



В КАЧЕСТВЕ ОТВЕТОВ НА ЗАДАНИЯ МЫ ПРЕДЛАГАЕМ ОЗНАКОМИТЬСЯ С РАБОТОЙ ФЕДОРА ЛУГОВСКОГО. НЕКОТОРЫЕ КОММЕНТАРИИ К ПРИВЕДЕННЫМ В ЭТОЙ РАБОТЕ ОТВЕТАМ ВЫДЕЛЕННЫ КРАСНЫМ ЦВЕТОМ

Луговский Федор Александрович, 10 класс

Щомыслицкая средняя школа, Минская область, Республика Беларусь

Электронный адрес: **fedorlugovskis@gmail.com**

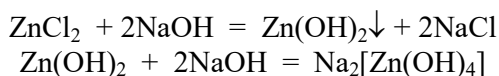
Задача 1

1. В двух банках без этикеток находятся растворы едкого натра и хлорида цинка. Как без использования других реактивов определить, какое вещество находится в каждой из этих банок? Напишите уравнения химических реакций.

Решение.

Следует приготовить растворы этих двух веществ примерно 5–10 %-ной концентрации (вещества 1 и 2). Если раствор вещества 1 приливать к раствору вещества 2 и при этом сначала образуется осадок, а затем он растворяется, вещество 1 – едкий натр, вещество 2 – хлорид цинка. Если наоборот, раствор вещества 2 ($ZnCl_2$) приливать к раствору $NaOH$, осадок может и не появиться, так как хлорид цинка реагирует в условиях избытка гидроксида натрия с образованием тетрагидроксоцинката натрия, промежуточный продукт (гидроксид цинка) сразу же растворяется в избытке щелочи.

Уравнения реакций:

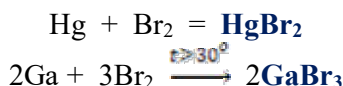


Задача 2

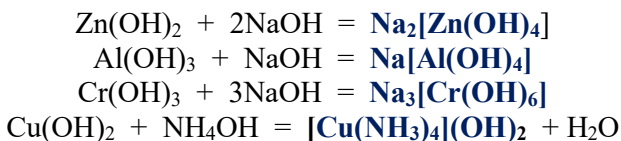
2. Напишите уравнения десяти химических реакций в результате которых образуется соль при взаимодействии а) двух жидких простых веществ, б) двух оснований, в) двух кислот.

Решение.

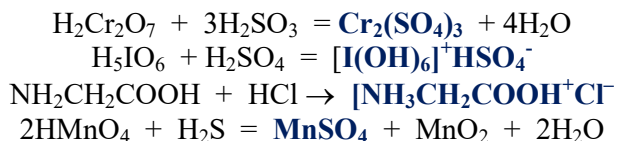
Два жидких простых вещества:



Два основания:



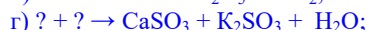
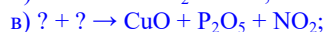
Две кислоты:



В этом задании желательно было также представить реакции сплавления двух оснований, например, получения мета- и ортоалюмината натрия и реакцию взаимодействия $HMnO_4$ с HCl (конц.).

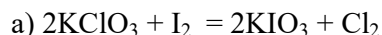
Задача 3

3. Какие два вещества вступили в химическую реакцию и при каких условиях, если в ее результате получены следующие продукты (указаны без коэффициентов).

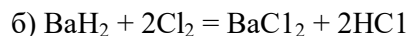


Напишите уравнения этих реакций

Решение:



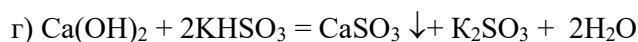
в горячей разбавленной HNO_3



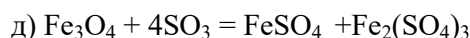
действие хлора на твердый гидрид бария



прокаливание смеси



смешивание раствора сульфита и известковой воды



действие серного ангидрида на Fe_3O_4

Задача 4

4. Ниже приведены значения радиусов атомов (в пикометрах) элементов подгруппы бериллия и элементов подгруппы кислорода:

Радиусы атомов элементов подгруппы бериллия						
Атом	Be	Mg	Ca	Sr	Ba	Ra
Радиус, пм	113	160	197	215	221	228
Радиусы атомов элементов подгруппы кислорода						
Атом	O	S	Se	Te	Po	Lv
Радиус, пм	60	104	140	160	170	?

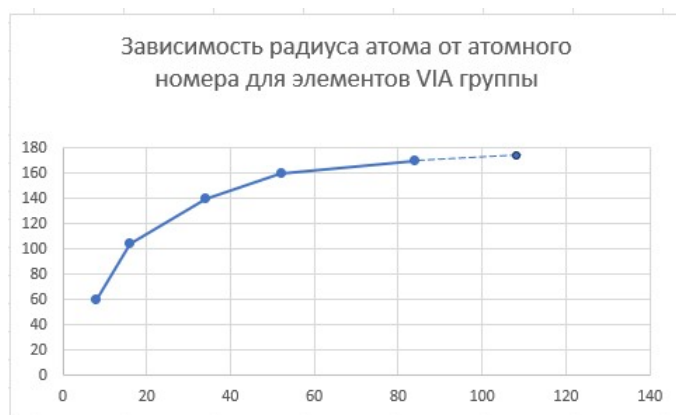
На основе этих данных предложите способы оценки радиуса атома ливермория (№ 116).

Решение:

Оценить радиус атома ливермория можно на основании построения графика зависимости радиуса атома от атомного номера. Для элементов IIA группы этот график следующий:



Как видно, радиус атома нелинейно увеличивается с увеличением атомного номера. Подобная зависимость, очевидно, должна наблюдаться и для химических элементов других групп. Построим аналогичный график для элементов VIA группы и экстраполируем полученную кривую до значения атомного номера, равного 116, соответствующего ливерморию (пунктирная часть кривой):

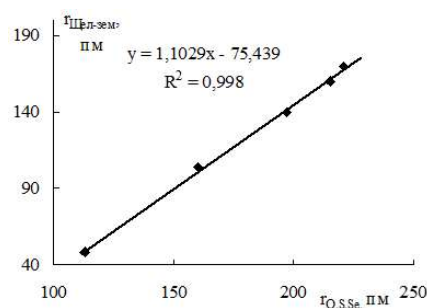


Как видно из графика, атомному номеру 115 соответствует радиус атома 175 пм.

Ответ 175 пм.

При выполнении этого задания пользовались как аналитические (расчетные), так и графические методы оценки радиуса 116 химического элемента. Более точные результаты дает предложенный профессором Российского химико-технологического университета Михаилом Христофоровичем Карапетьянцем «Метод сравнительного расчета», см. рисунок справа.

Расчеты, проведенные с использованием представленной на рисунке зависимости, показали, что радиус атома 116 элемента составляет 176 пм.

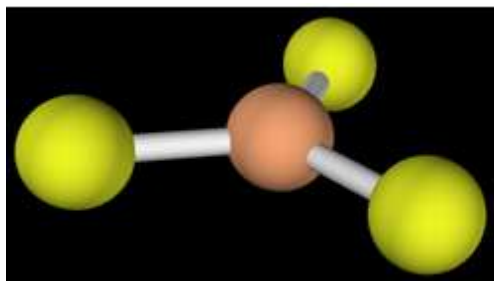
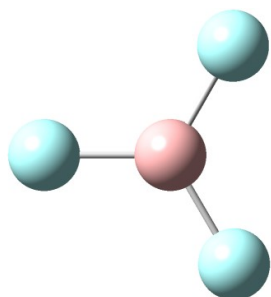


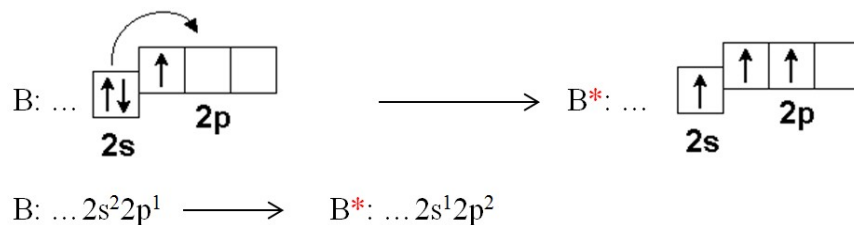
Задача 5

5. Определите строение молекул BF_3 , NF_3 , и ClF_3 . Объясните причину различия строения этих молекул.

Решение:

Молекула BF_3 имеет плоскостное строение, так как на внешнем электронном слое атома бора имеется три электрона (электронная конфигурация $\dots 2s^1 2p^2$). Три орбитали валентного уровня располагаются в плоскости под углом 120° (sp^2 -гибридизация), образующиеся ковалентные связи с атомами фтора ориентированы друг по отношению к другу под таким же углом:

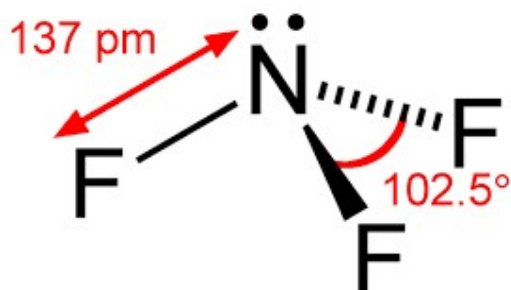




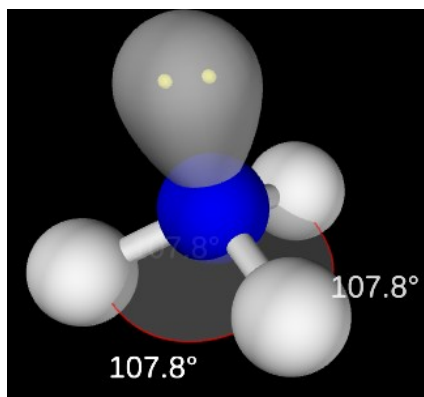
Молекула NF_3 имеет неплоское строение, так как на валентном уровне атома азота имеется неподеленная электронная пара, не позволяющая молекуле, в отличие от BF_3 иметь плоскостное строение.



Молекула имеет форму трехгранной пирамиды, углы между связями $102,5^\circ$:

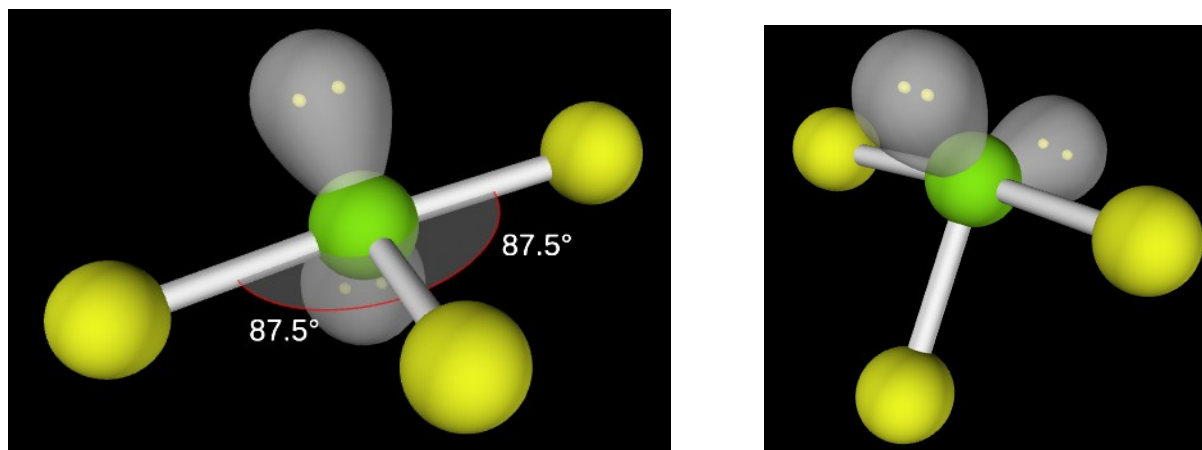


В качестве иллюстрации использована модель молекулы аммиака, имеющая подобное строение:



Молекула ClF_3 имеет плоскую T-образную форму вследствие наличия в трехвалентном атоме хлора двух неподеленных электронных пар (электронная конфигурация $\dots 3s^2 3p^4 3d^2$).

Электростатическое отталкивание между электронами ковалентных связей и неподеленных электронных пар обуславливают следующую форму молекулы:



(Использованы рисунки сервиса labcxange.com)

В этом задании полезно было бы объяснить, почему неподеленные электронные пары располагаются в аксиальной плоскости, а не с двух сторон от этой плоскости (в этом случае получилась бы красивая структура и молекула бы оказалась плоской, как BF_3). А причина заключается в величинах углов ($120^\circ > 90^\circ$) и в аксиальной плоскости отталкивание между электронными парами меньше.

Несмотря на одинаковую стехиометрию (AB_3) молекулы имеют различное строение, так как число электронов на валентном уровне у атомов бора, азота и хлора различное. В атоме бора только три валентных электрона, молекула имеет форму трехлопастного «пропеллера», в атоме азота пять электронов на внешнем электронном слое, три из них образуют ковалентные связи с атомами фтора, а два оставшихся (одна неподеленная электронная пара) отталкивают общие электронные пары связей N–F, поэтому молекула имеет неплоскостное строение (трехгранная пирамида), валентные углы меньше 120° . В атоме хлора семь электронов на внешнем электронном слое, три из них образуют ковалентные связи с атомами фтора, а четыре оставшихся (две неподеленные электронные пары) отталкивают общие электронные пары связей Cl–F, что обуславливает T-образную форму данной молекулы.

Задача 6

6. Ионные жидкости (ИЖ) находят широкое применение в качестве растворителей в процессах «Зеленой химии», катализаторов, электролитных систем в химических источниках тока и накопителях электрической энергии. В РХТУ им. Д.И. Менделеева проводятся термодинамические исследования ИЖ и их растворов в различных растворителях методом калориметрии сгорания. В результате проведенных экспериментов были определены величины удельных теплот сгорания ацетонитрила (28628 Дж/г) и тетрафторбората 1-бутил-4-метилпиридиния ($[\text{BMPy}][\text{BF}_4]$) (25041 Дж/г). На основании этих данных рассчитайте удельную теплоту сгорания (в Дж/г) 2,036 молярного раствора $[\text{BMPy}][\text{BF}_4]$ в ацетонитриле. Плотность этого раствора равна $1,1134 \text{ г/см}^3$. Молярная масса $[\text{BMPy}][\text{BF}_4]$ равна 237,05 г/моль.

Решение:

Пусть объем раствора равен 1 л.

Масса раствора:

$$m = V \cdot \rho = 1113,4 \text{ г}$$

Так как $c = 2,036$ моль/л, масса соли в 1 л раствора 482,63 г

Масса растворителя (ацетонитрила):

$$m_{(\text{ацетонитрила})} = 1113,4 - 482,63 = 630,77 \text{ г}$$

Количество теплоты, выделившейся при сгорании $[\text{ВМРy}][\text{ВF}_4]$, находящегося в 1 л раствора:

$$Q_{([\text{ВМРy}][\text{ВF}_4])} = 482,63 \times 25041 = 12086 \text{ кДж}$$

Количество теплоты, выделившейся при сгорании ацетонитрила, находящегося в 1 л раствора:

$$Q_{(\text{ацетонитрила})} = 630,77 \times 28628 = 18058 \text{ кДж}$$

Суммарная теплота сгорания 1 л (1113 г) раствора:

$$Q_{(\text{сумм.})} = 12086 + 18058 = 30144 \text{ кДж}$$

Удельная теплота сгорания 1 г данного раствора:

$$Q_{(\text{удельн.})} = 30144 \cdot 10^3 / 1113,4 = 27074 \text{ Дж/г}$$

Ответ: 27074 Дж/г

В этом задании исходные величины Q даны с точностью до пяти цифр, поэтому при проведении расчетов нужно было обязательно использовать все пять цифр. И в ответе указывать пять цифр: 27074 Дж.

Задача 7

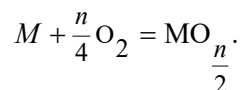
7. После прокаливания под тягой смеси металла и его нитрата масса полученного вещества оказалась равной массе исходной смеси. Установите состав исходной смеси и предложите уравнение, позволяющее рассчитать массовую долю металла в исходной смеси. Рассчитайте массовую долю алюминия с нитратом алюминия в такой смеси.

Решение:

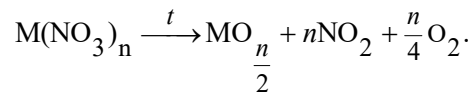
Рассчитаем мольное соотношение металла (M) и его нитрата, соответствующее условию задачи.

Уравнения реакций:

Образование оксида при прокаливании металла на воздухе (n – степень окисления металла в оксиде):



Разложение нитрата при нагревании:



В результате окисления металла масса увеличивается, а в результате прокаливания нитрата – уменьшается. Рассчитаем мольное соотношение, при котором масса кислорода, окислившего металл, будет равна массе газообразных продуктов разложения нитрата.

Пусть x – число моль металла; y – число моль нитрата.

На окисление x моль металла расходуется $nx/4$ моль кислорода. Масса этой порции кислорода равна $32nx/4 = 8nx$.

При разложении y моль нитрата выделяется $46ny$ г NO_2 и $8ny$ г кислорода (уравнение реакции).

В случае равенства этих масс масса исходной смеси не изменится. Составим уравнение:

$$8nx = 46ny + 8ny$$

Или:

$$8nx = 54ny$$

$$8x = 54y$$

Мольное соотношение металла и его нитрата:

$$x : y = 54 : 8 = 6,75$$

Выведем формулу для расчета массовой доли металла в такой смеси. A – относительная атомная масса металла. Пусть число моль металла (x) равно 1 моль, тогда число моль нитрата равно $1/6,75=0,148$ моль.

Масса исходной смеси:

$$\begin{aligned} m(\text{исходн.}) &= m(\text{металла}) + m(\text{нитрата}) = A + (A+62n) \times 0,148 = \\ &= A + 0,148A + 9,176n = 1,148A + 9,176n \end{aligned}$$

Очень важно: на 1 моль металла приходится 6,75 моль нитрата. В результате получается уравнение, позволяющее рассчитать массовую долю металла в исходной смеси/

Массовая доля металла в смеси:

$$\omega(A) = \frac{A}{1,148A + 9,176n}$$

Массовая доля алюминия в такой смеси:

$$\omega(\text{Al}) = \frac{27}{31,00 + 27,52} = \frac{27}{58,52} = 0,4614 \text{ или } 46,14 \%$$

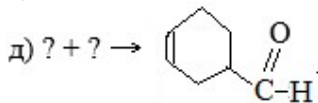
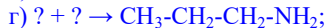
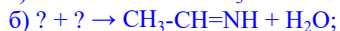
Ответ:

$$\omega(A) = \frac{A}{1,148A + 9,176n}$$

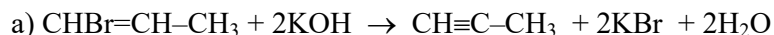
$$\omega(\text{Al}) = 46,14 \%$$

Задача 8

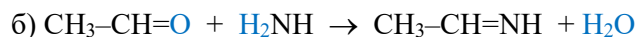
8. Определите, какие два вещества вступили в химическую реакцию, если в ее результате получены следующие продукты (указаны без коэффициентов). Напишите уравнения этих реакций и укажите условия их проведения.



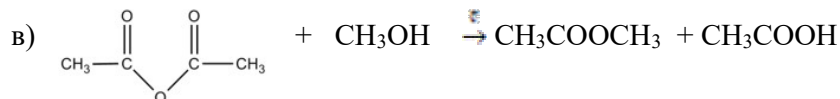
Решение:



пропускание пропена над твердым KOH при нагревании



пропускание аммиака через уксусный альдегид при низкой температуре

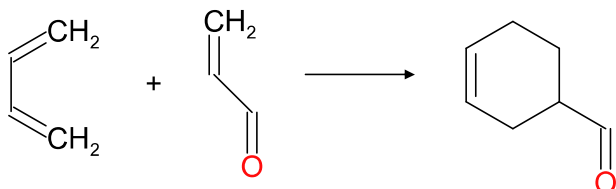


нагревание уксусного ангидрида с метанолом



восстановление водородом на катализаторе (Pd на угле) при нагревании

д) реакция циклоприсоединения (Дильса-Альдера)



Пропускание газообразной смеси бутадиена-1,3 и акролеина над катализатором Циглера ($\text{TiCl}_4/\text{AlEt}_2\text{Cl}$)

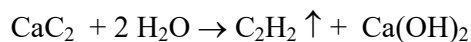
Задача 9

9. Используя **только неорганические вещества** и полученные из них прекурсоры, предложите **рациональную схему** синтеза 4-аллил-2-метоксифенола. Любая аппаратура и катализаторы в Вашем распоряжении. Напишите **уравнения реакций** с указанием условий их проведения.

Решение:

Сначала следует получить фенол из бензола и кумола.

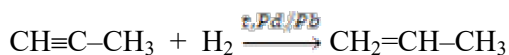
Получение ацетилена из карбида кальция и воды, затем бензола из ацетилена (реакция Зелинского):



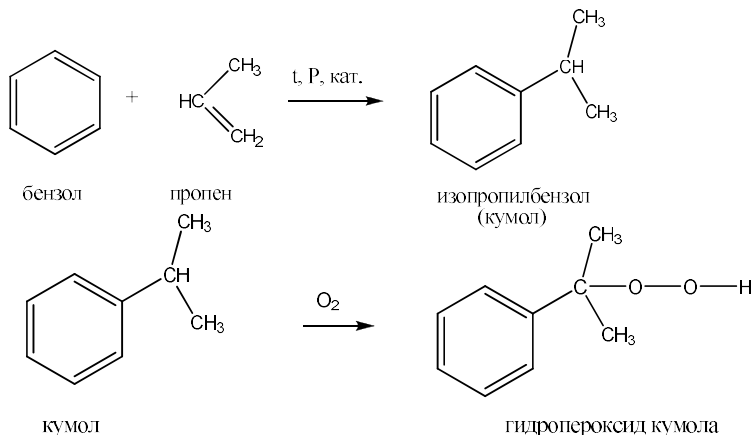
Получение пропина из карбида магния (пропенида Mg_2C_3) и воды:

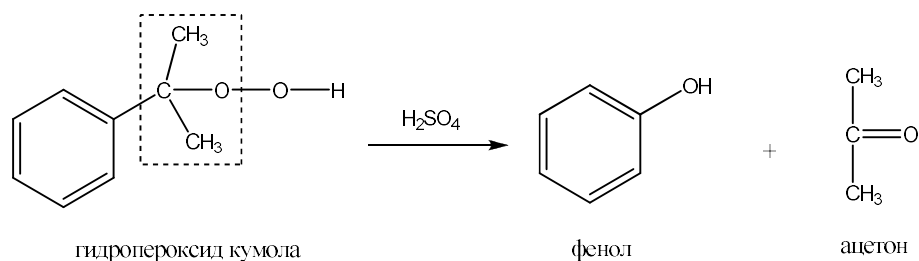


Получение пропилена из пропина гидрированием на катализаторе Линдлера:



Далее получение фенола кумольным способом: алкилирование бензола пропенем в присутствии AlCl_3 ; окисление кумола кислородом воздуха и разложение гидропероксида кумола в присутствии разбавленной серной кислоты:





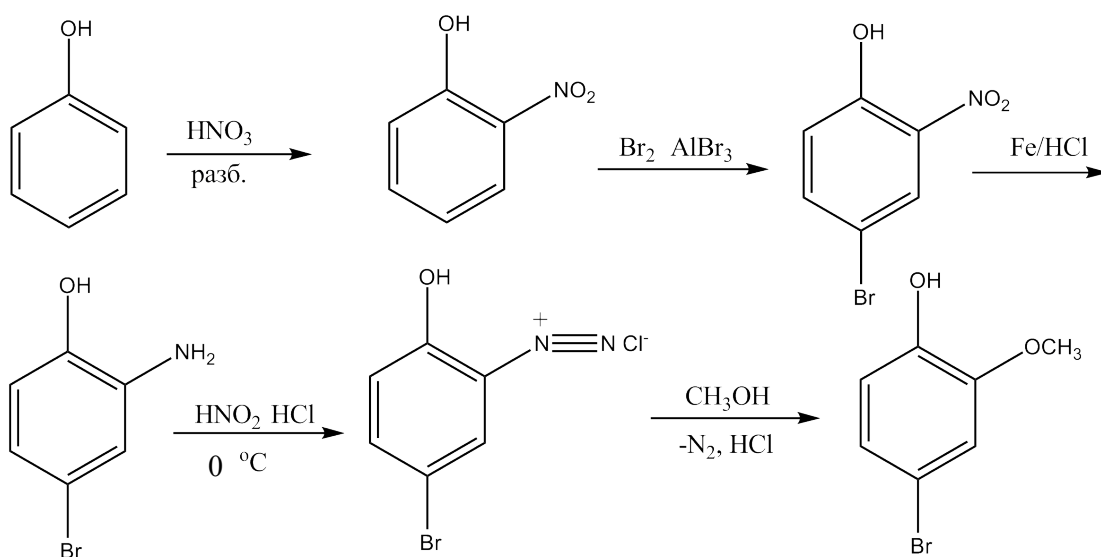
Далее в молекулу фенола необходимо ввести метоксигруппу в *орто*-положение и аллильную группу в *пара*-положение.

Сначала следует нитровать фенол разбавленной азотной кислотой, при этом образуется смесь *орто*- и *пара*-нитрофенолов, из которой выделяют *орто*-нитрофенол.

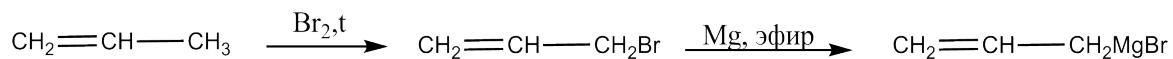
Из *орто*-нитрофенола бромированием в присутствии AlBr_3 получают 4-бром-2-нитрофенол (согласованная ориентация).

Далее 4-бром-2-нитрофенол восстанавливают по Зинину до 4-бром-2-аминофенола.

Затем получают соответствующую соль диазония, действием метанола на которую получают 2-метокси-4-бромфенол:

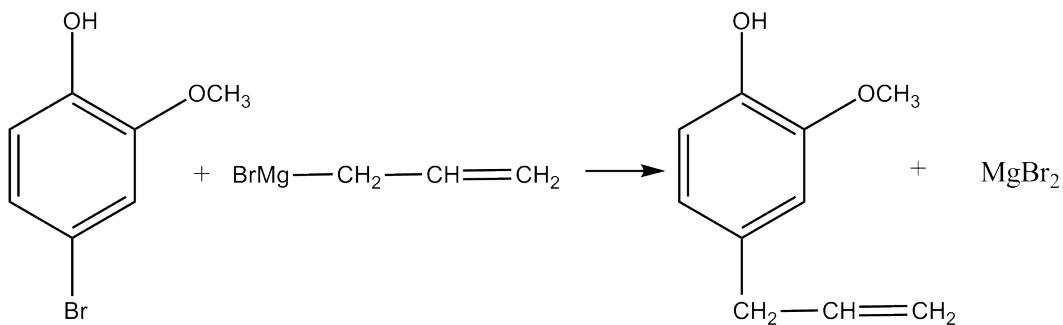


Для введения аллильной группы сначала получают аллилмагнийбромид в две стадии: аллильным бромированием пропена (получен ранее) и нагреванием аллилбромида с магнием в эфире.



Аллилмагнийбромид в результате взаимодействия с 4-бром-2-метоксифенолом дает аллил-2-метоксифенол.

4-



Задача 10

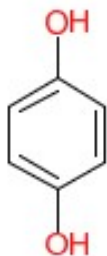
10. В процессе окисления вещества **В** образуется устойчивый молекулярный комплекс вещества **А**, содержащего 66,0 масс. % углерода и 29,4 масс. % кислорода. Данный комплекс может быть окислен до образования вещества **С** и восстановлен до вещества **В**. Определите строение вещества **А** и природу химической связи в этом веществе. Где находит **применение** вещество **А**?

Решение:

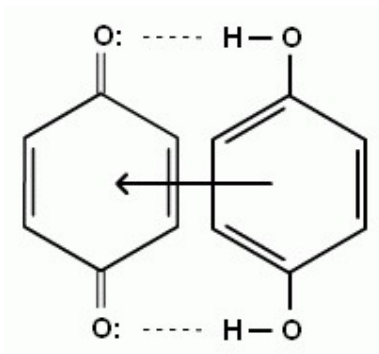
Элементный состав свидетельствует о наличии в соединении **В** еще одного элемента. Предположим, что это кислород. Установление простейшей формулы:

$$C : H : O = \frac{66}{12} : \frac{4}{1} : \frac{29,4}{16} = 5,5 : 4,6 : 1,835 = 6 : 5 : 2 .$$

Таким образом, простейшая формула соединения **В** может быть $C_6H_5O_2$. Возникает предположение о двухатомном феноле. Известным двухатомным фенолом является гидрохинон ($C_6H_6O_2$), в молекуле которого гидроксильные группы находятся в *para*-положениях относительно друг друга:



Известно, что гидрохинон достаточно легко окисляется до хинона ($C_6H_4O_2$), при этом молекула гидрохинона теряет два электрона. Промежуточным продуктом окисления является молекулярный комплекс темно-зеленого цвета, состоящий из одной молекулы гидрохинона и одной молекулы хинона (простейшая формула $C_6H_5O_2$). Он получил название **хингидрон**, Молекулярная формула хингидрона ($C_6H_5O_2$)₂ соответствует условию задачи:



Устойчивость молекулярного комплекса хингидрона поддерживается водородными связями и донорно-акцепторным взаимодействием между кольцами гидрохинона (донор) и хинона (акцептор). Такие комплексы называются комплексы с переносом заряда (КПЗ).

Хингидрон используется в электрохимии в конструкции хингидронного электрода ($E^{\circ}_{298}=0,6992$ В).

Интересными были все десять задач

Хингидрон используется также в аналитической химии как окислительно-восстановительный индикатор. Применяется в качестве лабораторного реактива для проведения научных исследований и экспериментов. Используется в качестве промежуточного продукта для производства других химических веществ. Окислительные свойства гидрохинона проявляются в биохимических реакциях, является очень важной системой окисления - восстановления. Он применяется при погенциометрическом определении концентрации ионов водорода хингидронным электродом.