

Химическая олимпиада имени Германа Гесса

Заключительный этап

Теоретический тур

Авторы задач пакета:

Алексей Тишкин, Алексей Чепига, Евгений Анохин, Данила Деянков, Григорий Степанов, Глеб Алёшин и Александр Соболев.

Методическая комиссия:

Анохин Евгений Олегович (Москва)

Водопетова Наталья Львовна (Москва)

Гавриков Александр Владимирович (Москва)

Евсюков Александр Игоревич (Санкт-Петербург)

Луковкина Анастасия Романовна (Москва)

Мещеряков Николай Вадимович (Москва)

Соболев Александр Григорьевич (Москва)

Степанов Григорий Александрович (Москва)

Тишкин Алексей Александрович (Москва)

Ушеров Андрей Ильич (Магнитогорск)

Москва, 15 марта 2022

Задача 1. Он вам не цвиттер-ион (Тишкин А.А.)

The crossword puzzle grid contains the following words:

- 1. Циклогексан
- 2. Гидратация
- 3. Логарифм
- 4. Ацидиметрия
- 5. Метаболит
- 6. Перенасыщение
- 7. Доля
- 8. Соленость
- 9. Берилл
- 10. Ингибитор
- 11. Ксенон
- 12. Никелин
- 13. Интеркаляция
- 14. Осмос
- 15. Консервант
- 16. Щелочь
- 17. Часы
- 18. Валентность

Поля ответов:

По горизонтали:	По вертикали
3. ЛОГАРИФМ	1. ЦИКЛОГЕКСАН
7. ДИСТИЛЛЯТОР	2. ГИДРАТАЦИЯ
9. БЕРИЛЛ	4. АЦИДИМЕТРИЯ
10. ИНГИБИТОР	5. МЕТАБОЛИТ
11. КСЕНОН	6. ПЕРЕНАСЫЩЕНИЕ
13. ИНТЕРКАЛЯЦИЯ	7. ДОЛЯ
14. ОСМОС	8. СОЛЕНОСТЬ
15. КОНСЕРВАНТ	11. КИСЛОТА
16. ЩЕЛОЧЬ	12. НИКЕЛИН
18. ВАЛЕНТНОСТЬ	17. ЧАСЫ

Вопросы по горизонтали:

3. Водородный показатель pH — мера определения кислотности растворов. Для вычисления pH нужно взять отрицательный десятичный ... от концентрации ионов H^+ . На клавиатуре стандартных инженерных калькуляторов пропущенное слово часто обозначается lg или log. Заполните пропуск.

7. Какой прибор позволяет очистить воду для использования в лаборатории?

9. Данный минерал используется как драгоценный камень в ювелирном деле. А непрозрачные камни могут использоваться в качестве источника получения 4-го элемента таблицы Менделеева.

10. Вещество, которое замедляет процесс химической реакции.

11. Этот химический элемент является «чужеродным среди благородных».

13. Обратимое включение некоторой группы атомов между другими. Например, вещество KC_{60} образовано благодаря этому процессу.

14. Обратный ОН — это один из методов получения безалкогольных напитков. Благодаря этому методу, например кальвадос, москатель не будут терять вкус или запах. Также этот метод реализован в домашних фильтрах для получения питьевой воды.

15. Вещества E200–E299 — это примеры ЕГО в качестве пищевых добавок. Например, E220 — это диоксид серы; E236 — муравьиная кислота; E252 — нитрат калия, а E260 — уксусная кислота.

16. Несмотря на то, что таллий находится в III группе таблицы Менделеева, TlOH является ЭТИМ неорганическим соединением.

18. Базовое химическое понятие, характеризующее количество связей, которые может образовать конкретный атом с атомами водорода.

Вопросы по вертикали:

1. Данное химическое вещество может быть и «креслом», и «ванной». Но с точки зрения анаграмм это НАГЛЕЦ+КИОСК.

2. Это процесс присоединения воды к молекулам или ионам.

4. В самом общем случае так можно назвать любой процесс титрования раствором кислоты.

5. Так можно назвать любое вещество, участвующее в процессе анаболизма или катаболизма.

6. Этот термин обозначает, например, метастабильное состояние раствора, в котором присутствует больше растворённого вещества, чем максимально возможное.

7. Короткое определение для термина: «часть чего-нибудь». И эта часть в химии может быть массовой, объёмной или мольной.

8. ОНА Мирового океана составляет 35 ‰. При этом в Мёртвом море её значение достигает 350 ‰.

11. Синильная или плавиковая — это названия некоторых бескислородных ИХ.

12. Это название бинарного минерала, в котором массовая доля мышьяка составляет 56,06 ‰, а мольная доля мышьяка — 50 ‰.

17. Это измерительный прибор, необходимый в экспериментах по химической кинетике.

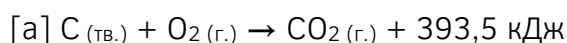
Каждый правильный ответ – 1 балл. Суммарно – 20 баллов.

Задача 2. У нас пропал синий Хагги Вагги (Чепига А.А.)

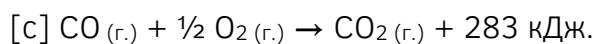
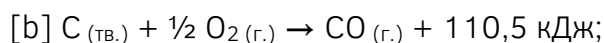
Как мы знаем из заданий первого года олимпиады Гесса, Герман Гесс сформулировал свой известный закон термохимии в 1840 году. Из него следует то, что тепловой эффект процесса зависит только от начальных и конечных веществ и не зависит от того, во сколько стадий этот процесс протекает.

Таким образом термохимические уравнения, то есть обычные химические уравнения с указанием величины теплового эффекта, которое выделяется или поглощается в ходе этих реакций, можно складывать и умножать на коэффициенты, как и обычные математические уравнения. При этом считается, что количество всех участников реакции (и реагентов, и продуктов) составляет столько моль, какие коэффициенты стоят перед ними в уравнении.

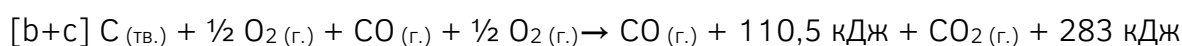
Например, в случае горения углерода углекислый газ может образовываться напрямую в реакции:



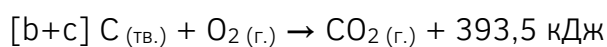
или через образование промежуточного продукта (угарного газа), который далее может доокисляться:



При этом количество теплоты, которое выделяется в реакции [a], равно сумме количеств теплот реакций [b] и [c]. Это можно заметить, просуммировав реакции:

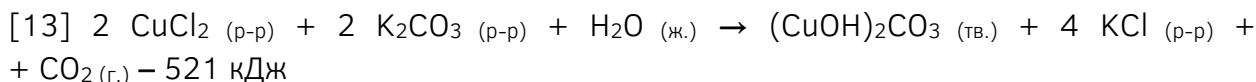
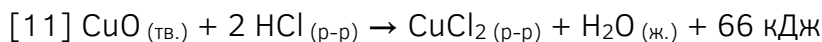
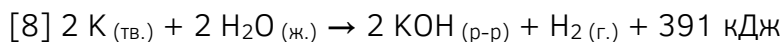
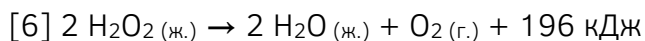
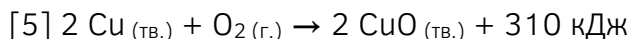
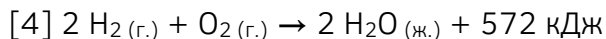
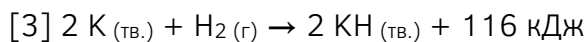
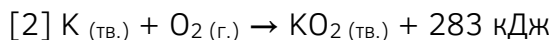
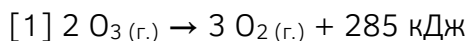


и упростив «подобные слагаемые» (вещества и теплоты) с обеих сторон:

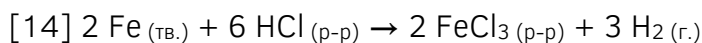


Получается, что $[b+c] = [a]$, что демонстрирует суть закона Гесса.

Вам даны термохимические уравнения реакций:



Рассчитайте тепловые эффекты для реакций:



У этой задачи существует несколько вариантов решений, исходя из разных начальных реакций.

Первый вариант.

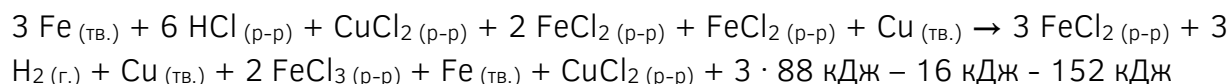
Для получения итогового ответа необходимо сделать следующие действия с реакциями:

[7] с коэффициентом 3.

[12] с коэффициентом -1.

[10] с коэффициентом -1.

При сложении получается такая комбинация химических веществ и тепловых эффектов:



Видно, что большинство веществ совпадает слева и справа, поэтому их можно сократить. После этого остаются следующий процесс:



Это и есть итоговый ответ.

Второй вариант.

Для получения итогового ответа необходимо сделать следующие действия с реакциями:

[7] с коэффициентом 2.

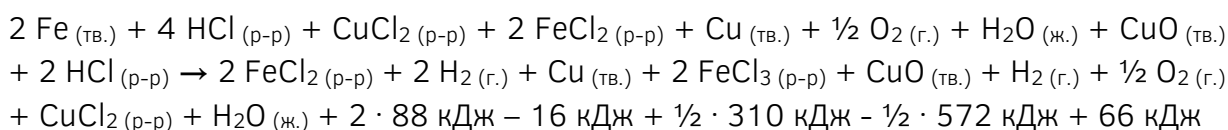
[12] с коэффициентом -1.

[5] с коэффициентом 1/2.

[4] с коэффициентом -1/2.

[11] с коэффициентом 1.

При сложении получается такая комбинация химических веществ и тепловых эффектов:



Видно, что большинство веществ совпадает слева и справа, поэтому их можно сократить. После этого остаются следующий процесс:



Это и есть итоговый ответ.

Разные итоговые числа (95 кДж и 96 кДж) достаточно легко могут быть объяснимы накоплением ошибки округления (поскольку в условиях приводятся целые числа). Разумеется, оба варианта считаются правильными.



Для получения итогового ответа необходимо сделать следующие действия с реакциями:

[3] с коэффициентом -3.

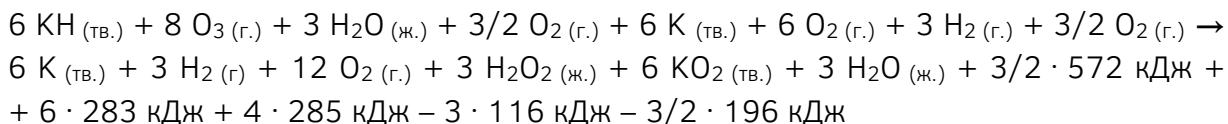
[1] с коэффициентом 4.

[6] с коэффициентом -3/2.

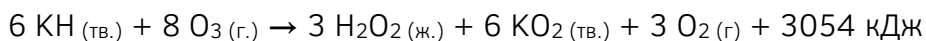
[2] с коэффициентом 6.

[4] с коэффициентом 3/2.

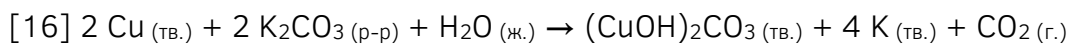
При сложении получается такая комбинация химических веществ и тепловых эффектов:



Видно, что большинство веществ совпадает слева и справа, поэтому их можно сократить. После этого остаются следующий процесс:



Это и есть итоговый ответ.



Для получения итогового ответа необходимо сделать следующие действия с реакциями:

[13] с коэффициентом 1.

[9] с коэффициентом -4.

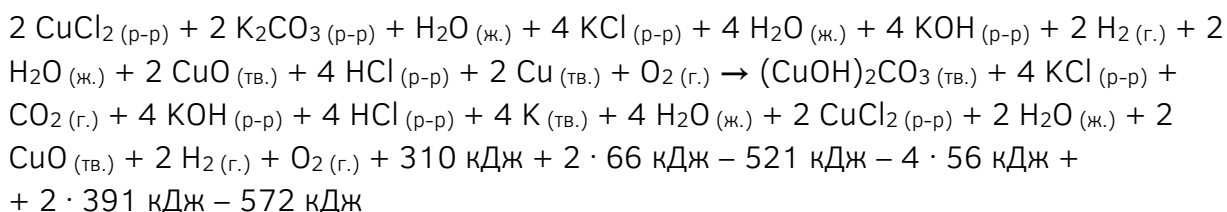
[8] с коэффициентом -2.

[11] с коэффициентом 2.

[5] с коэффициентом 1.

[4] с коэффициентом -1.

При сложении получается такая комбинация химических веществ и тепловых эффектов:



Видно, что большинство веществ совпадает слева и справа, поэтому их можно сократить. После этого остаются следующий процесс:



Это и есть итоговый ответ.

Реакция [14]: 2 балла за верное указание необходимого набора реакций; 2 балла за верные коэффициенты; 2 балла за верное вычисление итогового теплового эффекта.

Суммарно 6 баллов

Реакция [15]: 3 балла за верное указание необходимого набора реакций; 2 балла за верные коэффициенты; 2 балла за верное вычисление итогового теплового эффекта.

Суммарно 7 баллов

Реакция [16]: 3 балла за верное указание необходимого набора реакций; 2 балла за верные коэффициенты; 2 балла за верное вычисление итогового теплового эффекта.

Суммарно 7 баллов

Суммарно 20 баллов.

Задача 3. Смешай пробирки в лаборатории Бена (Анохин Е.О.)

Сплав алюминия и цинка растворили в разбавленной серной кислоте (*реакции 1 и 2*). К полученному раствору постепенно по каплям добавили избыток концентрированного раствора аммиака (*реакции 3 и 4*).

Кусочек металлического лития кинули в раствор хлорида никеля (II) (*реакции 5 и 6*).

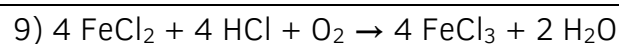
Сплав железа и кобальта растворили в избытке соляной кислоты (*реакции 7 и 8*). К полученному раствору через сутки (*реакция 9*) добавили раствор роданида калия (*реакция 10*).

1) Напишите уравнения описанных химических превращений.

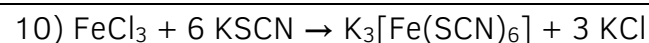
2) Укажите наблюдения в каждом из процессов.

1) $2 \text{Al} + 3 \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 3 \text{H}_2$
2) $\text{Zn} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{ZnSO}_4 + \text{H}_2$
Наблюдения в 1 и 2: растворение металлов с образованием бесцветного раствора, сопровождается выделением бесцветного газа без запаха.
3) $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 6 \text{NH}_3 + 6 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{Al}(\text{OH})_3 + 3 (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
4) $\text{ZnSO}_4 + 4 \text{NH}_3 \rightarrow [\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$
Наблюдения в 3 и 4: при добавлении аммиака по каплям вначале ничего не изменяется, затем начинает выпадать бесцветный (белый) аморфный осадок.
5) $2 \text{Li} + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{LiOH} + \text{H}_2$
6) $2 \text{LiOH} + \text{NiCl}_2 \rightarrow 2 \text{LiCl} + \text{Ni}(\text{OH})_2$
Наблюдения в 5 и 6: кусочек лития плавает по поверхности воды, реагирует с водой с выделением бесцветного газа без запаха. Образуется осадок темно-зеленого цвета.
7) $\text{Fe} + 2 \text{HCl} \rightarrow \text{FeCl}_2 + \text{H}_2$
8) $\text{Co} + 2 \text{HCl} \rightarrow \text{CoCl}_2 + \text{H}_2$

Наблюдения в 7 и 8: растворение металлов с образованием розового раствора, сопровождается выделением бесцветного газа без запаха.



Наблюдения в 9: по мере стояния раствор слегка изменяет свою окраску на более розово-оранжевую.



Как верный вариант засчитывать и образование $\text{Fe}(\text{SCN})_3$

Наблюдения в 10: раствор приобретает кроваво-красную окраску.

Каждая из реакций 1-8 — по 1 баллу (0,5 баллов в случае некорректных коэффициентов)

Реакции 9 и 10 — по 2 балла (1 балл в случае некорректных коэффициентов)

Наблюдения в 1 и 2 — 1 балл

Наблюдения в 3 и 4 — 1 балл

Наблюдения в 5 и 6 — 2 балла

Наблюдения в 7 и 8 — 2 балла

Наблюдение в 9 — 1 балл

Наблюдение в 10 — 1 балл

Сумма — 20 баллов

Задача 4. Ситуация сюр (Деянков Д.А.)

Лаборантки школы Летово Оля и Катя решили убраться в кабинетах и обнаружили разбросанные гранулы металла **A**. **A** — типичный представитель металлов, обладающий серо-серебристым цветом и высокой твёрдостью. Отличить от остальных металлов визуалью его достаточно трудно, поэтому девушки решили провести химические опыты, чтобы понять, что это за вещество.

Сначала Оля и Катя растворили кусочек металла массой 1 г в соляной кислоте, при этом выделилось 342,5 мл бесцветного газа (измерено при н.у.), и образовался раствор вещества **B**.

1) Определите металл **A**, который нашли Оля и Катя. Ответ подтвердите расчётом. Определите вещество **B** и запишите реакцию его образования.

Как правило, при растворении металлов в соляной кислоте образуется хлорид металла и водород:



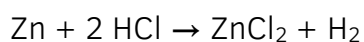
Количество водорода легко рассчитать, зная его объем:

$n(\text{H}_2) = 0,3425 / 22,4 = 0,0153$ моль. Далее можно выразить молярную массу металла, т.к. количество металла и водорода связано: $n(\text{A}) = 2 \cdot n(\text{H}_2) / x$

$$M(\text{A}) = 1 / n(\text{A}) = x / 0,0306 = 32,7 x$$

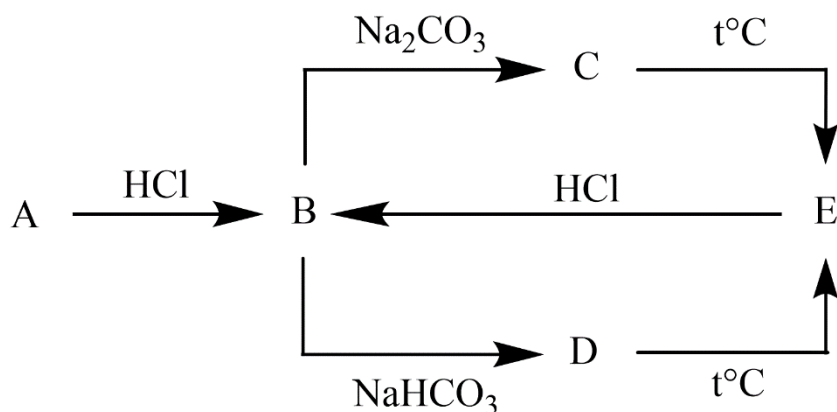
Перебор x дает адекватное значение молярной массы 67,4 при $x = 2$, что соответствует Zn. Металл **A** — цинк.

При его растворении образуется хлорид цинка (II) — вещество **B**:



Несмотря на то, что полученных данных формально хватает для определения металла, они решили провести еще пару опытов. Катя добавила к раствору вещества **B** карбонат натрия, при этом образовался осадок вещества **C**. Термогравиметрический анализ данного соединения показывает, что при нагреве до 900 К вещество **C** разлагается и теряет 27,58 % своей массы. В процессе разложения образуется белое вещество **E**, и выделяется газовая смесь с плотностью по водороду 15,5. При охлаждении почти до комнатной температуры (27 °С) плотность этой смеси по водороду становится равной 22, а объём уменьшается в 6 раз. Давление газа при обеих температурах было одинаковым.

Оля добавила к веществу **B** раствор гидрокарбоната натрия, что привело к выпадению осадка **D**. **D** при разложении теряет 35,09 % своей массы. Интересно, что после разложения у Оли получился такой же продукт, как и у Кати — соединение **E**, которое растворяется в соляной кислоте с образованием **B**.



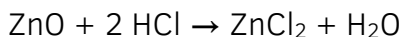
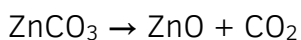
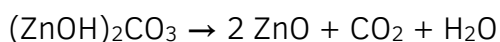
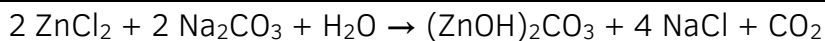
2) Определите соединения **C**, **D** и **E**. Ответ подтвердите расчётом. Запишите уравнения всех указанных в схеме описанных реакций.

Интересной выглядит ситуация образования двух разных веществ **C** и **D** при воздействии схожих реагентов — гидрокарбоната натрия и карбоната натрия. Это можно связать с образованием не средних карбонатов цинка. В любом случае при термическом разложении таких солей образуется оксид цинка **ZnO** (вещество **E**), углекислый газ и, возможно, вода. Рассчитать формулы веществ **C** и **D** можно с учетом термогравиметрических данных, а также с учетом известных данных про газовые смеси. При разложении **C** образуется смесь газов, у которой при охлаждении меняется плотность по водороду. Такое может быть, если один из газов превращается в жидкость, в нашем случае это скорее всего вода. Второй газ имеет плотность по водороду 22, то есть молярную массу 44, что идеально подходит под CO_2 . Уменьшение объема в 6 раз при охлаждении происходит по двум причинам — конденсация воды и уменьшение температуры. Температура уменьшается в $900/300 = 3$ раза, следовательно, по уравнению Менделеева-Клапейрона объем тоже уменьшается в 3 раза. Получается, при конденсации воды объем должен уменьшаться в $6/3 = 2$ раза, т.е. соотношение в смеси $\text{CO}_2:\text{H}_2\text{O} = 1:1$. Проверить этот результат можно с помощью плотности смеси по водороду: $(44+18) / (2 \cdot 2) = 15,5$.

Получается, что при разложении **C** образуются **ZnO** и смесь $1 \text{ CO}_2: 1 \text{ H}_2\text{O}$. Рассчитать соотношение оксида цинка и газовой смеси можно через термогравиметрию. Потеря массы составляет 27,58%. Потерю массы можно выразить как $M(\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O}) / (M(\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O}) + x \cdot M(\text{ZnO}))$. Решив уравнение, получим $x = 2$. То есть простейшая формула **C** это $(\text{ZnO})_2 \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Избыток металла относительно аниона позволяет утверждать, что это основная соль, более корректная формула которой $(\text{ZnOH})_2\text{CO}_3$. Про разложение **D** данных меньше, попробуем определить молярную массу в лоб:

$M(\text{ZnO}) / M(\text{D}) = (1-0,3509) / 1$, откуда $M(\text{D}) = 125,4$ г/моль. Вычитая **ZnO** получим 44, что соответствует CO_2 , то есть **D** — средний карбонат цинка **ZnCO₃**. Отличие в продуктах реакции можно связать с тем, что карбонат натрия обладает более щелочной реакцией среды, поэтому с ним образуется основная соль, тогда как с более нейтральным гидрокарбонатом — средняя соль.

Итого: **C** — $(\text{ZnOH})_2\text{CO}_3$, **D** — **ZnCO₃**, **E** — **ZnO**. Уравнения реакций:

**Справочная информация:**

Уравнение состояния идеального газа $pV = \nu RT$, где $R = 8,314$ Дж/(моль·К).

Определение веществ A, C, D подтвержденное расчетом — по 4 балла за каждое, суммарно 12 баллов

Определение веществ B, E — по 1 баллу за каждое, суммарно 2 балла

*Уравнения шести описанных реакций — по 1 баллу за каждое, суммарно 6 баллов
Суммарно 20 баллов*

Задача 5. Ультрамегасупердупергалактическигиперхароша (Степанов Г.А.)

Без вещества X не обходится ни одна лаборатория. Более того, тяжело себе представить хоть какое-либо помещение, в котором не будет вещества X. Это вещество — основной компонент кислотных дождей. В газообразной форме выше температуры кипения оно может вызвать тяжелые ожоги. Последствием попадания этого вещества в желудок может стать усиленное потоотделение, а в случае большой дозы — рвота.

1) Назовите вещество X. Приведите пример помещения, где этого вещества быть не должно, и объясните, почему.

X — вода, H₂O.

Разумеется, трудно придумать помещение, в котором вообще не будет следов воды. Поэтому засчитывается любой адекватный вариант с понятным обоснованием.

Например, сухой бокс для проведения реакций с активными металлами.

Как вы могли догадаться, часто вещество X выступает в роли растворителя. Например, если 1,421 г соли натрия растворить в 100 мл X, а затем прибавить 100 мл 0,20 М раствор хлорида бария в X, то можно получить 2,334 г белого осадка.

2) Определите неизвестную соль натрия, напишите уравнение реакции. Определите, какие ионы и в каких концентрациях присутствуют в растворе после протекания реакции (плотность всех растворов считайте равной 1,00 г/мл; изменением объемов

во всех процессах пренебречь). А также рассчитайте молярную концентрацию вещества X в чистом веществе X.

Попробуем проанализировать процесс, который протекает. Поскольку реагируют соли, то это обменная реакция. Значит мы точно знаем один из продуктов — это NaCl. Однако анион второй соли нам неизвестен. Ясно только то, что изначально это была соль натрия, а в итоге – соль бария в осадке, поскольку NaCl точно будет растворим.

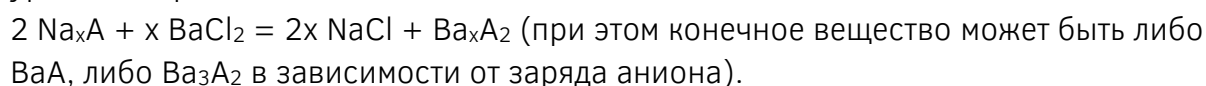
Далее неизвестно, в каком соотношении смешаны реагенты. Т.е. при изначальном условии любое из веществ может быть в избытке. Однако, если предположить, что хлорид бария в недостатке, то получится следующее:

$$v(\text{BaCl}_2) = 0,1 \text{ л} \cdot 0,2 \text{ М} = 0,02 \text{ моль.}$$

$$v(\text{осадка}) = 0,02 \text{ моль}$$

$M(\text{осадка}) = 2,334 \text{ г} / 0,02 \text{ моль} = 116,7 \text{ г/моль}$. А $M(\text{Ba}) = 137,3 \text{ г/моль}$, что невозможно: молярная масса осадка получилась меньше, чем молярная масса бария. Значит хлорид бария находится в избытке и считать необходимо по количеству неизвестных ионов, которые полностью будут осаждены катионами бария.

Далее мы не знаем, какой заряд у неизвестных ионов. Поэтому напомним уравнение реакции в общем виде:

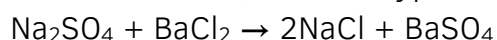


Тогда можно составить пропорцию относительно количеств солей, про которые известны начальные массы:

$$\frac{1,421}{23x + A} = \frac{2,334}{(137,3x + 2A)/2}$$

После упрощения мы получаем выражение: $A = 48,05x$. При подстановке натуральных значений для можно найти только единственное подходящее решение: при $x = 2$, $A = 96,1 \text{ г/моль}$ – это молярная масса сульфат-иона SO_4^{2-} .

Соответственно, итоговое уравнение:



Теперь мы можем определить количества всех веществ:

$$v(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 1,421 \text{ г} / 142,1 \text{ г/моль} = 0,01 \text{ моль (недостаток)}$$

После реакции в растворе останутся ионы:

Na^+ — 0,02 моль; Cl^- — 0,04 моль, Ba^{2+} — 0,01 моль (поскольку частично ионы перешли в осадок).

При смешении двух растворов мы пренебрегаем изменением объемов, поэтому итоговый объем раствора составляет 200 мл.

Соответственно, $C(\text{Na}^+) = 0,02 \text{ моль} / 0,2 \text{ л} = 0,1 \text{ М}$; $C(\text{Cl}^-) = 0,2 \text{ М}$; $C(\text{Ba}^{2+}) = 0,05 \text{ М}$

Кроме того, в условии спрашивается молярная концентрация воды в чистой воде. Предположим, что у нас 1 л воды. Тогда масса воды тоже 1 кг, а количество: $1000/18 \approx 55,56$ моль. Соответственно, $C(\text{H}_2\text{O}) = 55,56 \text{ M}$

Однако иногда это вещество само вступает в разнообразные химические реакции. И их достаточно легко проводить с веществом **X** в различных агрегатных состояниях, поскольку температуры плавления и кипения этого вещества близко расположены к нормальным условиям.

Очень активные вещества вводят в реакцию с твердым **X**. Так реакция **X** и избытка высшего оксида элемента **Y** (реакция 1) приводит к образованию твердого вещества, в котором количество водорода и элемента **Y** совпадает.

С другой стороны, большинство реакций можно провести и с **X**, находящемся в жидком агрегатном состоянии. Так, взаимодействие **X** с тригалогенидом YHal_3 (массовая доля галогена 77,45%) можно представить как реакцию ионного обмена (реакция 2).

Но бывают и газофазные процессы с участием этого вещества. Газообразный **X** сгорает в атмосфере сильнейшего окислителя среди простых веществ с образованием смеси продуктов. Среди них есть, например, бинарная кислота и вещество **W**, массовая доля кислорода в котором 29,62% (реакция 3).

3) Определите элемент **Y**, неизвестные вещества YHal_3 , **W** и напишите уравнения реакций 1–3.

По первой реакции достаточно трудно догадаться, о каком оксиде идет речь в задаче, поэтому сразу перейдем к анализу второго процесса.

Тригалогенид содержит некоторый галоген с массовой долей 77,45%. Можно сразу составить общую формулу, которая содержит в качестве неизвестных молярную массу **Y** и молярную массу этого галогена:

$$\frac{3\text{Hal}}{Y + 3\text{Hal}} = 0,7745$$

Однако производить перебор по всем молярным массам химических элементов будет достаточно трудоемкой задачей. Соответственно, проще сначала преобразовать данное выражение, чтобы получить зависимость молярной массы **Y** от молярной массы **Hal**:

$$Y = 0,87347\text{Hal}$$

Теперь можно подставлять молярные массы различных галогенов и проверить, получается ли значение молярной массы для **Y**:

Фтор: $Y = 16,6$ – такого элемента нет.

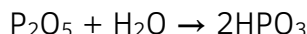
Хлор: $Y = 31,0$ – это фосфор, который также подходит по валентности.

Бром: $Y = 69,8$ – очень близко к молярной массе галлия, но противоречит первому факту условия.

Иод: $Y = 110,8$ – такого элемента нет.

Получается, что загаданное вещество: PCl_3 , а в первом абзаце речь идет о P_2O_5 (или P_4O_{10}).

Соответствующие реакции:



(именно в такой кислоте количество атомов фосфора и водорода совпадает).

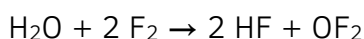
Теперь рассмотрим процесс в газовой фазе. Сильнейший окислитель среди простых веществ — это фтор. И легко указать формулу бинарной кислоты — это HF . Тогда осталось подобрать возможную формулу для вещества **W**. Поскольку массовая доля кислорода известна, то можно составить следующее выражение:

$$\frac{16x}{M} = 0,2962$$

(где x — количество атомов кислорода, а M — молярная масса **W**)

$$M = 54x$$

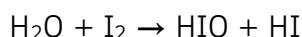
Если в соединении один атом кислорода, то на остальные атомы останется 38 г/моль — это соответствует двум атомам фтора. Таким образом, **W** — OF_2



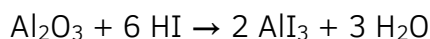
И даже на этом достоинства этого вещества не закончились. Кроме всего прочего, без него не удастся провести широко известный демонстрационный эксперимент: горение алюминия в иоде. Для его проведения к смеси двух простых веществ добавляют всего каплю **X**.

4) *Чем для этой реакции служит **X**? Как вы думаете, какой механизм влияния этого вещества на протекание реакции?*

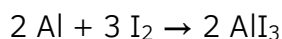
Даже капля воды приводит к частичному растворению в ней иода и последующему диспропорционированию:



Образующиеся кислоты способны разрушить тонкую оксидную пленку, которая покрывает поверхность алюминия:



После такого разрушения реакция уже протекает без участия воды, поскольку алюминий является достаточно активным металлом:

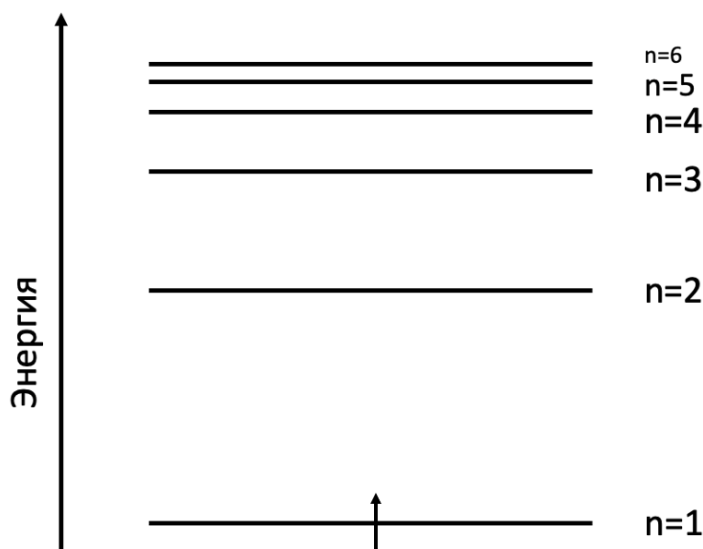


При этом вода формально не расходуется, поскольку и диспропорционирование — это обратимый процесс, и в реакции растворения оксидной пленки она регенерируется. Поэтому в данном процессе вода является катализатором.

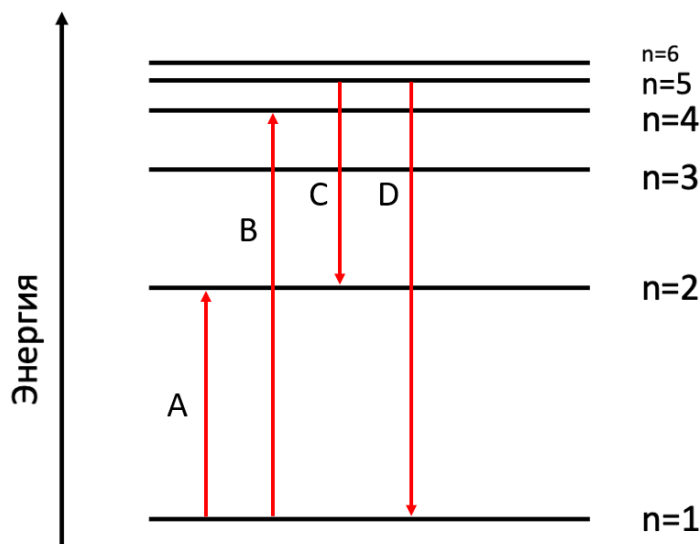
- 1) Определение воды — 2 балла.
Адекватный пример помещения — 1 балл.
2) Определение Na_2SO_4 с расчетом — 5 баллов.
Уравнение реакции — 1 балл.
Вычисление всех концентраций: $4 \times 0,5$ — 2 балла.
3) Определение PCl_3 с расчетом — 3 балла.
Два уравнения реакций (1 и 2) – 2×1 — 2 балла.
Вычисление OF_2 — 1 балл.
Уравнение реакции (3) — 1 балл.
4) Корректное описание механизма — 2 балла
Суммарно — 20 баллов

Задача 6. Квантовый ящик в Brawl Stars (Алёшин Г.Ю., Анохин Е.О.)

Все мы знаем, что атомы состоят из положительно заряженного ядра и электронной оболочки. Еще мы знаем, что электронная оболочка довольно непросто устроена: она как минимум разделяется на электронные уровни. Каждый электронный уровень соответствует определенной энергии электрона. Например, для атома водорода схема электронных уровней представлена на рисунке ниже. В основном невозбужденном состоянии на уровне с $n = 1$ находится единственный электрон водорода, все остальные уровни не заполнены.



- 1) Какие из указанных на схеме ниже процессов переноса электронов с одного энергетического уровня на другой (A–D) могут происходить при нагревании атомов водорода? Одному процессу соответствует одна стрелка. Ответ обоснуйте.



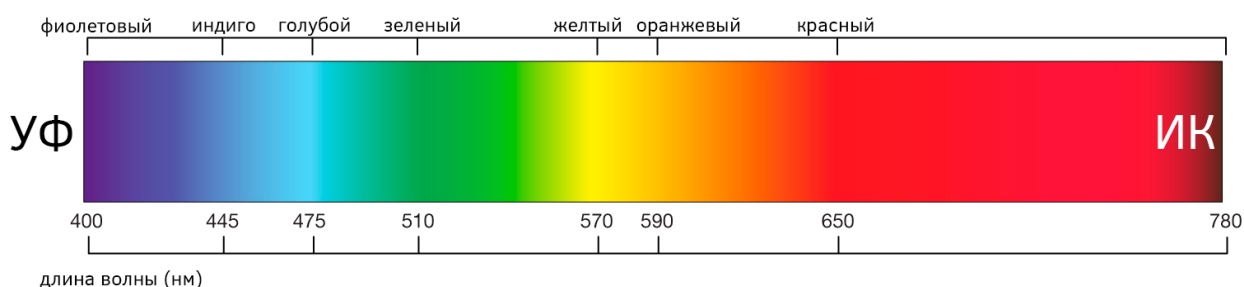
При нагревании атома происходит добавление энергии в систему, поэтому могут происходить только те процессы, в которых энергия электронов увеличивается, то есть процессы A и B. Процессы C и D наоборот сопровождаются испусканием атомом энергии в том или ином виде (например, в виде излучения).

Если электрон находится на каком-то высоком уровне (с $n \neq 1$), то он будет стремиться понизить свою энергию и перейти на более низкий уровень, при этом не обязательно на самый низший. Такие переходы будут сопровождаться излучением энергии в виде электромагнитного излучения.

Свет — электромагнитное излучение, воспринимаемое человеческим глазом. В простом случае к видимому свету относят электромагнитное излучение с длинами волн от 400 до 700 нм. Если длина волны света ниже 400 нм, то такое излучение называется ультрафиолетовым (УФ), а если больше 700 нм — инфракрасным (ИК). Внизу представлен спектр видимого света с соотношениями «длина волны / цвет».

Длина волны электромагнитного излучения обратно пропорциональна величине энергии перехода. Таким образом, «красный» квант света обладает меньшей энергией, чем квант «синего цвета».

Для атома водорода переходы с любого более высокого уровня только на второй уровень ($n = 2$) сопровождаются выделением **ВИДИМОГО** света.



2) В какой области электромагнитного спектра (УФ / видимый / ИК) будет происходить излучение при переходе с более высоких уровней на:

а) третий уровень ($n = 3$)?

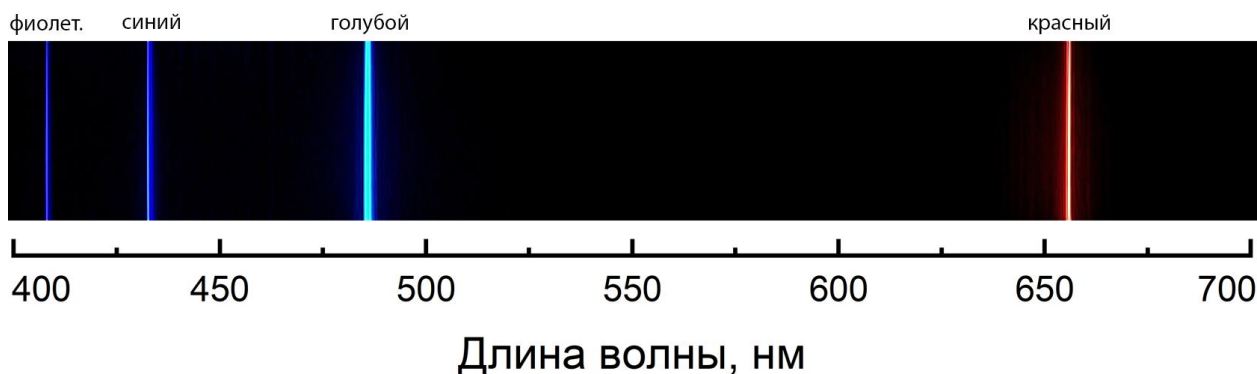
б) на первый уровень ($n = 1$)?

Ответ обоснуйте логически.

а) Согласно приведенной диаграмме, каждый последующий уровень энергии располагается ближе к предыдущему. Например, расстояние между четвертым и пятым уровнями значительно меньше, чем между четвертым и третьим. Таким образом, при переходе с более высоких (4-6) уровней на третий будет испускаться излучение с меньшей энергией, чем при переходе на второй уровень. Кванты излучения с меньшей энергией обладают большей длиной волны, т.е. принадлежат к **инфракрасной** области спектра. Излучение света в видимой области спектра при переходе на любые уровни кроме второго для водорода отсутствует.

б) Согласно такой же логике, как и в предыдущем пункте, переходы на первый уровень будут сопровождаться испусканием более высокоэнергетичных квантов излучения, а длина волны таких квантов будет меньше. Такое излучение будет принадлежать **ультрафиолетовой** области спектра.

Спектр эмиссии (испускания излучения) атома водорода в видимом диапазоне представлен на рисунке ниже. Поскольку переходы между электронными уровнями в атоме имеют конкретные значения энергии, в спектре испускания наблюдаются только отдельные узкие полосы определенного «цвета». Черный цвет показывает, что переходов с такой энергией нет.



Рассчитать длину волны испускаемого видимого света для перехода с любого уровня n на второй можно с помощью формулы Бальмера:

$$\lambda = b \frac{n^2}{n^2 - 2^2}$$

где λ — длина волны излучения, нм;

$b = 364,56$ нм — некоторая постоянная величина;

n — номер уровня, с которого происходит переход.

3) Укажите, переходам между какими уровнями в спектре атома водорода соответствует линия какого цвета. Ответ подтвердите рассуждениями и расчетами.

Согласно рисунку выше, в видимой области излучения у атома водорода есть четыре полосы, имеющие следующие длины волн: ~ 410 нм (фиолетовый), ~ 435 нм (синий), ~ 485 нм (голубой) и ~ 655 нм (красный).

Нам необходимо вычислить n , с которого происходит переход на второй уровень, используя указанную выше формулу. Выразим n через λ и b :

$$\lambda (n^2 - 2^2) = bn^2$$

$$n^2(\lambda - b) = 4\lambda$$

$$n = \sqrt{\frac{4\lambda}{\lambda - b}}$$

Подставляя в полученное выражение значения длин волн и константу, вычислим значения n

$$\sim 410 \text{ нм: } n = 6,00 \Rightarrow n = 6 \quad \sim 435 \text{ нм: } n = 4,97 \Rightarrow n = 5$$

$$\sim 485 \text{ нм: } n = 4,01 \Rightarrow n = 4 \quad \sim 655 \text{ нм: } n = 3,00 \Rightarrow n = 3$$

Самая яркая линия в приведенном выше спектре — красная ($\lambda = 656$ нм). Формула для расчета энергии кванта света из длины волны для единичного атома выглядит следующим образом:

$$E = \frac{hc}{\lambda}, \text{ где } h \text{ — постоянная Планка, } c \text{ — скорость света, } \lambda \text{ — длина волны.}$$

Справочная информация:

$$1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м,}$$

$$\text{постоянная Планка } h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с,}$$

$$\text{скорость света } c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с,}$$

$$\text{постоянная Авогадро } N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}.$$

4) Найдите энергию данного электронного перехода в кДж/моль (для 1 моль атомов), используя данные из справочной информации.

Вычислим энергию перехода с длиной волны $\lambda = 656$ нм для единичного атома по приведенной выше формуле, не забыв перевести все в СИ:

$$E_1 = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{656 \cdot 10^{-9}} = 3,03 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

Теперь учтем, что атомов должен быть один моль:

$$E_{\text{моля}} = E_1 \cdot N_A = 3,03 \cdot 10^{-19} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} = 182,48 \text{ кДж/моль}$$

Довольно много рассеянных (то есть не образующих собственные минералы) элементов были открыты с помощью метода спектрального анализа, благодаря которому находили спектральные линии, не характерные для других элементов. Так, например, один из них был идентифицирован по одной линии характерного цвета, которая и дала название этому элементу. Энергия этой линии $E = 265,4$ кДж/моль.

5) Вычислите длину волны этой линии. Какого цвета эта линия? Какое название получил данный элемент?

Выполним задачу, обратную предыдущему пункту. В предыдущем пункте формула вычисления была:

$$E_{\text{моля}} = \frac{hcN_A}{\lambda}$$
$$\lambda = \frac{hcN_A}{E_{\text{моля}}} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 6,022 \cdot 10^{23}}{265,4 \cdot 10^3} = 4,51 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 451 \text{ нм}$$

Согласно приведенному в условии спектру, излучение с длиной волны 451 нм относится к цвету **индиго**. Нетрудно догадаться, что этот элемент получил название **индий**.

Корректно указаны переходы при нагревании — 2 балла

Корректно определены и обоснованы области энергий переходов — по 2 балла за пункт, суммарно 4 балла

Вычислены уровни — по 1 баллу за переход, суммарно 4 балла

Вычислена энергия красного перехода — 4 балла

Вычислена длина волны через энергию — 2 балла

Корректно определен цвет — 2 балл

Корректно назван элемент — 2 балл

Суммарно 20 баллов