **A** поддается окислению на воздухе, образуя раствор с мелкодисперсным осадком вещества **B** на поверхности (**реакция 2**). Для того, чтобы предохранить раствор **A** от окисления, к нему часто добавляют раствор сульфата аммония,  $(NH_4)_2SO_4$ , и, кристаллизуя продукт, получают сине-зеленые кристаллы соли **C**, широко используемую в количественном анализе/титровании (**реакция 3**). Существует и другой способ предотвращения окисления вещества **A**. К веществу **A** добавляют цикlopentadiен  $C_5H_6$  и диэтиламин  $(C_2H_5)_2NH$ , в результате чего образуются желто-оранжевые кристаллы стабильного вещества **D** (**реакция 4**). Помимо этого, металл **X** может проявлять весьма необычные степени окисления. Так, при добавлении гидроксида калия с бромом  $KOH/Br_2$  к раствору вещества **B** образуется красно-фиолетовый раствор вещества **E** (**реакция 5**). Вещество **E** устойчиво исключительно в щелочных растворах и имеет очень сильные окислительные свойства. Если добавить серную кислоту к раствору вещества **E**, из раствора выделится газ **F** (**реакция 6**). Из раствора вещества **B** можно получить большое множество различных комплексных соединений. Так, сначала немного подкисляют раствор **B** (**реакция 7**) серной кислотой для растворения мелкого осадка вещества **B**, к нему добавляют смесь оксалата бария/калия  $BaC_2O_4/K_2C_2O_4$ , в результате чего образуются светло-зеленые кристаллы вещества **G** (**реакция 8**). Если оставить кристаллы вещества **G** на свету, вещество желтеет, образуя соединение **H** и углекислый газ  $CO_2$  (**реакция 9**).

1. Напишите все реакции, а также формулы всех веществ если известно, что:

- Диэтиламин  $(C_2H_5)_2NH$  выступает в роли основания
- Массовая доля углерода (C) и металла **X** в соединении **H** составляет 15.48% и 18.06% соответственно.
- Массовая доля углерода (C) и металла **X** в соединении **H** составляет 16.48% и 12.81% соответственно.
- Вещество **B** содержит 2 вида разных анионов.
- Газ **F**, является одним из главных компонентов воздуха.

2. Нарисуйте структуру вещества **D**.

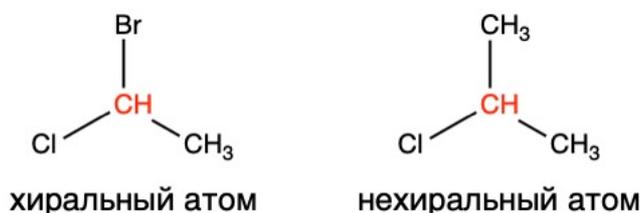
[29 баллов]

## Задача 4. Оптическая изомерия и S<sub>N</sub>2 реакции

С первых уроков органической химии школьники знакомятся с понятием изомерии – явлением, характеризующимся существованием одинаковых по атомному составу и молекулярной массе, но различающихся по строению или расположению атомов в пространстве молекул.

С изомерией положения функциональной группы и геометрической изомерией Вы наверняка знакомы со школьной скамьи, но одним из самых «ужасных» видов изомерии считается оптическая изомерия. На самом же деле, найти и установить её довольно легко.

Оптическая изомерия возникает только в случаях, когда в цепочке присутствует один или несколько хиральных центров – атомов углерода, при которых расположены четыре разные заместители.



1. Выведите общую формулу для количества изомеров для молекул с  $n$  хиральными атомами углерода. С помощью этой формулы вы должны суметь рассчитать максимально возможное количество изомеров, зная количество хиральных центров. **[1 балл]**



В молекуле винной кислоты присутствуют два хиральных центра.

2. Обведите хиральные центры в молекуле винной кислоты. **[1 балл]**

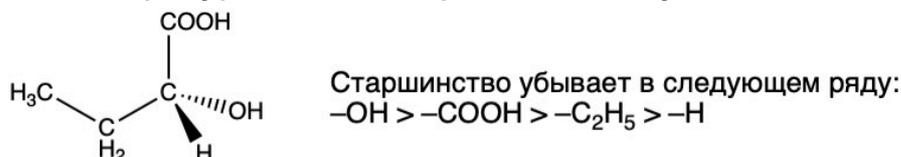
3. В случае, если формула в пункте (1) выведена правильно, то для винной кислоты она будет давать завышенный результат. Объясните причину. **[1 балл]**

На плоскости оптические изомеры отображаются с помощью жирной и пунктирной связей. Жирная связь демонстрирует, что связь направлена в сторону наблюдателя, а пунктирная – в сторону от наблюдателя.

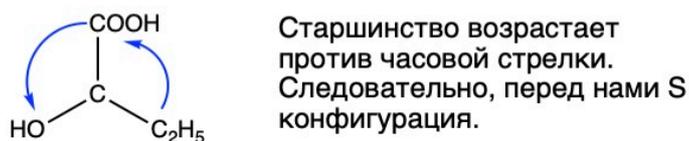
4. Изобразите все изомеры винной кислоты **[3 балла]**

Чтобы различать оптические изомеры на письме, существует общепринятая относительная конфигурация. Она определяется следующим образом:

- Самый младший по старшинству заместитель располагается в пространстве таким образом, что для наблюдателя он находится сзади хирального углерода
- При таком угле обзора, наблюдатель видит только три оставшихся заместителя, которые располагает по старшинству. Если старшинство заместителей возрастает по часовой стрелке, то изомеру присваивается относительная конфигурация R. В противном случае – S.

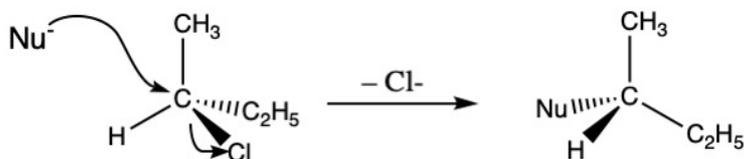


В результате вращения от себя наименьшего по старшинству заместителя, наблюдатель видит следующую картину:



5. Определите конфигурацию для каждого хирального центра для каждого изомера винной кислоты. **[3 балл]**

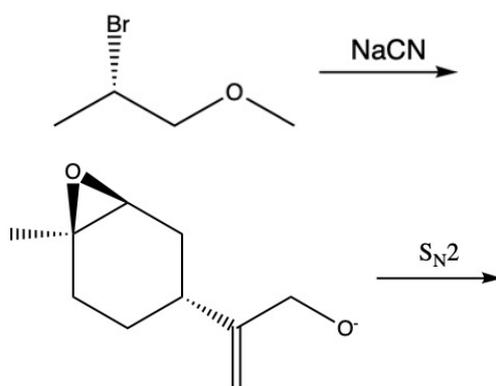
В реакциях по типу  $\text{S}_{\text{N}}2$  происходит инверсия оптической конфигурации, так как нуклеофил атакует углерод с противоположной стороны от уходящей группы.



6. Определите продукт следующих реакций. **[6 баллов]** Определите конфигурацию хиральных центров в реагенте и продукте, если известно, что старшинство заместителей определяется следующим образом:

- Старше будет тот заместитель, у которого атом, присоединений к хиральному центру, обладает наибольшей молярной массой
- Если на первом уровне мы наблюдаем два одинаковых атома, то сравниваем атомы на втором уровне (второй атом в заместителе от хирального центра)

- Если мы видим двойную связь, то считаем её как две связи, ведущие к одному атому. Например,  $-C=O$  будет рассматриваться как две  $-C-O$



**[15.5 баллов]**

## Задача 5. Немного химической термодинамики

---

Любая химическая реакция сопровождается выделением, либо поглощением тепла. Для некоторой реакции:



расчёт свободной энергии Гиббса возможно произвести, используя следующее уравнение:

$$\Delta_r G = \Delta_r H - T\Delta_r S$$

Физический смысл данного уравнения заключается в том, что некоторое количество теплоты ( $\Delta_r H = - \text{тепло}$ ), переданное системе рассеивается в окружающую среду в виде тепла ( $T\Delta_r S$ ), а оставшаяся часть, представляющая из себя полезную энергию ( $\Delta_r G$ ), расходуется непосредственно на химическое превращение.

С точки зрения химического равновесия энергия Гиббса ( $\Delta_r G$ ) способна количественно показать, куда сместится равновесие той или иной реакции: в сторону образования продуктов или реагентов. Для вышеупомянутого химического превращения расчёт константы равновесия ( $K_p$ ) производится из по формуле:

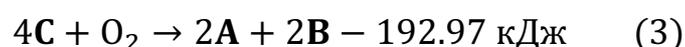
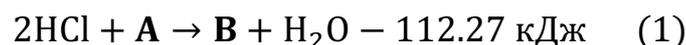
$$K_p = \frac{p(C)^c \cdot p(D)^d}{p(A)^a \cdot p(B)^b}$$

а взаимосвязь энергии Гиббса с константой равновесия можно записать следующим образом:

$$\Delta_r G = -R \cdot T \cdot \ln(K_p)$$

где  $R$  это универсальная газовая постоянная  $8.314 \text{ Дж}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$ , а  $T$  – температура системы в кельвинах.

Некоторый каталитический процесс при  $625^\circ\text{C}$  может быть описан тремя уравнениями реакции (с коэффициентами):



**A, B, C** – бинарные вещества, **C** содержит 64.19 масс. % металла.

1. Напишите общее уравнение реакции, катализируемой соединениями металла. [1 балл]

2. Определите состав соединений **A-C**. Ответ подтвердите расчетом. **[3 балла]**
3. Выразите  $\Delta_r H$  катализируемой реакции из пункта 1 через теплоты отдельных стадий. **[2 балла]**
4. Предложите по одному лабораторному и промышленному способу получения целевого продукта катализируемой реакции. **[2 балла]**
5. Стехиометрическую смесь исходных веществ для проведения реакции ввели в реактор при давлении 1 атм и температуре 625°C, выход продукта составил 2/3. Найдите константу равновесия ( $K_p$ ) катализируемой реакции в условиях эксперимента. **[3 балла]**
6. Рассчитайте значение энергии Гиббса ( $\Delta_r G$ ) и энтропии ( $\Delta_r S$ ) реакции при условиях что все компоненты системы находятся в газовой фазе, а давление и температура системы равны 1 атм и 625°C соответственно. **[3 балла]**

**[14 баллов]**