

## Константы

Скорость света, $c$	$2.998 \times 10^8 \text{ м с}^{-1}$
Число Авогадро, $N_A$	$6.022 \times 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Элементарный заряд, $e$	$1.602 \times 10^{-19} \text{ Кл}$
Масса электрона, $m_e$	$9.109 \times 10^{-31} \text{ кг}$
Универсальная газовая постоянная, $R$	$8.314 \text{ Дж моль}^{-1} \text{ К}^{-1}$
Постоянная Больцмана, $k_B$	$1.381 \times 10^{-23} \text{ Дж К}^{-1}$
Постоянная Фарадея, $F$	$96485 \text{ Кл моль}^{-1}$
Постоянная Планка, $h$	$6.626 \times 10^{-34} \text{ Дж с}$
Число пи, $\pi$	3.141 592 653 589 793
Температура в Кельвинах (К)	$T_K = T_{\text{°C}} + 273.15$
Ангстрем, $\text{Å}$	$1 \times 10^{-10} \text{ м}$
пико, п	$1 \text{ пм} = 1 \times 10^{-12} \text{ м}$
нано, н	$1 \text{ нм} = 1 \times 10^{-9} \text{ м}$
микро, мк	$1 \text{ мкм} = 1 \times 10^{-6} \text{ м}$

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

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



## Регламент олимпиады:

Перед вами находится комплект задач Республиканской олимпиады 2024 года по химии. **Внимательно** ознакомьтесь со всеми нижеперечисленными инструкциями и правилами. У вас есть **5 астрономических часов (300 минут)** на выполнение заданий олимпиады. Ваш результат — сумма баллов за каждую задачу, с учетом весов каждой из задач.

Вы можете решать задачи в черновике, однако, не забудьте перенести все решения на листы ответов. Проверяться будет **только то, что вы напишете внутри специально обозначенных полей**. Черновики проверяться **не будут**. Учтите, что вам **не будет выделено** дополнительное время на перенос решений на бланки ответов.

Вам **разрешается** использовать графический или инженерный калькулятор.

Вам **запрещается** пользоваться любыми справочными материалами, учебниками или конспектами.

Вам **запрещается** пользоваться любыми устройствами связи, смартфонами, смарт-часами или любыми другими гаджетами, способными предоставлять информацию в текстовом, графическом и/или аудио формате, из внутренней памяти или загруженную с интернета.

Вам **запрещается** пользоваться любыми материалами, не входящими в данный комплект задач, в том числе периодической таблицей и таблицей растворимости. На **титульной странице** предоставляем единую версию периодической таблицы.

Вам **запрещается** общаться с другими участниками олимпиады до конца тура. Не передавайте никакие материалы, в том числе канцелярские товары. Не используйте язык жестов для передачи какой-либо информации.

За нарушение любого из данных правил ваша работа будет **автоматически** оценена в **0 баллов**, а прокторы получат право вывести вас из аудитории.

На листах ответов пишите **четко и разборчиво**. Рекомендуется обвести финальные ответы карандашом. **Не забудьте указать единицы измерения (ответ без единиц измерения не будет засчитан)**. Соблюдайте правила использования числовых данных в арифметических операциях. Иными словами, помните про существование значащих цифр.

Если вы укажете только конечный результат решения без приведения соответствующих вычислений, то Вы получите **0 баллов**, даже если ответ правильный. Аналогично, любой ответ приведенный без обоснования будет оценен в **0 баллов** (за исключением тестовых вопросов).

Решения этой олимпиады будут опубликованы на сайтах [www.qazcho.kz](http://www.qazcho.kz) и [daryn.kz](http://daryn.kz).

Рекомендации по подготовке к олимпиадам по химии есть на сайте [www.kazolymp.kz](http://www.kazolymp.kz).

## Уравнения и законы

Уравнение Менделеева-Клапейрона

$$pV = nRT$$

Энтальпия,  $H$

$$H = U + pV$$

Изменение энтропии

$$\Delta S = \int \frac{dQ_{\text{rev}}}{T}$$

Энергия фотона

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

Уравнение Нернста

$$E = E^\ominus - \frac{RT}{nF} \ln \frac{c_{\text{ред}}}{c_{\text{ок}}}$$

Уравнение Аррениуса

$$k = Ae^{-E_a/RT}$$

Константа равновесия реакции  $aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$

$$K = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$$

Волновое число,  $\tilde{\nu}$

$$\tilde{\nu} = \frac{1}{\lambda}$$

Объем сферы с радиусом  $r$

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3$$

## Задача №1. Разминка

Всего	Вес(%)
6	3

Смесь, состоящая из газов А (неполярное вещество) и В (кислый оксид), массой 260 г имеет объем 112 л (при н.у.). Определите химические формулы неизвестных газов, если соотношение химических количеств А и В равно 3 : 2, а молярных масс — 1 : 1.455. В этой задаче считайте все газы идеальными.

## Задача №2. Неизвестные газы

Всего	Вес(%)
14	4

Газовая смесь А (в одной молекуле содержится 2 атома) и В (в молекуле содержится ковалентная неполярная связь) имеет плотность 1.29 г/л (при н.у.). Определите неизвестные газы, если массовая доля А в смеси равна 46.713%, а  $M(A) : M(B) = 1.071$ . В этой задаче считайте все газы идеальными.

## Задача №3. Неизвестные кристаллогидраты

3.1	3.2	3.3	Всего	Вес(%)
26	22	2	50	14

9.81 г красно-розовых кристаллов А были нагреты до достижения постоянной массы. Масса кристаллов уменьшилась до 67% от начальной, а их цвет изменился на зеленый, образовав вещество Б (*p-ция 1*). Полученный твердый остаток растворили в воде и добавили избыток нитрата серебра, после чего выпал бледно-желтый осадок В (*p-ция 2*) массой 11.28 г. После фильтрования раствора к нему добавили поташ, после чего образовался осадок Г массой 3.18 г и углекислый газ (*p-ция 3*). Осадок отфильтровали из раствора, и начали прокалывать на открытом воздухе. После окончания процесса, был получен твердый остаток Д (*p-ция 4*) массой 2.41 г.

При сплавлении вещества Б с натриевой солью Е (массовая доля натрия равна 22.33%) при 200 °С и пропускании фтора над ними, образуется комплексное вещество Ж (с координационным числом равным 6-и) и газ (*p-ция 5*), который далее конденсируется до коричневой жидкости З. Однако, при пропускании газа И над веществом Б, образуется комплекс К (массовая доля металла равна 18.38%) с таким же координационным числом в комплексе (*p-ция 6*), как и у вещества Ж. Если кипятить раствор, содержащий 6.42 г вещества К, на протяжении долгого времени, образуется газ И объемом 2.24 л (при н.у.) и осадок Л массой 3.12 г (*p-ция 7*). При пропускании газа М через такой же раствор вещества К, образуется серый осадок Н (*p-ция 8*) массой 1.18 г и раствор, содержащий два образованных вещества.

1. Определите неизвестные вещества А–Н.
2. Напишите все описанные химические реакции.
3. Назовите два отличия между координационными сферами комплексов Ж и К.

## Задача №4. Нитраты

4.1	4.2	4.3	Всего	Вес(%)
8	14	5	27	10

Смесь двух неизвестных нитратов массой 157.3 г (Смесь 1) была прокалена, после чего масса твердого остатка (Смесь 2) составила 83.3 г. Твердый остаток промыли водой, и при этом его масса уменьшилась до 32.7 г (Смесь 3). Нерастворившуюся часть остатка (Смесь 3) поместили в раствор (рН = 1) соляной кислоты объемом 16 л, и образовался газ объемом 2.24 л (н.у.). К раствору, полученному после промывки Смеси 2, добавили избыток гидроксида натрия, после чего образовалось 23.6 г (Смесь 4) осадка. Найдите:

1. Химические формулы нитратов в исходной смеси;
2. Массовые доли компонентов в Смесьях 1–4;
3. Массовые доли солей в растворе, полученном после промывки Смеси 2, если для промывки использовали 149.4 г воды.

## Задача №5. Изомеры комплексов

5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	Всего	Вес(%)
1	3	3	1	2	10	15

0.648 г бинарного вещества А, содержащего переходный металл X, растворили в воде и добавили избыток этилендиамина ( $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$ ), карбоната лития и перекиси водорода. В результате реакции количественно образовалось 1.371 г октаэдрического комплекса Б, содержащего 20.41% азота, 21.46% металла X и 21.86% углерода по массе; в нем нет лития. Б, как и А, дает белый осадок с нитратом серебра, при этом если взять одинаковое число молей А и Б, А дает вдвое больше осадка чем Б. Б содержит два вида лигандов, оба — бидентантные, поэтому оно имеет форму пропеллера и существует в виде двух стереоизомеров. При реакции Б с соляной и азотистой кислотой, соответственно, образуются комплексы В и Г, содержащие такой же контрион как и Б; при этом выделяется бесцветный газ Д, дающий осадок с известковой водой. Массовая доля азота составляет 19.57% в В и 27.34% в Г. Только один из лигандов вошел в реакцию. Все атомы азота образуют связь с металлом в Г. Г, так же как и Б и В, существует в виде двух оптических изомеров, и именно это соединение послужило первым доказательством существования данного вида изомерии, ведь при кристаллизации оно спонтанно образует кристаллы, обогащенные в одном из изомеров. Использование таких обогащенных кристаллов в качестве затравки позволяет в конечном счете получить чистые оптические изомеры Г.

1. Установите, к какой группе принадлежит неметалл в А и формулу Д, основываясь на описанных качественных реакциях.
2. Установите, какие лиганды присутствуют в Б. Используя массовые доли, установите точное число каждого из лигандов в комплексе. Рассчитайте молярную массу металла в Б и определите, что это за металл. Определите неметалл в А и полную структуру Б.
3. Приведите структурные формулы одного из оптических изомеров В и Г (помните, что контрион тот же), зная, что тот лиганд, что остался от Б, находится в такой же относительной ориентации вокруг металла. Предскажите, во сколько раз увеличится количество осадка, которое 1 моль В дает с нитратом серебра по сравнению с 1 молем Б.
4. Изобразите два оптических изомера Г.

Если же вести синтез используя А, избыток аммиака и пропускать кислород через раствор, образуется коричневый катион Д, содержащий 43.75 % азота и 36.81 % металла X по массе; в нем содержатся два атома металла. Дальнейшее окисление пероксосульфатной кислотой ведет к окислению мостикового лиганда с образованием такого же по строению комплекса, однако он имеет больший на 1 единицу заряд за счет превращения мостикового лиганда в радикал, что дает зеленый цвет полученному катиону Ж.

5. Учитывая использованные реагенты, задумайтесь что здесь является окислителем, что является восстановителем и какой компонент лучше всего подходит под мостиковый лиганд. Используя массовые доли, определите строение Д и Ж.

## Задача №6. Коллигативные свойства

6.1	6.2	6.3	Всего	Вес(%)
5	2	3	10	12

**37 мл** раствора серной кислоты, плотность которого составляет 1.810 г/мл, добавили к **883.0 мл** воды; получившийся раствор кипит при температуре на 4.400 °С выше т. кип. воды (100.0 °С при 1.000 атм). Если через **117.0 мл** такого же раствора, с плотностью 1.810 г/мл, пропустить **250 г** серного ангидрида, сначала, вся вода будет реагировать с образованием серной кислоты, а затем серная кислота — с образованием пиросерной кислоты ( $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7$ ); такой раствор называют олеумом, он содержит смесь серной и пиросерной кислоты без воды. При этом не весь серный ангидрид вступил в реакцию, и если добавить **37.00 мл** получившегося олеума плотностью 2.000 г мл<sup>-1</sup> к **883.0 мл** воды, температура кипения данного раствора будет на 6.050 °С выше т. кип. воды. Если же в **900.0 мл** воды добавить **10.00 мл** такого олеума и эквивалентное количество карбоната кальция для нейтрализации, а потом довести массу растворителя ровно до **1.000 кг**, полученный раствор будет кипеть на 0.7000 °С выше т. кип. воды.

1. Вычислите массовую долю серной кислоты в изначальном растворе и массовые доли серной и пиросерной кислоты в получившемся олеуме. Также рассчитайте конечную массу раствора после пропускания серного ангидрида и долю прореагировавшего серного ангидрида, если плотность воды составляет 1.000 г мл<sup>-1</sup>, а эбулиоскопическая постоянная воды составляет 2.146 °С кг моль<sup>-1</sup>. Серная кислота полностью диссоциирует на протоны и сульфат при этих условиях.
2. Рассчитайте разницу в температуре кипения если бы весь получившийся сульфат кальция диссоциировал на ионы. Зная экспериментальную разницу температур кипения, рассчитайте степень диссоциации сульфата кальция на ионы как отношение концентрации ионов  $\text{Ca}^{2+}$  к общей концентрации кальция; в описанных условиях сульфат кальция полностью растворим и не присутствует в виде твердого вещества, а лишь образует ионную пару  $\text{CaSO}_4$  (считайте ее как одну молекулу).
3. Рассчитайте, сколько еще граммов серного ангидрида или воды нужно прибавить к **10.00 граммам** получившегося выше олеума, чтобы получить олеум с массовой долей серной кислоты равной 10, 30, 50, 70 или 90%.

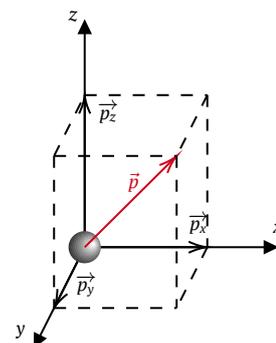
## Задача №7. Равноправие в термодинамике

7.1	7.2	7.3	7.4	Всего	Вес(%)
6	14	16	5	41	12

**Теорема о равномерном распределении** является одной из основных в термодинамике. Эта теорема гласит, что каждый тип движения молекулы в одном из направлений при температуре  $T$  вносит вклад в размере  $\frac{1}{2}kT$  в величину ее внутренней энергии,  $U$ . Наиболее важные типы движения молекул — трансляция, вращение и вибрация.

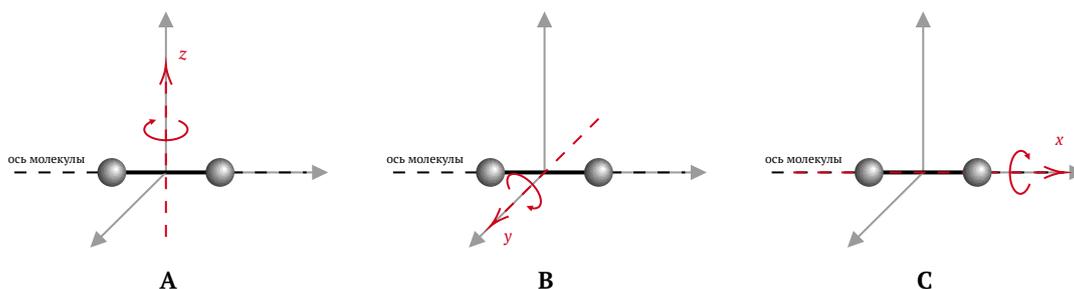
**Трансляция** — перемещение молекулы. Любая свободная молекула газа может перемещаться в любом направлении, а ее вектор импульса,  $\vec{p}$ , может быть разбит на три составляющих вектора, как показано на рисунке справа. То есть, перемещение молекулы в любом из направлений состоит из различных вкладов движения по трём взаимоперпендикулярным направлениям  $x$ ,  $y$  и  $z$ .

Возможность молекулы при трансляции перемещаться в определённом измерении является трансляционной **степенью свободы**,  $f_T$ , этой молекулы. Таким образом, молекула, движущаяся в  $N$  различных измерений имеет  $N$  трансляционных степеней свободы, а движение в каждом из этих измерений, согласно теореме о равномерном распределении, вносит вклад в размере  $\frac{1}{2}kT$  во внутреннюю энергию этой молекулы, где  $k = \frac{R}{N_A}$ .



1. Рассчитайте трансляционную энергию (в Дж) свободного атома аргона в трёхмерном пространстве при температуре  $T = 300$  К. Считая, что весь вклад трансляционной энергии переходит в кинетическую энергию движения атома аргона, рассчитайте его скорость при этой же температуре. Основываясь на полученных выражениях, выберите верные утверждения из приведенных в листе ответов.

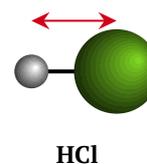
Следующий тип движения молекул — вращение. **Вращение** — это движение объекта, при котором все его точки движутся по концентрическим окружностям. Любой вращающийся объект имеет **ось вращения** — прямую, проходящую через центры этих окружностей. Поместим молекулу водорода ( $H_2$ ) в начало координат и посмотрим на возможные варианты ее вращения вокруг трёх взаимоперпендикулярных осей:



Возможность молекулы вращаться вокруг одной из  $N$  взаимоперпендикулярных осей вращения является вращательной **степенью свободы**,  $f_R$ . Такая молекула будет иметь  $N$  вращательных степеней свободы, каждая из которых вносит вклад в размере  $\frac{1}{2}kT$  во внутреннюю энергию молекулы, согласно теореме. Однако, у линейных молекул есть собственная **ось молекулы** (прямая, проходящая через центры всех атомов) вращение вокруг которой не приносит вращательной степени свободы (рисунок С). Таким образом, молекула водорода должна иметь **две** вращательных степени свободы, соответствующих вращениям А и В.

2. Для каждой молекулы газа, указанной в листе ответов, нарисуйте пространственную структуру и запишите число вращательных степеней свободы,  $f_R$ . Также, рассчитайте энергию вращения,  $E_R$  (в Дж), каждой из молекул при  $T = 300$  К, и запишите свои ответы в соответствующие поля в листе ответов.

**Вибрация** — наиболее сложный тип движения в молекулах. Сами по себе молекулы не вибрируют, вибрируют связи между атомами в них. К примеру, в молекуле хлороводорода HCl присутствует только одна связь, которая может вибрировать только в виде растяжения-сжатия (рисунок справа). Каждый тип вибрации, возможный для определенной молекулы дает вибрационную **степень свободы**,  $f_V$ , каждая из которых вносит вклад в размере  $\frac{1}{2}kT$  во внутреннюю энергию молекулы. Для молекул с числом атомов больше трёх графическим способом практически невозможно определить количество типов вибраций, из-за чего их рассчитывают по следующей формуле:



$$f_V = 3N - f_T - f_R$$

где  $f_V$ ,  $f_T$  и  $f_R$  — количество вибрационных, трансляционных и вращательных степеней свободы молекулы, а  $N$  — количество атомов в молекуле.

3. Рассчитайте количество вибрационных степеней свободы для молекул, приведенных в листе ответов. Рассчитайте энергию каждого вида движения для этих молекул и их общую внутреннюю энергию,  $U$ , при  $T = 300$  К. Считайте, что внутренняя энергия этих молекул складывается из вкладов трансляции, вращения и вибрации.
4. Известно, что вибрационная энергия молекул газа становится значительной только при достаточно высоких температурах ( $> 500$  К). При комнатной температуре ( $T = 298$  К) в каждом из двух одинаковых сосудов находятся углекислый газ и оксид азота (I). Какой из этих газов имеет более высокую мольную теплоемкость при данной температуре? Считайте, что внутренняя энергия газов определяется лишь трансляцией, вращением и вибрацией молекул.