

Министерство образования и науки Российской Федерации
Нижекамский химико-технологический институт (филиал)
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего профессионального образования
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»

**Профильная школа старшеклассников «Орбиталь»
имени Петра Анатольевича Кирпичникова**

**П.А. Гуревич, Т.Р. Сафиуллина,
М.А. Хусаинов, Р.Х. Нуртдинов**

ХИМИЯ В ЗАДАЧАХ
(с решениями и объяснениями)
УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

**Нижекамск
2012**

УДК 54
Г 95

Печатается по решению редакционно-издательского совета Нижнекамского химико-технологического института (филиал) ФГБОУ ВПО «КНИТУ».

Рецензенты:

Хусаинова Н.Г., доктор химических наук, профессор Казанского (приволжского) федерального университета;
Вдовина С.В., кандидат химических наук, доцент кафедры химии Нижнекамского химико-технологического института (филиала) ФГБОУ ВПО «КНИТУ».

Гуревич, П.А.

Г 95 Химия в задачах (с решениями и объяснениями) : учебно-методическое пособие / П.А. Гуревич [и др.]. – Нижнекамск : Нижнекамский химико-технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «КНИТУ», 2012. - 132 с.

Для учащихся старших классов средней школы, студентов первых курсов, обучающихся по направлениям бакалавриата технологического образования.

УДК 54

© Гуревич П.А., Сафиуллина Т.Р.,
Хусаинов М.А., Нуртдинов Р.Х., 2012
© Нижнекамский химико-технологический
институт (филиал) ФГБОУ ВПО
«КНИТУ», 2012

От авторов

Предлагаемая вниманию читателя книга «Химия в задачах» отличается от имеющихся пособий краткостью изложения материала, но в то же время в ней имеется большое количество задач и упражнений. Открывая данную книгу, читатель попадет в увлекательный мир химии. Авторы попытались соединить теоретические знания с практическим приложением – дать краткую информацию о прикладном характере органических соединений и сферах их использования. Цель данной книги – помочь учащимся упорядочить свои знания и представления о предмете, понять, что химия – это увлекательная, постоянно обогащающаяся наука.

Значимость химии постоянно растет, наша Республика ориентирована на добычу и переработку нефти, а для этого нужны грамотные специалисты. Основную подготовку таких специалистов проводят в Казанском национальном исследовательском технологическом университете. В профильной школе для старшеклассников «Орбиталь» приобщают учащихся к азам экспериментальных исследований, знакомят их с достижениями науки, что позволяет школьникам осмысленно выбирать будущую профессию. Данное учебно-методическое пособие будет полезным как для участников школы «Орбиталь», так и для учащихся общеобразовательных школ.

Достоинством книги является наличие задач и упражнений с полным решением, что позволит не только закрепить знания, но и проверить себя. Задачи расположены в порядке возрастания их сложности, что позволит пользователю выбрать наиболее оптимальный для него уровень сложности.

Для тех, кто глубже заинтересуется современными работами в области органической химии можно порекомендовать *Интернет* при поиске необходимой информации по тому или иному вопросу. Приводим адреса некоторых сайтов, которые так или иначе могут оказаться полезными при выполнении научной работы.

1. www.chemweb.com. Достаточно крупный web-узел, включающий ряд поисковых систем.
 - a) *Belstein Abstracts*. Включает информацию о публикациях, начиная с 1980 года и позднее: название источника, год, номер тома, страницы, краткое содержание публикации.
 - b) *Ряд баз ACD labs*, включающих разнообразную информацию: физические константы органических соединений, данные ЯМР-спектров для тех или иных соединений и пр.
 - c) *Reaction citation index*. Удобная в пользовании информационная база, одним из основных недостатков которой является небольшой промежуток времени, который она охватывает (с начала 90-х годов по наше время). База позволяет осуществлять поиск на основе структурных формул продуктов и реагентов, входящих в уравнение той или иной реакции.

Также на указанном сервере можно найти информацию (иногда за доступ к ней необходимо платить) о последних выпусках химических журналов, проводимых конференциях и т.д.

2. www.acs.org. Официальный сайт Американского химического общества. Предоставляет доступ к текстам статей во многих журналах (выпуски последних лет), а также предоставляет информацию о происходящих в научном мире событиях.
3. www.liv.ac.uk/Chemistry/Links/links.html. Полезный портал, содержащий большое количество полезной учебно-научной информации в области химии.
4. www.uark.edu/campus-resources/mcintosh/organiclinks.html. Сайт, предоставляющий информацию о том, какие исследования проводятся различными научными группами в настоящее время.
5. www.e-library.ru. Предоставляет доступ к полнотекстовым версиям статей, вышедших в последнее время. Публикует также различные новости.

Это краткий список ресурсов Интернета. Наилучший способ узнать о них больше – посетить эти сайты. По перекрёстным ссылкам можно узнать намного больше о возможностях современных информационных технологий.

Надеемся, что данное учебное пособие поможет Вам узнать немало нового и увлекательного о химии, найти ответы на интересующие Вас вопросы, пробудит и разовьет интерес к замечательной науке - химии.

Школа “Орбиталь” создана в 1972 г. За эти годы активный отдых с углублением знаний по естественным дисциплинам в профильной школе совмещали свыше 9800 школьников из всех регионов страны. В 1977 г. на базе “Орбитали” проводился Всесоюзный слёт юных химиков, в котором участвовали 305 старшеклассников из 77 регионов. В нашей школе занимались победители Международных, Всесоюзных, Всероссийских, Республиканских олимпиад школьников по химии. Среди орбитальцев - академик Российской Академии наук Олег Герольдович Синяшин - директор института органической и физической химии им. А.Е.Арбузова, член-корр. РАН В.Ф. Миронов, доктора химических, медицинских наук, профессора КФ(П)У. КГМУ, ИОФХ, КНИТУ, несколько сот кандидатов химических наук и тех, кто связал свою профессию с химией.

В разные годы лекции орбитальцам читали академики Б.А.Арбузов, М.И.Кабачник, А.В.Новоселова, И.А.Тарчевский, И.В.Петрянов-Соколов, О.Г. Синяшин, П.А.Кирпичников, С.Г.Дьяконов, Н.С.Ахметов; гостями были члены редколлегии журнала “Химия и жизнь”. Три Международных школы с участием ребят из Германии, Болгарии, Польши проводились на базе ЛХШ.

Самое же главное, что остается в душах многих поколений орбитальцев – это общение друг с другом, новые знакомства, дружба на долгие годы.

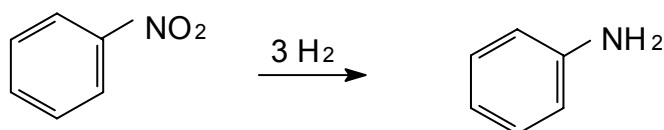
Школа “Орбиталь” носит имя Петра Анатольевича Кирпичникова - члена корр. АН СССР и РАН, почётного академика АН Татарстана и Башкортостана, Заслуженного деятеля науки и техники РФ и РТ, лауреата Государственной премии, стоявшего у истоков профильной школы, вложившего душу в её создание, очень много сделавшего для того, чтобы “Орбиталь” развивалась и помогала увлечённым наукой учащимся найти своё призвание.

В 2011 году, объявленным Генеральной ассамблеей ООН «Международным годом химии», проводившемся под девизом «Химия - наша жизнь, наше будущее», профильная школа «Орбиталь» отметила 40-летний юбилей!

К этой дате была выпущена книга «Орбиталь» - мечта и увлечение», в которой цитируются слова из письма профессора Вологодского педуниверситета И.А. Подольного, воспоминания которого в 80-е годы получили премию «За самую добрую книгу года»: *Так что же главное в “Орбитали”? Я думал для себя долго и заключил, что вовсе не химия... (Как это, вроде бы, и ни жалко!). Главное в том, что у ребят формируется новое уважительное отношение к интеллекту! Они впервые и в самом продуктивном возрасте встречаются с личностями!*

Видные представители Казанской школы химиков-органиков

Зинин Николай Николаевич (1812-1880). Основатель кафедры органической химии Казанского университета, академик, открыл (1842) реакцию восстановления ароматических нитросоединений в амины (*реакция Зинина*):



(Анилин был найден в 1826 г. О. Унфердорбеном среди продуктов сухой перегонки красителя *индиго*, а в 1839 г. Рунге обнаружил анилин в каменноугольной смоле).

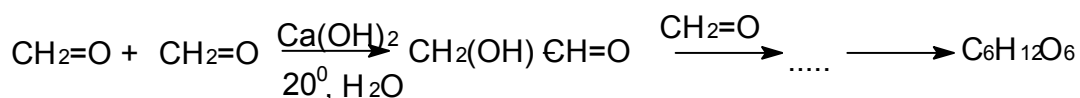
Открытие Н.Н. Зинина положило начало промышленному органическому синтезу, в частности, анилинокрасочной промышленности. Президент немецкого химического общества *Гофман* писал: «Если бы Зинин не сделал ничего более, кроме превращения нитробензола в анилин. То и тогда его имя осталось бы записанным золотыми буквами в истории химии».

Открыл перегруппировку гидразобензола в бензидин под действием кислот. Открыл уреиды. Один из организаторов Русского химического общества и первый его президент.

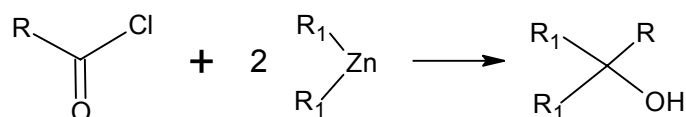
Клаус Карл Карлович (1796-1864) в 1844 году открыл элемент *рутений*.

Бутлеров Александр Михайлович (1828-1886). Профессор Казанского, затем Петербургского университетов, академик. Создатель теории строения органических соединений. Открыл реакцию полимеризации, осуществил синтез сахаристого вещества, изучал гидратацию этилена. Очень много сделал для развития пчеловодства в России. Некоторые из реакций, открытых Бутлеровым:

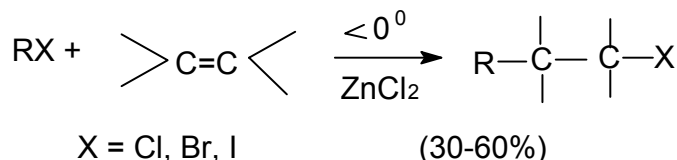
– получение сахаристых веществ:



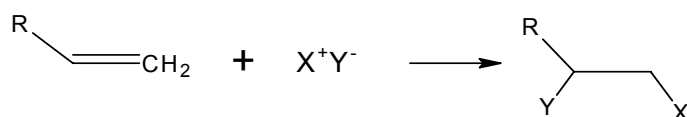
– получение третичных спиртов:



– присоединение алкилгалогенидов к олефинам (в присутствии окисей или хлоридов тяжелых металлов):

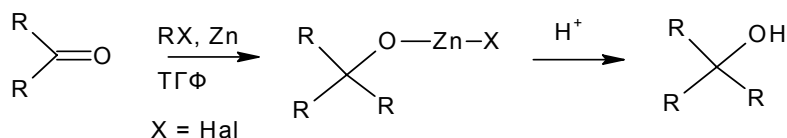


Марковников Владимир Васильевич (1837-1904). Выпускник Казанского университета, ученик А.М. Бутлерова, профессор Московского университета. Изучая состав кавказской нефти, открыл класс нафтенов (циклопарафиновых углеводородов); сформулировал правило, которое звучит так: “при действии на несимметричные алкены (алкины) полярными реагентами положительная часть реагента присоединяется к более гидрированному углероду кратной связи”:



Впервые изучил превращения нафтенов в ароматические углеводороды; доказал существование циклов с числом углеродных атомов от 3 до 8; установил взаимные изомерные превращения циклов в сторону как увеличения, так и уменьшения числа атомов в кольце.

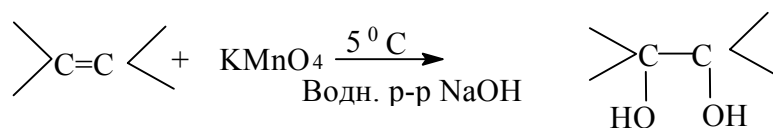
Зайцев Александр Михайлович (1841-1910). Заведующий кафедрой органической химии Казанского университета. Среди его учеников 12 стали профессорами. Предложил правило, согласно которому: при действии на галогенопроизводные спиртового раствора щёлочи, а на спирты – концентрированной серной кислоты, отщепляется HX или H₂O таким образом, что водород уходит от соседнего к гетероатому менее гидрированного атома углерода (*правило Зайцева*). Реакция *Зайцева* - получение вторичных и третичных спиртов действием на карбонильное соединение цинка и алкилгалогенида:



Реакция *Роземунда-Зайцева* – каталитическое восстановление хлорангидридов кислот в альдегиды.

Флавицкий Флавиан Михайлович (1848-1917) исследовал сложные природные вещества – терпены – составную часть смол хвойных деревьев.

Вагнер Егор Егорович (1849-1903) – выпускник Казанского университета, открыл качественную реакцию окисления олефинов действием перманганата калия в щелочной среде в мягких условиях, приводящую к образованию двухатомных спиртов – *диолов*:



Используя этот метод, доказал неопредельный характер ряда терпенов; установил строение лимонена (1895), α -пинена – основных компонентов русских сосновых скипидаров; открыл (1899) камфеновую перегруппировку на примере перехода борнеола в камфен и обратно (*перегруппировка Вагнера-Меервейна*)

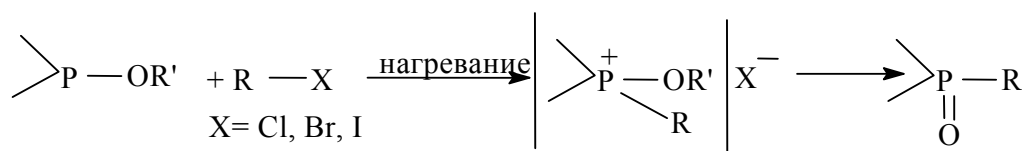
Реформатский Сергей Николаевич (1860-1934) выпускник Казанского университета; в 1887 г. в “*Berichte der deutschen chemischen gesellschaft*” (*Ber.*) опубликовал статью о синтезе β -гидроксикарбоновых кислот взаимодействием карбонильных производных с галогенокарбоновыми кислотами и цинком:



Автор учебника “Начальный курс органической химии”, выдержавшего с 1893 по 1930 17 изданий; создатель киевской школы химиков-органиков.

Намёткин Сергей Семенович (1876-1950) родился в Казани; совместно с *Л.Я.Брюсовой* открыл камфеновую перегруппировку II рода (*перегруппировка Наметкина*); открыл реакцию каталитической гидрополимеризации неопредельных углеводородов; разработал методы определения алкенов в нефтепродуктах; способы обессеривания нефти; метод прямого окисления углеводородов до альдегидов и спиртов. Вел работы в области душистых веществ и стимуляторов роста. Написал монографию “Химия нефти” (ч. 1-2, 1932-1935).

Арбузов Александр Ерминингельдович (1877-1968). Окончил Казанский университет в 1900 г. Академик, в 1905 г. описал перегруппировку эфиров кислот P (III) при реакции с галогенопроизводными углеводородов в производные кислот P(V) (*реакция Арбузова*):



Основоположник изучения химии фосфоорганических соединений в России. В 1911 году возглавил кафедру органической химии Казанского университета, с 1930 по 1962 годы заведовал кафедрой органической химии Казанского химико-технологического университета.

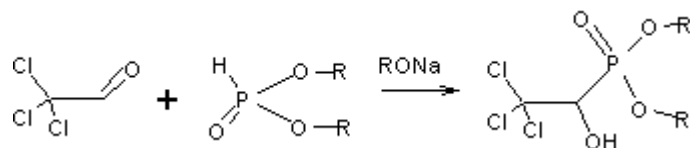
Вместе с сыном академиком Борисом Александровичем Арбузовым разработал новый способ подсочки хвойных деревьев и технику сбора живицы. Установил физиологическую активность ряда синтезированных им и его учениками ФОС. Написал пособие по стеклодувному делу; автор работ по истории химии.

Арбузов Борис Александрович (1903-1991) – академик, преемник отца по кафедре органической химии Казанского университета и научно-исследовательского химического института им. А.М. Бутлерова; организатор и первый директор института органической и физической химии им. А.Е. Арбузова, созданного в 1965 г. В 30-е годы в Казанском химико-технологическом

институте организовал и возглавил кафедру синтетического каучука. С учениками и сотрудниками изучал химию фосфоорганических соединений, химию терпенов, химию непредельных соединений, стереохимию органических соединений. Одним из первых стал применять физические методы для изучения строения и реакционной способности органических соединений.

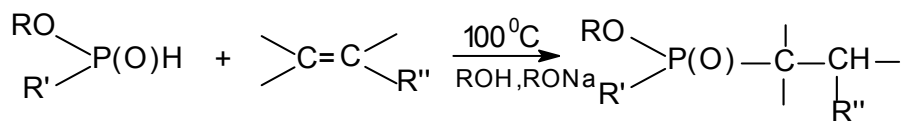
Разумов Александр Иванович (1897–1987) – ученик А.Е. Арбузова, преемник его на посту заведующего кафедрой органической химии КХТИ (КГТУ). Работал в области практического применения фосфоорганических соединений и реализации выпуска лекарственных препаратов на их основе.

Абрамов Василий Семёнович (1904-1968). Его имя носит реакция карбонильных производных с диалкиловыми эфирами фосфористой кислоты. По этой реакции получают инсектицид *хлорофос*:



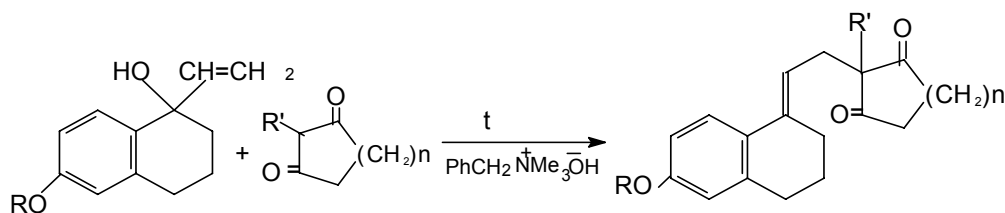
Профессор Казанского химико-технологического института.

Пудовик Аркадий Николаевич (род.1916-2006). Член-корреспондент АН СССР и РАН, лауреат Государственной премии. В 1947 г. в Казанском университете открыл реакцию присоединения неполных эфиров фосфонистых и фосфористой кислот к непредельным соединениям с активированной кратной связью в присутствии алкоголятов щелочных металлов:



R = Alk; R' = Alk, Ar, OAlk; R'' = COAlk, COAr; COOAlk, COOH, CHO

Торгов Игорь Владимирович (род.1912 г.), член-корреспондент АН СССР и РАН, выпускник Казанского химико-технологического института – специалист в области природных соединений – разработал способ конденсации α-гидрокси-α-винилтетралинов с циклическими 1,3-дикетонами в присутствии оснований:



Решил проблему получения оптических изомеров природных и модифицированных стероидов; разработал простой и короткий синтез эстрона (1962).

Кирпичников Пётр Анатольевич (1913-1997) член-корреспондент АН СССР и РАН. Основные научные работы в области технологии высокомолекулярных соединений; внес большой вклад в развитие химико-технологического образования в стране, в организацию научных исследований по химии и техно-

логии производства важных каучуков, резин, полимерных композиционных материалов; крупный организатор науки, педагог, воспитатель научной молодежи. Ректор Казанского химико-технологического института, лауреат Государственной премии (организатор школы «Орбиталь»).

Камай Гильм Хайревич (1901-1970) – создатель нового научного направления в Казани – химии мышьякорганических соединений, организатор нескольких новых кафедр в химико-технологическом институте, руководитель лаборатории в химическом институте Казанского филиала Академии наук СССР, ректор КГУ с 1935 по 1937 гг., лауреат государственной премии.

Коновалов Александр Иванович (род. 1934 г.). Академик, с 2001 г. член Президиума Российской академии наук. Ректор КГУ (1979-1990), свыше 10 лет – директор института органической и физической химии КНЦ РАН. С 1996 года по 2008 год - председатель Президиума Казанского научного центра РАН. С 2008 г. А.И. Коновалов – советник РАН Казанского научного центра Российской академии наук. Основные направления научных исследований: физическая органическая химия (реакционная способность, сольватация, кислотность органических соединений), химия элементоорганических соединений, химия возобновляемого природного сырья, супрамолекулярная химия.

Верещагин Александр Николаевич (1938-1989) – профессор, директор ИОФХ им. А.Е. Арбузова, внёс большой вклад в создание современной экспериментальной базы для изучения конформационных равновесий и конформационных эффектов в разных классах и типах органических соединений.

Синяшин Олег Герольдович (род. 1956 г.) – академик РАН, директор Института органической и физической химии им. А.Е. Арбузова Казанского НЦ РАН, председатель Президиума Казанского научного центра РАН, заведующий лабораторией металлоорганических соединений ИОФХ им.А.Е. Арбузова Казанского научного центра РАН (с 1996 г.), заведующий кафедрой органической химии Казанского государственного технологического университета (с 2001 г.), Основные научные направления: химия фосфорорганических соединений; синтез, структура и свойства металлорганических соединений; химия фуллеренов и их органических производных; электрохимический синтез органических и элементоорганических соединений; супрамолекулярная химия; "green chemistry" («Орбиталь-1972»).

Антипин Игорь Сергеевич (род. 1954 г.) – член-корреспондент РАН, координатор научного объединения SupraChem, заведующий кафедрой органической химии КГУ, зав. лабораторией ИОФХ им. А.Е. Арбузова Казанского научного центра РАН, работы в области изучения кислотно-основных свойств органических соединений; термодинамики межмолекулярных взаимодействий и сольватации органических соединений в неводных растворителях; нанотехнологий, супрамолекулярной химии калликсаренов; руководит исследованием закономерностей процессов самоорганизации и распознавания с участием синтезированных соединений для создания наноразмерных систем и устройств с различными функциональными свойствами; синтезом макроциклических соединений циклофановой природы (лектор школы «Орбиталь»).

Миронов Владимир Фёдорович (род.1957 г.) – член-корреспондент РАН, заведующий лабораторией фосфорсодержащих аналогов природных соединений ИОФХ им. А.Е. Арбузова КазНЦ РАН, профессор химического института им. А.М. Бутлерова КГУ. Работы в области химии фосфорфторорганических соединений (фосфоранов, фторалкилфосфитов, Р-гетероциклов); открыта новая реакция тригалогенаренофосфолов с монозамещенными ацетиленами, приводящая к фосфакумаринам, а также предложен новый вариант этой реакции: в трехкомпонентной системе орто-хинон - терминальный ацетилен - тригалогенид фосфора; развивает направление по химии и технологии растительных веществ и природных соединений («Орбиталь-1973»).

УЧИМСЯ РЕШАТЬ ЗАДАЧИ

Введение

Химические расчётные задачи условно можно разделить на три группы:

1. Задачи, решаемые с использованием химической формулы вещества или на вывод формулы.
2. Задачи, для решения которых используют уравнения химических реакций.
3. Задачи, связанные с растворами веществ.

Каждая из этих групп, включает различные виды задач, например в первую группу входят задачи, располагая которые по мере усложнения можно выделить более 15 видов:

- 1) расчет относительной молекулярной массы соединения;
- 2) вычисление отношений масс элементов в веществе;
- 3) определение массовой доли элемента в соединении;
- 4) расчет массы элемента по известной массе вещества, содержащего данный элемент;
- 5) вычисление массы вещества по массе элемента в нем;
- 6) определение относительной плотности газа;
- 7) вычисление относительной молекулярной массы газа по его относительной плотности;
- 8) вычисление количества вещества по его массе;
- 9) расчет массы по известному количеству вещества;
- 10) расчет простейшей формулы вещества по массовым долям элементов в соединении;
- 11) определение молекулярной формулы вещества по массовым долям элементов и относительной плотности газа;
- 12) определение формулы вещества по известной массе продуктов горения;
- 13) расчет числа частиц вещества по его массе, по количеству вещества или по объему (для газов);
- 14) определение массы газообразного вещества по его объему;
- 15) вычисление объема газообразного вещества по его массе, по количеству вещества.

Могут быть и другие типы задач.

При изучении химии и решении задач необходимо знание терминов и понятий, принятых в химии, и их обозначения

$\omega(x)$	— массовая доля	% (доли ед.)
$\eta(x)$	— массовая доля выхода (выход продукта)	% (доли ед.)
$C(x)$	— молярная концентрация	моль/л
$V(x)$	— объём	л (мл, м ³)
V_m	— молярный объём	л/моль
$\varphi(x)$	— объёмная доля	% (доли ед.)
$D_{H_2}(x)$	— относительная плотность газа по водороду	—
$D_{возд}(x)$	— относительная плотность газа по воздуху	—
$\rho(x)$	— плотность вещества	г/мл (г/см ³ , кг/л)

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

$A_r(x)^*$	— относительная атомная масса	а.е.м.
$M_r(x)$	— относительная молекулярная масса	а.е.м.
$M(x)$	— молярная масса	г/моль
$n(x)$	— количество вещества	моль
χ	— молярная доля	—
$m(x)$	— масса	г (кг, т)
$\rho(p-ра)$	— плотность раствора	г/мл (г/см ³ , кг/л)
$N(x)$	— число структурных единиц	—
N_A	— число Авогадро	моль ⁻¹
T	— температура по шкале Кельвина	К
t	— температура по шкале Цельсия	°С
p	— давление	кПа (Па)
v	— скорость реакции	моль/л • с
γ	— температурный коэффициент	—
τ	— время	—
$\Delta H (-Q)$ (Дж)	— изменение энтальпии (тепловой эффект химической реакции) кДж	—
α	— степень электролитической диссоциации	—

* Здесь и везде x — химическая формула вещества.

Для решения задач по химии необходимо знать и уметь применять важные соотношения между различными физико-химическими величинами. На первом этапе обучения особенно важно умение пользоваться пропорцией как математическим действием.

Полезно запомнить следующие выражения и понятия:

Решение задач обычно проводят с использованием *молей* вещества. Моль — единица количества вещества.

Число молей подсчитывается по формуле: $n = \frac{m}{M}$

m – масса вещества, выраженная в граммах, M – молекулярная масса вещества г/моль, n – число молей вещества. Если вещество – газ, и приведён объём газа, то число молей подсчитывается через мольный объём газа: 1 моль любого газа при нормальных условиях (н.у.) занимает объём 22,4 л.

$$n = \frac{V(\text{газа})}{22,4}$$

$V(\text{газа})$ – это объём газа в литрах при нормальных условиях (н.у.). За нормальные условия приняты температура – 0 °С, т.е. 273 К., а давление 101,3 кПа (килопаскалей). Если условия отличаются от нормальных, число молей выражают из уравнения Клапейрона-Менделеева:

$$P \times V = n \times R \times T \quad \text{т.е.} \quad n = \frac{P \times V}{R \times T}$$

где R – универсальная газовая постоянная в единицах СИ равная 8,314 Дж/(моль × К), T – абсолютная температура (К), равная: (t °С + 273).

Часто в задачах приводится масса раствора, или смеси, где вещество, которое требуется «обсчитать», составляет лишь некоторую часть от приведённой массы. Обычно содержание вещества в смеси приводится в виде массовых или объёмных долей, выраженных либо в процентах, либо в долях единицы:

$$\omega\% = \frac{m(\text{вещества})}{m(\text{смеси})} \times 100 \quad \omega = \frac{m(\text{вещества})}{m(\text{смеси})}$$

$\omega\%$ – массовая доля какого либо вещества в смеси, выраженная в %, а ω – та же величина, выраженная в долях единицы. Их соотношение таково: 10% – это 0,1, 40% – 0,4 и т. д.

m (вещества) – масса (г, кг) вещества в смеси, или растворе; m (смеси) – масса (г, кг) смеси, или раствора. Масса смеси складывается из масс всех составляющих смесь компонентов.

Объёмная доля выражается аналогично массовой, но вместо масс вещества и смеси используются объёмы вещества и смеси:

$$\varphi\% = \frac{V(\text{вещества})}{V(\text{смеси})} \times 100 \quad \varphi = \frac{V(\text{вещества})}{V(\text{смеси})}$$

Особенно часто вычисления с объёмными долями применяются для газов. Разумеется, что и массы для вычисления массовой доли и объёмы при вычислениях объёмной доли используются в одинаковых размерностях – граммы с граммами, литры с литрами.

Через приведённые соотношения может быть найдена любая из входящих в формулу физико-химических величин, если известны все другие, кроме одной, искомой. С математической точки зрения отыскание любой из величин, входящих в математическое уравнение сводится к преобразованию выражения к уравнению с одним неизвестным, которое и вычисляется. Если в математическом выражении оказывается два неизвестных, требуется составить систему уравнений таким образом, чтобы переменные x и y первого уравнения входили бы и во второе уравнение. Решение системы позволит найти обе переменных.

Следует обратить внимание и на число Авогадро – $N_{(A)}$. Оно указывает на содержание числа частиц (атомов или молекул) в одном моле любого вещества. В одном моле вещества содержится $6,02 \cdot 10^{23}$ молекул (или атомов, если вещество находится в атомном состоянии).

Практический совет: на начальном этапе обучения по решению задач надо использовать метод пропорции. Кроме того, в выбранную для решения формулу можно попытаться подставить численные значения величин из задачи, тогда может получиться уравнение с одним неизвестным, которое и надо вычислить.

Среди различных типов задач есть задачи, суть решения которых одинакова. Это так называемые взаимнообратные задачи, для понимания которых необходимо выявлять связи между взаимнообратными понятиями, проводить сравнение и делать обобщения. Понятия «прямая» и «обратная» задачи являются условными, и рассматривать их нужно в единстве. Любая обратная задача может быть получена из прямой, если данные этой задачи становятся искомой величиной, а ответ прямой задачи входит в условие обратной.

Прямая задача. Вычислите массовые доли элементов в карбонате кальция.

Обратная задача. Выведите формулу вещества, в состав которого входят 40% кальция, 12% углерода, 48% кислорода. Относительная молекулярная масса вещества равна 100.

Решение прямой задачи начинается с вычисления по формуле относительной молекулярной массы карбоната кальция, а затем расчёт ведётся с использованием формулы:

$$\omega = n \cdot A_r / M_r.$$

Здесь: ω – массовая доля элемента в молекуле, выраженная в долях единицы, n – число атомов элемента r в составе молекулы, A_r – атомный вес элемента r , M – молекулярная масса вещества r

Решение обратной задачи производится по этой же формуле, только записывают выражение для вычисления числа атомов: $n = \omega \cdot M_r / A_r$

И это не больше чем пример. Авторы не ставят своей целью разобрать классификацию количественных задач по химии. На многочисленных приведённых подробных решениях задач авторы надеются сформировать у вдумчивого читателя собственные представления об алгоритмах поиска решений химических задач самого разнообразного типа. Причём, следует всегда помнить, что в некоторых задачах присутствует только математическая составляющая, другие же задачи содержат явный, а иногда и тайный химический смысл. Неумение разобраться в химической составляющей задачи приводит к неверному решению даже при правильном использовании математических формул.

1. ОБЩАЯ ХИМИЯ

1.1. Основные понятия и законы химии

Задачи с решениями

Задача 1. Рассчитайте относительную молекулярную массу серной кислоты H_2SO_4 .

Решение. Молекулярная масса $M_r(H_2SO_4) = 2 \cdot A_r(H) + 1 \cdot A_r(S) + 4 \cdot A_r(O)$.

Для нахождения относительных атомных весов (A_r) воспользуемся периодической таблицей и округлёнными значениями атомных масс.

$$M_r(H_2SO_4) = 2 \cdot 1 + 1 \cdot 32 + 4 \cdot 16 = 98$$

Ответ. $M_r(H_2SO_4) = 98$ г/моль

Задача 2. Сколько молекул (H_2SO_4) содержится в 4,9 г серной кислоты? Сколько атомов водорода содержится в таком количестве H_2SO_4 ?

Решение . Подсчитываем число молей серной кислоты, содержащихся в 4,9 г по формуле: $n_{\text{моль}} = m/M_{\text{моль}}$. Из предыдущей задачи берём значение $M_r(H_2SO_4) = 98$ г/моль. $n_{\text{моль}} = 4,9 : 98 = 0,05$. Для нахождения числа молекул необходимо умножить число Авогадро на число молей:

$$N(H_2SO_4) = 0,05 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 3 \cdot 10^{22} \text{ (молекул)}$$

Далее, в одной молекуле H_2SO_4 содержится 2 атома Н

(в одном моле H_2SO_4 — 2 моля атомов Н)

в $3 \cdot 10^{22}$ молекул H_2SO_4 — $2 \cdot 3 \cdot 10^{22}$ атомов Н = $6 \cdot 10^{22}$ атомов Н

Разделив число атомов Н на число Авогадро, получим число молей атомов Н:

$$N(H) = \frac{6 \cdot 10^{22}}{6,02 \cdot 10^{23}} = 0,1 \text{ моль}$$

Другое решение этой задачи: в молекуле серной кислоты содержится два атома водорода. Значит, число молей водорода буде в два раза больше числа молей серной кислоты:

$$N(H) = 0,05 \cdot 2 = 0,1 \text{ моль}$$

Ответ. $3 \cdot 10^{22}$ молекул H_2SO_4 , 0,1 моль атомов Н

Задача 3. Вычислите число атомов азота в 100 г карбоната аммония, содержащего 10% не азотистых примесей.

Решение. Большинство расчетных задач лучше решать в молях. Масса чистого карбоната аммония равна $m((NH_4)_2CO_3) = 100 \cdot 0,9 = 90$ г. Число молей карбоната аммония составляет $n((NH_4)_2CO_3) = \frac{m(NH_4)_2CO_3}{M(NH_4)_2CO_3} = \frac{90}{96} = 0,938$ моль. Со-

гласно химической формуле $(NH_4)_2CO_3$, в одном его моле содержится два моля N, поэтому $n(N) = 2n((NH_4)_2CO_3) = 1,876$. Число атомов азота получается умножением числа молей азота на постоянную Авогадро:

$N(N) = n \cdot N_A = 1,876 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 1,13 \cdot 10^{24}$ атомов.

Ответ. $1,13 \cdot 10^{24}$ атомов азота.

Задача 4. Определите формулу химического соединения, если массовые доли составляющих его элементов равны: Н - 2,04%, S - 32,65%, О - 65,31%.

Решение. По массовым долям элементов можно найти только простейшую формулу. Возьмем образец вещества массой 100 г и найдём отношение коли-

частей элементов (в молях) в этом образце. Для этого следует разделить массу каждого элемента на его относительную атомную массу:

$n(\text{H}): n(\text{S}): n(\text{O}) = 2,04/1 : 32,65/32 : 65,31/16 = 2,04 : 1,02 : 4,08$. Наименьшее из чисел (1,02) принимаем за единицу и находим отношение:

$n(\text{H}): n(\text{S}): n(\text{O}) = 2:1:4$.

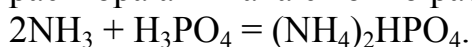
Оно означает, что в молекуле химического соединения на 2 атома водорода приходится 1 атом серы и 4 атома кислорода, следовательно, формула искомого соединения – H_2SO_4

Ответ. Формула соединения - H_2SO_4 .

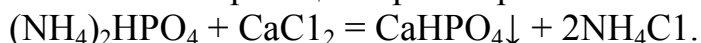
Задача 5. Определите формулу вещества, если известно, что оно содержит 6,25% P, 12,5% N, 56,25% H, 25,0% O (по молям). Назовите это вещество, предложите способ его получения и напишите одно уравнение реакции с его участием.

Решение. В предыдущей задаче были даны массовые доли элементов, которые затем перевели в мольные доли и по ним нашли простейшую формулу. В этой задаче мольные доли уже даны. Возьмем 1 моль вещества и найдем количества элементов в нем:

$n(\text{P}): n(\text{N}): n(\text{H}): n(\text{O}) = 0,0625:0,125:0,5625:0,25 = 1:2:9:4$. Отсюда простейшая формула — $\text{PN}_2\text{H}_9\text{O}_4$. Этой формуле отвечает гидрофосфат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$. Это вещество получают взаимодействием концентрированного раствора аммиака с точно рассчитанным количеством фосфорной кислоты:



Простейшая реакция, которую можно придумать с участием этого вещества, — это обменная реакция с растворимыми солями кальция в водном растворе:



Ответ. $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$.

Задача 6. Установите формулу кристаллогидрата сульфата железа (II), если известно, что эта соль содержит 45,32% воды по массе.

Решение. *1-й способ.* Пусть в состав молекулы кристаллогидрата входят x молекул воды. Общая формула соли $\text{FeSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$. Один моль этой соли имеет массу $152 + 18x$, г и содержит $18x$ г воды. Массовая доля воды равна

$$\omega(\text{H}_2\text{O}) = \frac{18x}{152 + 18x} = 0,4532, \text{ откуда } x = 7.$$

2-й способ. Массовая доля соли в кристаллогидрате равна $100\% - 45,32\% = 54,68\%$. Один моль безводной соли $\text{FeSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ имеет массу 152 г, что составляет 54,68% от массы одного моля кристаллогидрата. Значит, молярная масса кристаллогидрата равна:

$M(\text{FeSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}) = 152 : 0,5468 = 278$ г/моль, откуда находим, что $x = 7$.

Ответ. $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

Задача 7. При нормальных условиях 12 л газовой смеси, состоящей из аммиака и оксида углерода (IV), имеют массу 18 г. Сколько литров каждого из газов содержит смесь?

Решение. Пусть $V(\text{NH}_3) = x$ л, $V(\text{CO}_2) = y$ л. Массы газов равны: $m(\text{NH}_3) = x/22,4 \cdot 17$ г, $m(\text{CO}_2) = y/22,4 \cdot 44$ г. Составим систему уравнений:

$$\begin{cases} x + y = 12 & (\text{объём смеси}) \\ x/22,4 \cdot 17 + y/22,4 \cdot 44 = 18 & (\text{масса смеси}) \end{cases}$$

Решая систему, находим: $x = 4,62$ л, $y = 7,38$ л.

Ответ. 4,62 л NH_3 , 7,38 л CO_2 .

Задача 8. Вычислите массовую долю хрома в смеси хромата калия и дихромата калия, в которой массовая доля калия равна 35%.

Решение. Возьмём один моль смеси и пусть $n(\text{K}_2\text{CrO}_4) = x$, $n(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 1 - x$, тогда масса смеси равна $194x + 294(1 - x) = 294 - 100x$. Количество калия в смеси равно $n(\text{K}) = 2x + 2(1 - x) = 2$ моль, а его масса составляет: $m(\text{K}) = 2 \cdot 39 = 78$ г. По определению, массовая доля калия равна:

$$\omega(\text{K}) = \frac{78}{294 - 100x} = 0,35,$$

откуда $x = 0,71$. Количество хрома в смеси равно $n(\text{Cr}) = x + 2(1 - x) = 2 - x = 1,29$ моль, а его масса составляет $m(\text{Cr}) = 1,29 \cdot 52 = 67$ г. Массовая доля хрома равна:

$$\omega(\text{Cr}) = \frac{67}{294 - (100 \cdot 0,71)} = 0,30.$$

Ответ. $\omega(\text{Cr}) = 0,30$.

Задача 9. При действии избытка соляной кислоты на 8,24 г смеси оксида марганца (IV) с неизвестным оксидом MO_2 , который не реагирует с соляной кислотой, получено 1,344 л газа (при н.у.). В ходе другого опыта установлено, что мольное отношение оксида марганца (IV) к неизвестному оксиду равно 3:1. Установите формулу неизвестного оксида и вычислите его массовую долю в смеси.

Решение. По реакции MnO_2 с соляной кислотой выделяется хлор:



Согласно уравнению реакции, количество MnO_2 равно количеству выделившегося Cl_2 : $n(\text{MnO}_2) = n(\text{Cl}_2) = V : V_m = 1,344 / 22,4 = 0,06$ моль.

Масса MnO_2 в смеси составляет $0,06 \cdot 87 = 5,22$ г. Масса второго оксида равна $8,24 - 5,22 = 3,02$ г, а его количество, по условию, равно $0,06 / 3 = 0,02$ моль. Молярная масса искомого оксида равна $M(\text{MO}_2) = 3,02 / 0,02 = 151$ г/моль, откуда атомная масса элемента M равна $151 - 32 = 119$ г/моль. Полученное значение атомной массы соответствует олову – Sn. Следовательно, в смеси содержится оксид SnO_2 , и его массовая доля равна

$$3,02 : 8,24 = 0,367, \text{ или } 36,7\%.$$

Ответ. 36,7% SnO_2 .

Задача 10. При взаимодействии 10 г некоторого металла с раствором кислоты выделилось 4 л водорода (н.у.). Определите этот металл.

Решение. Обозначим валентность металла в образующейся соли через k . Поскольку формула кислоты неизвестна, мы можем записать лишь сокращенное, ионное уравнение:



Согласно уравнению, $n(\text{Me}) = 2 / k \cdot n(\text{H}_2) = 2 / k \cdot (4 / 22,4) = 0,357 : k$ моль. Отсюда атомная масса металла равна $A(\text{Me}) = 10 / (0,357 / k) = 28k$ г/моль. Теперь надо перебрать значения k от 1 до 4 (металлы с валентностью больше 4 не образуют катионов в растворе) и посмотреть, существуют ли металлы с данной молярной массой и данной валентностью.

$k = 1, A = 28$. Элемент — кремний, неметалл. Не подходит.

$k = 2, A = 56$. Элемент — железо, валентность 2. Подходит.

$k = 3, A = 84$. Элемент — криптон, неметалл. Не подходит.

$k = 4, A = 112$. Элемент — кадмий. Кадмий не образует четырёхзарядных ионов. Не подходит.

Ответ. Железо.

Задача 11. Вычислите: а) число молекул в 8 г оксида серы (VI);

б) массу одной молекулы оксида серы (VI);

в) объём 8 г оксида серы (VI) при нормальных условиях (н.у.).

Решение. а) $M_r(\text{SO}_3) = 80, M(\text{SO}_3) = 80$ г/моль. Так как 1 моль вещества при н.у. содержит $6,02 \cdot 10^{23}$ (число Авогадро) молекул, можно составить пропорцию:

$$\begin{array}{l} 80 \text{ г } (\text{SO}_3) \text{ — молекул} \\ 8 \text{ г } (\text{SO}_3) \text{ — } x \text{ молекул} \end{array}$$

$$\text{откуда: } x = \frac{8 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}{80} = 6,02 \cdot 10^{22} \text{ молекул}$$

б) 1 моль вещества (SO_3) весит 80 г, в моле содержится $6,02 \cdot 10^{23}$ молекул. Для нахождения массы одной молекулы достаточно разделить общий вес на число молекул:

$$y = \frac{80}{6,02 \cdot 10^{23}} = 13,3 \cdot 10^{-23} \text{ (г) или } 1,33 \cdot 10^{-22} \text{ г.}$$

в) 1 моль газа при н.у. занимает объём 22,4 л. В нашем случае 1 моль (SO_3) весит 80 г. Составим пропорцию:

$$\begin{array}{l} 80 \text{ г } (\text{SO}_3) \text{ — } 22,4 \text{ л} \\ 8 \text{ г } (\text{SO}_3) \text{ — } z \text{ л} \end{array}$$

$$z = (8 \cdot 22,4) : 80 = 2,24 \text{ л}$$

Ответ. а) $N(\text{SO}_3) = 6,02 \cdot 10^{22}$ молекул; б) $m(\text{SO}_3) = 1,33 \cdot 10^{-22}$ г

в) $V(\text{SO}_3) = 2,24$ л

Задача 12. Каких атомов — железа или магния — больше в земной коре и во сколько раз? Массовые доли железа и магния в земной коре соответственно равны 0,0465 и 0,0187.

Решение. Зная массу земной коры, легко найти массу, как железа, так и магния, а далее - их количества. Обозначим массу земной коры через m (з.к.)

Находим количество вещества Fe и Mg:

$$n(\text{Fe}) = m(\text{Fe}) : M(\text{Fe}) = \frac{\omega(\text{Fe}) \cdot m(\text{з.к.})}{M(\text{Fe})} = \frac{0,0465 \cdot m(\text{з.к.})}{56} = 8,142 \cdot 10^{-5} \cdot m(\text{з.к.})$$

$$n(\text{Mg}) = m(\text{Mg}) : M(\text{Mg}) = \frac{\omega(\text{Mg}) \cdot m(\text{з.к.})}{M(\text{Mg})} = \frac{0,0187 \cdot m(\text{з.к.})}{24} = 7,791 \cdot 10^{-5} \cdot m(\text{з.к.})$$

Поскольку число атомов в количестве молей любого вещества пропорционально числу Авогадро, а число молей железа больше числа молей магния, для нахождения ответа достаточно разделить число молей железа на число молей магния:

$$\frac{8,142 \cdot 10^{-5} \cdot m(\text{з.к.})}{7,791 \cdot 10^{-5} \cdot m(\text{з.к.})} = 1,07$$

Ответ. В земной коре атомов железа в 1,07 раза больше, чем атомов магния

Задача 13. Определите молекулярную массу газа, его плотность по водороду и воздуху, если известно, что 0,5 л этого газа (н.у) имеют массу 0,625 г.

Решение. 1) Так как моль любого газа при н.у. занимает объём 22,4 л можно рассчитать молярную массу:

$$\begin{aligned} 0,5 \text{ л газа весит } 0,625 \text{ г} \\ 22,4 \text{ л газа весит } x \text{ г} \\ x = (22,4 \cdot 0,625) : 0,5 = 28 \text{ (г)} \end{aligned}$$

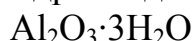
2) Рассчитываем плотность газа по водороду (по формуле $M = 2D_{\text{H}_2}(\text{газа})$) и по воздуху (по формуле $M = 29D_{\text{возд}}(\text{газа})$)

$$D_{\text{H}_2}(\text{газа}) = 28/2 = 14, \quad D_{\text{возд}}(\text{газа}) = 28/29 = 0,96$$

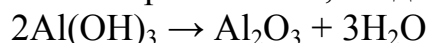
Ответ. $M(\text{газа}) = 28$ а.е.м.; $D_{\text{H}_2}(\text{газа}) = 14$; $D_{\text{возд}}(\text{газа}) = 0,96$

Задача 14. Определите массовую долю воды в гидроксиде алюминия. Ответ выразите в процентах.

Решение. Представим формулу гидроксида алюминия в виде гидрата оксида:



Пусть масса гидроксида алюминия равна 100 г, тогда по уравнению:



находим массу воды, составив простое соотношение:

$$m(\text{H}_2\text{O}) : 3M(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{Al}(\text{OH})_3) : 2M(\text{Al}(\text{OH})_3), \text{ откуда}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = (3M(\text{H}_2\text{O}) : m(\text{Al}(\text{OH})_3)) \cdot 2M(\text{Al}(\text{OH})_3) = (3 \cdot 18 \cdot 100) / (2 \cdot 78) = 34,62 \text{ (г)}$$

$$\omega(\text{H}_2\text{O}) = [m(\text{H}_2\text{O}) / m(\text{Al}(\text{OH})_3)] \cdot 100 = 34,62$$

Ответ. 34,62%

Задача 15. Сколько молекул содержится в йоде массой 50,8 г?

Решение. Определим количество вещества молекулярного йода, зная, что молярная масса I_2 равна 254 г/моль:

$$n(I_2) = m(I_2) / M(I_2) = 50,8 / 254 = 0,2 \text{ моль}$$

Используя число Авогадро $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ структурных единиц, определим число молекул йода: $N(I_2) = n(I_2) \cdot N_A = 0,2 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 1,2 \cdot 10^{23}$ (молекул)

Ответ. $1,2 \cdot 10^{23}$ (молекул)

Задача 16. Вычислите: а) относительную плотность хлора по воздуху;

- б) массу 1 л (н.у.) хлора;
в) объём (н.у.) 1 г хлора.

Решение. По формуле: $D_{\text{возд}}(\text{Cl}_2) = M(\text{Cl}_2) / M_{\text{возд}}$ находим относительную плотность, зная, что $M(\text{Cl}_2) = 71$ г/моль, $M_{\text{возд}} = 29$ г/моль

а) $D_{\text{возд}}(\text{Cl}_2) = M(\text{Cl}_2) / M_{\text{возд}} = 71 : 29 = 2,45$

по формуле: $m(\text{Cl}_2) / M(\text{Cl}_2) = V(\text{Cl}_2) / V_m$ находим:

б) $m(\text{Cl}_2) = [V(\text{Cl}_2) / V_m] \cdot M(\text{Cl}_2) = (1/22,4) \cdot 71 = 3,17$ (г)

в) $V(\text{Cl}_2) = [m(\text{Cl}_2) / M(\text{Cl}_2)] \cdot V_m = (1/71) \cdot 22,4 = 0,32$ (л)

Ответ. а) 2,45; б) 3,17 г Cl₂; в) 0,32 л Cl₂

Задача 17. Газовая смесь объёмом 12 л (н.у.), состоящая из аммиака и оксида углерода (IV), имеет массу 18 г. Сколько (л) каждого из газов содержит смесь?

Решение. Пусть $V(\text{NH}_3) = x$ л., $V(\text{CO}_2) = y$ л., тогда массы каждого из газов будут равны: $m(\text{NH}_3) = [V(\text{NH}_3) / V_m] \cdot M(\text{NH}_3) = (x/22,4) \cdot 17 = 0,76x$

$m(\text{CO}_2) = [V(\text{CO}_2) / V_m] \cdot M(\text{CO}_2) = (y/22,4) \cdot 44 = 1,96y$

Составим систему уравнений:

$$\begin{cases} x + y = 12(\text{объём смеси}) \\ 0,76x + 1,96y = 18(\text{масса смеси}) \end{cases} \quad \text{Решая систему, находим: } x = 4,62 \text{ л, } y = 7,38 \text{ л.}$$

Ответ. 4,62 л NH₃; 7,38 л CO₂

Задача 18. Неизвестное вещество массой 1,215 г, будучи переведенным в газообразное состояние при температуре 300 К и давлении 99 кПа, занимает объём 0,375 л. Определите его молярную массу.

Решение. По уравнению Клапейрона-Менделеева:

$$p \cdot V = \frac{m(x)}{M(x)} \cdot R \cdot T$$

Находим $M(x)$:

$$M(x) = \frac{m(x) \cdot R \cdot T}{p \cdot V} = \frac{1,215 \cdot 8,31 \cdot 300}{99 \cdot 0,375} = 81,5(\text{г/моль})$$

Ответ. 81,5 г/моль

Задача 19. При полном сжигании 2,66 г некоторого вещества получилось 1,54 г CO₂ и 4,48 г SO₂. Найдите простейшую формулу вещества.

Решение. Состав продуктов горения показывает, что вещество содержало углерод и серу. Кроме этих двух элементов в состав его мог входить и кислород.

- Находим массу углерода, входившего в состав вещества, для этого определим количество вещества CO₂:

$n(\text{CO}_2) = m(\text{CO}_2) / M(\text{CO}_2) = 1,54 / 44 = 0,035$ (моль),

далее количество вещества углерода: $n(\text{C}) = n(\text{CO}_2) = 0,035$ (моль)

и его массу: $m(\text{C}) = n(\text{C}) \cdot M(\text{C}) = 0,035 \cdot 12 = 0,42$ (г)

- Аналогично определяем массу серы в 4,48 г SO₂:

$n(\text{SO}_2) = m(\text{SO}_2) / M(\text{SO}_2) = 4,48 / 64 = 0,07$ (моль),

далее: $n(\text{S}) = n(\text{SO}_2) = 0,07$ (моль) и

$m(\text{S}) = n(\text{S}) \cdot M(\text{S}) = 0,07 \cdot 32 = 2,24$ (г)

3. Таким образом, в сгоревшем веществе на 0,42 г С приходится 2,24 г S. Поскольку сумма этих двух масс равна общей массе сгоревшего вещества (2,66 г), то кислорода в нем не содержится.

4. Находим число атомов элементов в простейшей формуле (C_xS_y) соединения как отношение количеств веществ элементов: $x : y = n(C) : n(S) = 0,035 : 0,07 = 1:2$

Такое отношение отвечает простейшей формуле CS_2 . Для нахождения молекулярной (истинной) формулы вещества необходимо кроме состава вещества знать его молекулярную массу.

Ответ. CS_2

Задача 20. В соединении азота с углеродом массовая доля углерода равна 46,15%. Плотность его паров по воздуху равна 1,79. Выведите истинную формулу вещества.

Решение. 1. Выберем для расчёта образец соединения массой 100 г. Обозначим число атомов углерода через x , а азота — через y . Тогда простейшая формула принимает вид: C_xN_y , а истинная — $C_{nx}N_{ny}$.

2. Рассчитаем массы элементов, содержащихся в 100 г соединения:

$$m(C) = \omega(C) \cdot m(C_xN_y) = 0,4615 \cdot 100 = 46,15 \text{ (г)}$$

$$m(N) = m(C_xN_y) - m(C) = 100 - 46,15 = 53,85 \text{ (г)}$$

3. Находим число атомов элементов в простейшей формуле соединения как отношение количеств веществ элементов, содержащихся в 100 г соединения:

$$x : y = n(C) : n(N) = \frac{m(C)}{M(C)} : \frac{m(N)}{M(N)} = \frac{46,15}{12} : \frac{53,85}{14} = 3,8 : 3,8 = 1 : 1$$

Такое отношение отвечает простейшей формуле CN. Молярная масса CN равна: $M(CN) = 26$ г/моль.

4. Для нахождения истинной формулы определяем молярную массу соединения: $M(C_{nx}N_n) = D \cdot 29 = 1,79 \cdot 29 = 51,9$ (г/моль)

5. Находим n : $n = [M(C_{nx}N_n)] : [M(C_xN_y)] = 51,9 : 26 = 2$

Истинная формула примет вид C_2N_2 .

Ответ. C_2N_2

Задача 21. При каком молярном соотношении оксида серы (IV) и аргона получается смесь, которая в два раза тяжелее воздуха?

Решение. Средняя молярная масса смеси в два раза больше средней молярной массы воздуха: $M_{cp}(SO_2, Ar) = 2 \cdot 29 = 58$ г/моль. Пусть в смеси содержится x моль SO_2 и y моль Ar. Тогда, пользуясь определением средней молярной массы, можно записать соотношение

$$M_{cp} = (64x + 44y)/(x + y) = 58, \quad \text{откуда } x = 3y.$$

Мы видим, что средняя молярная масса газовой смеси зависит от относительного, а не абсолютного количества компонентов смеси, т.е. не от x и y по отдельности, а только от их отношения.

Ответ. $\nu(SO_2) : \nu(Ar) = 3:1$.

Задача 22. Плотность смеси кислорода и озона по водороду равна 17. Определите массовую, объемную и мольную доли кислорода в смеси.

Решение. Средняя молярная масса смеси равна $17 \cdot 2 = 34$ г/моль. Пусть в смеси содержится x моль O_2 и y моль O_3 . Тогда, пользуясь определением средней молярной массы, можно записать соотношение:

$$M_{\text{cp}} = (32x + 48y)/(x + y) = 34, \text{ откуда } x = 7y.$$

Мольная доля кислорода в смеси равна $x : (x+y) = 0,875$, или 87,5%.

По закону Авогадро, объём газа прямо пропорционален его количеству, причем коэффициент пропорциональности одинаков, для всех газов и зависит только от температуры и давления, поэтому объемная доля газа в смеси всегда равна его мольной доле.

Найдём теперь массовую долю кислорода. $m(O_2) = 32x = 32 \cdot 7y = 224y$, $m(O_3) = 48y$, $m(\text{смеси}) = 224y + 48y = 272y$. Массовая доля кислорода равна: $\omega(O_2) = 224y / 272y = 0,824$, или 82,4%.

Мы видим, что мольная, объемная и массовая доли вещества в смеси не зависят от общего количества смеси (т.е., от $x + y$). Поэтому для расчетов часто выбирают любое удобное количество смеси, например 1 моль, или 100 л, или 100 г и т.д.

Ответ. Мольная и объемная доли O_2 - 87,5%, массовая доля O_2 - 82,4%.

Задача 23. Найдите плотность по азоту воздуха, имеющего следующий объемный состав: 20,0% O_2 , 79,0% N_2 , 1,0% Ar.

Решение. Поскольку объёмы газов пропорциональны их количествам (закон Авогадро), то среднюю молярную массу смеси можно выражать не только через моли, но и через объёмы:

$$M_{\text{cp}} = (M_1 \cdot V_1 + M_2 \cdot V_2 + M_3 \cdot V_3) / (V_1 + V_2 + V_3).$$

Возьмём 100 л смеси, тогда $V(O_2) = 20$ л, $V(N_2) = 79$ л, $V(Ar) = 1$ л. Подставляя эти значения в формулу, получим:

$$M_{\text{cp}} = (32 \cdot 20 + 28 \cdot 79 + 40 \cdot 1) / (20 + 79 + 1) = 28,9 \text{ г/моль}.$$

Плотность $D_{N_2} = 28,9 / 28 = 1,03$.

Ответ. $D_{N_2}(\text{возд}) = 1,03$.

Задача 24. Имеется смесь азота и углекислого газа. При добавлении какого газа к этой смеси её плотность: а) увеличится; б) уменьшится? Приведите по два примера в каждом случае.

Решение. В данном случае мы не можем точно рассчитать среднюю молярную массу, поскольку не знаем относительные количества веществ. Однако, существует простая математическая теорема, согласно которой при любом содержании компонентов средняя молярная масса всегда больше наименьшей молярной массы из всех компонентов смеси и меньше наибольшей молярной массы:

$$M_{\text{min}} < M_{\text{cp}} < M_{\text{max}}$$

В применении к данной задаче это означает, что $28 < M_{\text{cp}} < 44$.

Для того, чтобы плотность смеси увеличилась, надо добавить газ с молярной массой, большей, чем M_{cp} . Для этого достаточно, чтобы $M > 44$ г/моль, например, C_4H_{10} ($M=58$) и Kr ($M=84$).

Аналогично, для того, чтобы плотность смеси уменьшилась, надо добавить газ с молярной массой, меньшей, чем $M_{\text{ср}}$. Для этого достаточно, чтобы $M < 28$ г/моль, например, CH_4 ($M=16$) и He ($M=4$).

Ответ. а) C_4H_{10} , Kr ; б) CH_4 , He .

Задача 25. Какой из галогеноводородов находится в смеси с азотом, если известно, что при нормальном атмосферном давлении и температуре 10°C плотность смеси равна $0,8859$ г/л?

Решение. По плотности смеси можно найти среднюю молярную массу:

$$M_{\text{ср}} = \rho RT / P = (0,8859 \cdot 8,31 \cdot 343) / 101,3 = 24,9 \text{ г/моль.}$$

Один из двух газов имеет молярную массу большую, чем $M_{\text{ср}}$, - это азот; следовательно, второй газ должен иметь молярную массу меньше, чем $M_{\text{ср}}$: $M(\text{HHal}) < 24,9$ г/моль.

Этому условию удовлетворяет только фтороводород: $M(\text{HF}) = 20$ г/моль.

Ответ. HF .

Задача 26. Какой объём воздуха расходуется для полного сжигания смеси циклопропана и пропена объёмом 6 л? Объёмы газов измерены при одинаковых условиях.

Решение. Циклопропан и пропен – изомеры (общая формула C_3H_6), поэтому количество кислорода, необходимого для полного сжигания смеси, определяется только общим количеством углеводородов и не зависит от индивидуального содержания каждого из них в смеси. Общее уравнение реакций сгорания: $2\text{C}_3\text{H}_6 + 9\text{O}_2 = 6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$.

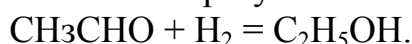
Согласно уравнению, количество O_2 в $9/2$ раз превосходит количество C_3H_6 , поэтому по закону Авогадро для сжигания 6 л C_3H_6 требуется в $4,5$ раза больше O_2 , т.е. 27 л.

Поскольку объёмная доля O_2 в воздухе равна 20% , то необходимый объём воздуха равен $27 : 0,2 = 135$ л.

Ответ. 135 л воздуха.

Задача 27. Пары этанала смешали с водородом в молярном отношении $1:2$ при давлении 300 кПа и температуре 400°C в замкнутом реакторе, предназначенном для синтеза этанола. После окончания процесса давление газов в реакторе при неизменной температуре уменьшилось на 20% . Определите объёмную долю паров этанола в реакционной смеси и процент превращения уксусного альдегида в этанол.

Решение. При гидрировании этанала образуется этанол:



Пусть в исходной смеси содержалось x моль этанала, $\nu(\text{CH}_3\text{CHO}) = x$, тогда, по условию, $\nu(\text{H}_2) = 2x$. Общее число молей газов равно $\nu_1 = 3x$.

Реакция этанала с водородом обратима. Пусть в эту реакцию вступает y моль CH_3CHO , тогда водорода расходуется также y моль, и образуется y моль $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$. В конечной смеси содержатся: $\nu(\text{CH}_3\text{CHO}) = x-y$, $\nu(\text{H}_2) = 2x-y$, $\nu(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = y$. Общее число молей газов равно $\nu_2 = (x-y) + (2x-y) + y = 3x-y$.

По условию, давление в конечной смеси уменьшилось на 20% по сравнению с исходным. Поскольку температура в процессе реакции не изменяется, и объём реактора постоянен, то уменьшение давления вызвано только уменьшением числа молей газов.

Таким образом, $v_2 = 0,8 \cdot v_1$, или $3x - y = 0,8 - 3x$, то есть $y = 0,6x$.

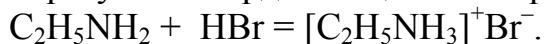
По закону Авогадро объёмная доля газа равна его мольной доле, поэтому объёмная доля паров этанола равна: $\omega(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = y / (3x - y) = 0,25$ или 25%.

Процент превращения уксусного альдегида в этанол (т.е., практический выход этанола) равен $y/x = 0,6$, или 60%.

Ответ. 25% $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, процент превращения CH_3CHO - 60%.

Задача 28. К 30 л смеси, состоящей из аргона и этиламина, добавили 20 л бромоводорода, после чего плотность газовой смеси по воздуху стала равна 1,814. Вычислите объёмные доли газов в исходной смеси

Решение. Пусть в исходной смеси содержалось x л Ar и y л $\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$ тогда $x + y = 30$. При добавлении бромоводорода происходит его реакция с этиламином, и образуется твёрдое вещество – бромид этиламмония, $[\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_3]^+\text{Br}^-$.



Средняя молярная масса оставшейся газовой смеси равна $1,814 \cdot 29 = 52,6$ г/моль. Это означает, что в газовой смеси находятся Ar и HBr (если бы в смеси остались Ar и $\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$, то $40 < M_{\text{cp}} < 45$). $V(\text{Ar}) = x$, $V(\text{HBr}) = 20 - y$.

$$M_{\text{cp}} = [40x + 81 \cdot (20 - y)] / (x + 20 - y) = 52,6.$$

$$V = x + y = 30.$$

Решая систему, находим: $x = 18$, $y = 12$. Объёмные доли равны:

$$\varphi(\text{Ar}) = (18/30) \cdot 100\% = 60\%; \quad \varphi(\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2) = (12/30) \cdot 100\% = 40\%.$$

Ответ. 60% Ar , 40% $\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$.

Задача 29. Массовые доли оксидов натрия, кальция и кремния в оконном стекле составляют соответственно 13,0, 11,7 и 75,3%. Каким молярным отношением этих оксидов выражается состав стекла?

Решение. 1. Выберем для расчёта образец стекла массой 100 г. Обозначим число молей Na_2O через x , CaO - y , SiO_2 - z .

Тогда состав стекла выразим формулой: $x \text{Na}_2\text{O} \cdot y \text{CaO} \cdot z \text{SiO}_2$

2. Рассчитаем массы оксидов, содержащихся в 100 г стекла:

$$m(\text{Na}_2\text{O}) = \omega(\text{Na}_2\text{O}) \cdot m(\text{стекла}) = 0,13 \cdot 100 = 13 \text{ (г)}$$

$$m(\text{CaO}) = \omega(\text{CaO}) \cdot m(\text{стекла}) = 0,117 \cdot 100 = 11,7 \text{ (г)}$$

$$m(\text{SiO}_2) = \omega(\text{SiO}_2) \cdot m(\text{стекла}) = 0,753 \cdot 100 = 75,3 \text{ (г)}$$

3. Находим количества веществ оксидов в 100 г стекла:

$$n(\text{Na}_2\text{O}) = [m(\text{Na}_2\text{O})] / [M(\text{Na}_2\text{O})] = 13 / 62 = 0,210 \text{ (моль)}$$

$$n(\text{CaO}) = [m(\text{CaO})] / [M(\text{CaO})] = 11,7 / 56 = 0,210 \text{ (моль)}$$

$$n(\text{SiO}_2) = [m(\text{SiO}_2)] / [M(\text{SiO}_2)] = 75,3 / 60 = 1,255 \text{ (моль)}$$

4. Находим молярные отношения этих оксидов:

$$x : y : z = 0,210 : 0,210 : 1,255 = 1 : 1 : 6.$$

Такое отношение отвечает формуле $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{CaO} \cdot 6 \text{SiO}_2$

Ответ. $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{CaO} \cdot 6 \text{SiO}_2$

1.2. Растворы. Электролитическая диссоциация

Задачи с решениями

Задача 30. Какую массу воды и поваренной соли надо взять для приготовления 220 г раствора с концентрацией 12%?

Решение. Воспользуемся формулой, выражающей массовую долю:

$$\omega\% = \frac{m(\text{вещества})}{m(\text{смеси})} \times 100$$

Выразим массу вещества:

$$m(\text{NaCl}) = [m(\text{смеси}) \cdot \omega\%] / 100 = (12 \cdot 220) / 100 = 26,4 \text{ (г)}$$

$$\text{Найдём массу воды: } m(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{раствора}) - m(\text{NaCl}) = 220 - 26,4 = 193,6 \text{ (г)}$$

Ответ. 26,4 г NaCl, 193,6 г H₂O.

Задача 31. При выпаривании водного раствора хлорида аммония массой 40 г было получено 4 г этой соли. Вычислите массовую долю (%) соли в исходном растворе.

Решение. Массовую долю соли в растворе находим по формуле:

$$\omega(\text{NH}_4\text{Cl}) = [m(\text{NH}_4\text{Cl}) / m(\text{р-ра})] \cdot 100 = 4 : 40 \cdot 100\% = 10\%$$

Ответ. 10%

Задача 32. В воде какой массы надо растворить хлороводород объёмом 44,8 л (н.у.), чтобы получить 16,6%-ный раствор соляной кислоты?

Решение. 1. Находим массу хлороводорода:

$$m(\text{HCl}) = V(\text{HCl}) / 22,4 \cdot M(\text{HCl}) = 44,8 / 22,4 \cdot 36,5 = 73 \text{ (г)}$$

2. Масса раствора складывается из масс воды и растворённого вещества:

$$m(\text{р-ра}) = m(\text{HCl}) + m(\text{H}_2\text{O}) = 73 + m(\text{H}_2\text{O})$$

3. Подставив $\omega(\text{HCl})$ и $m(\text{HCl})$ в формулу:

$$\omega(\text{HCl}) = \frac{m(\text{HCl})}{m(\text{HCl}) + m(\text{H}_2\text{O})} \cdot 100\%, \text{ находим массу воды:}$$

$$16,6\% = (73 \cdot 100\%) / [73 + m(\text{H}_2\text{O})] \Rightarrow m(\text{H}_2\text{O}) = 367 \text{ (г)}$$

Ответ. 367 (г).

Задача 33. Найдите молярную концентрацию 30%-ной серной кислоты (плотность раствора 1,22 г/мл).

Решение. Поскольку молярная концентрация и массовая доля растворённого вещества не зависят от общей массы раствора, можно выбрать любое удобное количество раствора, например 1 л (1000 мл). Масса раствора равна $1000 \cdot 1,22 = 1220$ г. Вычислим количество серной кислоты в этом растворе: $\nu(\text{H}_2\text{SO}_4) = (1220 \cdot 0,3) / 98 = 3,73$ моль. Молярная концентрация серной кислоты равна: $C(\text{H}_2\text{SO}_4) = \nu(\text{H}_2\text{SO}_4) / V(\text{р-ра}) = 3,73 / 1 = 3,73$ моль/л.

Ответ 3,73 моль (H₂SO₄)

Задача 34. Какую массу фосфата калия и воды надо взять для приготовления раствора с массовой долей K₃PO₄, равной 8%, объёмом 217,4 мл ($\rho = 1,15$ г/мл).

Решение. 1. Используя формулу:

$$\omega(\text{K}_3\text{PO}_4) = m(\text{K}_3\text{PO}_4) / [V(\text{р-ра}) \cdot \rho(\text{р-ра})], \text{ определяем массу соли:}$$

$$m(\text{K}_3\text{PO}_4) = \omega(\text{K}_3\text{PO}_4) \cdot V(\text{p-ра}) \cdot \rho(\text{p-ра}) = 0,08 \cdot 217,4 \cdot 1,15 = 20 \text{ (г)}$$

2. Находим массу воды, необходимую для приготовления раствора:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{p-ра}) - m(\text{K}_3\text{PO}_4) = V(\text{p-ра}) \cdot \rho(\text{p-ра}) - m(\text{K}_3\text{PO}_4) = 250 - 20 = 230 \text{ (г)}$$

Ответ. 20 г K_3PO_4 ; 230 г воды.

Задача 35. Сколько (кг) технического хлорида калия, содержащего 90% KCl , нужно взять для приготовления 2 кг 40%-ного раствора хлорида калия?

Решение. I. Находим массу растворенного вещества, необходимого для приготовления 2 кг 40%-ного раствора:

$$m(\text{KCl}) = \frac{\omega(\text{KCl}) \cdot m(\text{p-ра})}{100\%} = \frac{40\% \cdot 2\text{кг}}{100\%} = 0,8\text{кг}$$

2. Затем, поскольку хлорид калия загрязнен примесями, рассчитаем массу технического образца, содержащего 90% чистого вещества:

$$m(\text{KCl техн.}) = \frac{100\% \cdot 0,8\text{кг}}{90\%} = 0,89 \text{ кг}$$

Ответ. 0,89 кг технического хлорида калия.

Задача 36. Сколько (г) воды необходимо прибавить к 100 мл 20%-ного раствора соляной кислоты ($\rho = 1,10$ г/мл), чтобы получить 5%-ный раствор?

Решение. 1. Находим массу (m_2) 5%-ного раствора, выразив ее из формулы:

$$V_1 \cdot \rho_1 \cdot \omega_1 = m_2 \cdot \omega_2$$
$$m_2 = (V_1 \cdot \rho_1 \cdot \omega_1) / \omega_2 = 100 \cdot 1,1 \cdot 20 : 5 = 440 \text{ (г)}$$

2. Вычислим массу воды:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = m_2 - m_1 = m_2 - V_1 \cdot \rho_1 = 440 - 110 = 330 \text{ (г)}$$

Ответ. 330 г воды.

Задача 37. Сколько (кг) 12%-ного и 40%-ного растворов гидроксида натрия надо смешать, чтобы получить 100 л 25%-ного раствора ($\rho = 1,275$ г/мл)

Решение. 1. Находим массу гидроксида натрия в полученном после смешения растворе:

$$m_3(\text{NaOH}) = \frac{100 \cdot 1,275 \cdot 25}{100} = 31,9$$

Следовательно, столько щёлочи должно содержаться в смешиваемых растворах.

2. Масса щёлочи равна: в первом растворе: $m_1(\text{NaOH}) = \omega_1 \cdot m_1 = 0,12 \cdot m_1$

во втором растворе: $m_2(\text{NaOH}) = \omega_2 \cdot m_2 = 0,4 \cdot m_2$

3. Поскольку $m_1 + m_2 = m_3$, определим ($m_1 + m_2$):

$m_3 = V_3 \cdot \rho_3 = 127,5$ кг. Следовательно, $(m_1 + m_2) = 127,5$ кг

4. Составим и решим систему уравнений:

$$0,12 \cdot m_1 + 0,4 \cdot m_2 = 31,9$$

$$(m_1 + m_2) = 127,5$$

откуда $m_1 = 68,3$ кг, $m_2 = 59,2$ кг

Ответ. 68,3 кг 12%-ного раствора,

59,2 кг 40%-ного раствора NaOH

Задача 38. Смешали 30 мл 10%-ного раствора ($\rho = 1,10$ г/мл) и 40 мл 5%-ного раствора ($\rho = 1,05$ г/мл). Какой стала массовая доля полученного раствора?

Решение. Находим массовую долю полученного раствора по формуле:

$$\omega_3 = (m_1 \cdot \omega_1 + m_2 \cdot \omega_2) / (m_1 + m_2)$$

1. для этого вычислим массы смешиваемых растворов:

$$m_1 = V_1 \cdot \rho_1 = 30 \cdot 1,1 = 33 \text{ (г)}$$

$$m_2 = V_2 \cdot \rho_2 = 40 \cdot 1,05 = 42 \text{ (г)}$$

2. Вычислим ω_3 , подставив массы растворов и данные задачи (ω_1 и ω_2) в формулу:

$$\omega_3 = \frac{33 \cdot 10 + 42 \cdot 5}{33 + 42} = 7,2(\%)$$

Ответ. 7,2 %

Задача 39. Сколько (мл) 60%-ного ($\rho = 1,5$ г/мл) и 30%-ного ($\rho = 1,52$ г/мл) растворов надо смешать для получения 240 г 50%-ного раствора?

Решение. 1. Поскольку дана масса полученного раствора т.е. $m_1 + m_2 = 240$ (г), то можно найти массы смешиваемых растворов, решив уравнение:

$$\omega_3 = (m_1 \cdot \omega_1 + m_2 \cdot \omega_2) / (m_1 + m_2), \text{ где } m_1 = 240 - m_2;$$

$$\text{тогда: } m_1 = 80 \text{ г; } m_2 = 160 \text{ г}$$

2. Вычислим объёмы смешиваемых растворов:

$$V_1 = \frac{160}{1,5} = 106,6 \text{ мл}; \quad V_2 = \frac{80}{1,2} = 66,6 \text{ (мл)}$$

Ответ. 106,6 мл 60%-ного и 66,6 мл 30%-ного растворов.

Задача 40. Сколько (г) азотной кислоты содержится в 200 мл 0,1 М-ного раствора?

Решение. Находим массу азотной кислоты ($M = 63$ г/моль) по формуле:

$$m(\text{HNO}_3) = C(\text{HNO}_3) \cdot M(\text{HNO}_3) \cdot V(\text{р-ра}) = 0,1 \cdot 63 \cdot 0,2 = 1,26 \text{ (г)}$$

Ответ. 1,26 г

Задача 41. Какова молярная концентрация раствора, в 600 мл которого содержится 7,35 г H_2SO_4 ?

Решение. Находим молярную концентрацию серной кислоты ($M = 98$ г/моль) по формуле:

$$C(\text{H}_2\text{SO}_4) = m(\text{H}_2\text{SO}_4) / [M(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot V(\text{р-ра})] = 7,35 / (98 \cdot 0,6) = 0,125 \text{ (моль/л)}$$

Ответ. 0,125 моль/л

Задача 42. Имеется 2 М-ый раствор соды (Na_2CO_3). Как приготовить из него 1 л 0,25 М-ного раствора?

Решение. 1. По формуле: $C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2$ находим объём (V_1) 2 М-ного раствора:

$$V_1 = (C_2 \cdot V_2) / C_1 = (0,25 \cdot 1) / 2 = 0,125 \text{ (л)}$$

2. Объём воды находим по разности:

$$V(\text{H}_2\text{O}) = V_2 - V_1 = 1 - 0,125 = 0,875 \text{ (л)}$$

Следовательно, необходимо взять 0,875 л воды и 0,125 л 2-М-ного раствора.

Ответ. 0,875 л воды, 0,125 л 2-М-ного раствора

Задача 43. Какова молярная концентрация 20%-ного раствора сульфата железа (II), плотность которого равна 1,21 г/мл?

Решение. Известна формула пересчёта процентной концентрации на молярную:

$$C(x) = \frac{\omega(x)\% \cdot \rho(p - pa) \cdot 10}{M(x)},$$

Подставляя в неё данные задачи и $M(\text{FeSO}_4) = 125$ г/моль, рассчитаем молярную концентрацию:

$$C(\text{FeSO}_4) = \frac{20 \cdot 1,21 \cdot 10}{125} = 1,59 \text{ (моль/л)}$$

Ответ. 1,59 моль/л

Задача 44. Сколько (мл) раствора соляной кислоты с массовой долей 22,86% и плотностью 1,115 г/мл необходимо для приготовления 3 л 0,2 М-го её раствора?

Решение. 1. По формуле пересчёта процентной концентрации на молярную:

$$C(x) = \frac{\omega(x)\% \cdot \rho(p - pa) \cdot 10}{M(x)},$$

Находим молярную концентрацию соляной кислоты (C_1) ($M_x = 36,5$):

$$C_1 = \frac{22,86 \cdot 1,115 \cdot 10}{36,5} = 6,97 \approx 7 \text{ (моль/л)}$$

2. По формуле: $C_1 V_1 = C_2 V_2$ вычислим V_1 . (Следует отметить, что C_1 и V_1 выбираем для исходных данных раствора, C_2 и V_2 для конечных данных раствора).

$$V_1 = C_2 V_2 : C_1 = 0,2 \cdot 3 : 7 = 0,086 \text{ (л)} \text{ или } 86 \text{ мл}$$

Ответ. 86 мл.

Задача 45. Вычислите массовую долю азотной кислоты, получаемой при полном окислении аммиака избытком кислорода.

Решение. Запишем уравнения реакций:



1. Таким образом, при окислении 4 моль аммиака получается 4 моль воды (6 моль воды образуется в реакции (1), а 2 моль расходуется в реакции (3)) и 4 моль HNO_3 .

2. Следовательно, в растворе 1 моль воды приходится на 1 моль азотной кислоты. Находим массовую долю кислоты в растворе:

$$\begin{aligned} \omega(\text{HNO}_3) &= \frac{m(\text{HNO}_3)}{m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{HNO}_3)} \cdot 100\% = \frac{M(\text{HNO}_3)}{M(\text{H}_2\text{O}) + M(\text{HNO}_3)} \cdot 100\% = \\ &= \frac{63 \cdot 100\%}{18 + 63} = 77,8\% \end{aligned}$$

Ответ. 77,8 %

Задача 46. Массовая доля йодида аммония в насыщенном при 30 °С водном растворе равна 64,5%. Вычислите массу этой соли, которая растворится в 100 г воды при той же температуре.

Решение. 1. В насыщенном растворе в 100 г раствора содержится 64,5 г йодида аммония, как это видно из массовой доли. Воды в 100 граммах этого раствора содержится: $(100 - 64,5) = 35,5$ г. Составим пропорцию:

$$\begin{array}{l} 35,5 \text{ г (воды)} \quad \text{—} \quad 64,5 \text{ г (NH}_4\text{I)} \\ 100 \text{ г (воды)} \quad \text{—} \quad x \text{ г (NH}_4\text{I)} \\ x = \frac{64,5 \cdot 100}{35,5} = 181,7 \text{ (г)} \end{array}$$

Фактически мы рассчитали характеристику насыщенного раствора, которая называется «растворимость», или коэффициент растворимости, и обозначается буквой S . Это масса вещества, которая способна полностью раствориться в 100 граммах растворителя.

Ответ. $S_{30}^{\circ\text{C}} = 181,7 \text{ г NH}_4\text{I}$

Задача 47. Коэффициент растворимости хлорида аммония при температуре 15 °С равен 35 г. Определите массовую долю хлорида аммония в насыщенном при 15 °С растворе.

Решение: 1. Коэффициент растворимости показывает, что при температуре 15 °С в воде массой 100 г растворится хлорид аммония массой 35 г.

2. Выбираем для расчёта образец раствора, который содержит 100 г воды. Тогда масса растворенной соли составляет 35 г, а масса раствора:

$$m(\text{р-ра}) = m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{NH}_4\text{Cl}) = 100 + 35 = 135 \text{ (г)}$$

3. Определяем массовую долю хлорида аммония:

$$\omega(\text{NH}_4\text{Cl}) = \frac{M(\text{NH}_4\text{Cl})}{m(\text{р-ра})} = \frac{35}{135} = 0,259 \text{ или } 25,9\%$$

Ответ: 25,9 %

Задача 48. Массовая доля сульфата калия в насыщенном при 10 °С водном растворе равна 8,44%. Вычислите массу сульфата калия, которая растворится в 100 г воды при этой же температуре.

Решение. Обозначим $m(\text{K}_2\text{SO}_4) = x$ г, тогда $m(\text{р-ра}) = 100 + x$, а массовая доля K_2SO_4 равна:

$$\omega(\text{K}_2\text{SO}_4) = x / (100 + x) = 0,0844 \text{ (по условию), откуда } x = 9,22 \text{ г.}$$

Ответ. 9,22 г K_2SO_4 .

Задача 49. В 100 мл воды растворили 20 г пентагидрата сульфата меди (II). Рассчитайте массовую долю соли в полученном растворе.

Решение. Для определения массовой доли вещества надо найти две

$$m(\text{р-ра}) = m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 100 + 20 = 120 \text{ г.}$$

Для определения массы вещества надо найти, сколько безводной соли CuSO_4 ($M = 160$) содержится в 20 г кристаллогидрата $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ($M = 250$). Легче всего это сделать через моли: $\nu(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 20 / 250 = 0,08 \text{ моль} = \nu$

(CuSO₄). Масса безводной соли равна: $m(\text{CuSO}_4) = 0,08 \cdot 160 = 12,8$ г. Массовая доля сульфата меди (II) равна:
 $\omega(\text{CuSO}_4) = 12,8 / 120 = 0,107$, или 10,7%.
Ответ. 10,7% CuSO₄.

Задача 50. Сколько граммов нитрата серебра выпадает в осадок из 10 г раствора, насыщенного при 80 °С, при охлаждении его до 20 °С? Растворимость AgNO₃ составляет 635 г при 80 °С и 228 г при 20 °С.

Решение. Найдем состав исходного раствора. Массовая доля вещества в насыщенном растворе (ω) связана с растворимостью (s) соотношением:

$$\omega = s/(s+100).$$

При 80°С $\omega(\text{AgNO}_3) = 635 / 735 = 0,864$. $m(\text{AgNO}_3) = 10 \cdot 0,864 = 8,64$ г.

Пусть при охлаждении выпало x г AgNO₃. Тогда масса конечного раствора равна 10 - x , а массовая доля соли в охлажденном растворе равна:

$$\omega(\text{AgNO}_3) = (8,64 - x) : (10 - x) = 228 / 328, \text{откуда } x = 5,54 \text{ г.}$$

Ответ. 5,54 г. AgNO₃

Задача 51. Гексагидрат сульфата цинка и моногидрат сульфата цинка смешали в соотношении 1:3 по массе. Какую массу такой смеси нужно растворить в 5 моль воды для получения 15%-ного раствора сульфата цинка?

Решение. Пусть искомая масса смеси равна x г, тогда $m(\text{ZnSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = 0,25x$ г, $m(\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}) = 0,75x$ г. Найдем теперь массу безводного сульфата цинка в составе этой смеси:

$$v(\text{ZnSO}_4) = v(\text{ZnSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) + v(\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}) = (0,25x/269) + (0,75x/179) = 0,00512x.$$

$$m(\text{ZnSO}_4) = 0,00512x / 161 = 0,824x.$$

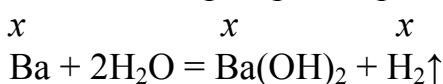
Масса полученного раствора равна 90 г (масса воды) + x г (масса смеси), а массовая доля сульфата цинка составляет

$$\omega(\text{ZnSO}_4) = 0,824x / (x + 90) = 0,15, \text{откуда } x = 20,0 \text{ г.}$$

Ответ. 20,0 г.

Задача 52. Какое количество бария нужно взять, чтобы при его взаимодействии с 1 л воды образовался 2%-ный раствор гидроксида бария?

Решение. Барий растворяется в воде по уравнению:



Пусть в реакцию вступило x моль Ba, тогда образовалось по x моль Ba(OH)₂ ($M=171$) и H₂. Масса вещества Ba(OH)₂ в растворе составляет 171 x , а масса раствора равна:

$$m(\text{р-ра}) = (1000 + m\text{Ba}) - m(\text{H}_2) = 1000 + 137x - 2x = 1000 + 135x$$

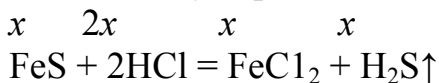
Массовая доля гидроксида бария равна:

$$\omega(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 171x / (1000 + 135x) = 0,02, \text{откуда } x = 0,119.$$

Ответ. 0,119 моль Ba.

Задача 53. Рассчитайте массовые доли веществ в растворе, образовавшемся при действии 25 мл 20%-ной соляной кислоты (плотность 1,1 г/мл) на 4,0 г сульфида железа (II).

Решение. Сульфид железа (II) растворяется в соляной кислоте по уравнению



$$m(\text{p-ра HCl}) = 25 \cdot 1,1 = 27,5 \text{ г. } m(\text{HCl}) = 27,5 \cdot 0,2 = 5,5 \text{ г. } \nu(\text{HCl}) = 5,5 / 36,5 = 0,151 \text{ моль.}$$

$\nu(\text{FeS}) = 4,0 / 88 = 0,0455$ моль. По соотношению числа молей HCl и FeS взятых для реакции, видно, что FeS находится в недостатке, и расчёт по уравнению реакции надо вести по FeS.

В результате реакции образуется по 0,0455 моль FeCl₂ (массой 5,0455 - 127 = 5,78 г) и H₂S (массой 0,0455-34 = 1,55 г), и расходуется 0,091 моль HCl. В растворе останется 0,151-0,091 = 0,06 моль HCl массой 0,06-36,5 = 2,19 г. Масса образовавшегося раствора равна:

$$m(\text{p-ра}) = 27,5 + m(\text{FeS}) - m(\text{H}_2\text{S}) = 27,5 + 4,0 - 1,55 = 30,0 \text{ г.}$$

Массовые доли веществ в растворе: $m(\text{FeCl}_2) = 5,78 : 30,0 = 0,193$, или 19,3%,
 $\omega(\text{HCl}) = 2,19 : 30,0 = 0,073$, или 7,3%.

Ответ. 19,3% FeCl₂, 7,3% HCl.

Задача 54. Степень диссоциации 0,1 М-ного раствора уксусной кислоты равна 1,3%. Сколько (г) водорода содержится в 1 л этого раствора в виде ионов?

Решение. 1. Запишем уравнение электролитической диссоциации уксусной кислоты: $\text{CH}_3\text{COOH} \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^-$

По этому уравнению видно, что концентрации диссоциированной части уксусной кислоты: $C(\text{H}^+) = C(\text{CH}_3\text{COO}^-)$. Степень диссоциации α показывает, какая часть от общей концентрации исходного электролита продиссоциировала, и обычно выражается в долях единицы (максимальная степень диссоциации равна 1 при 100%-ной диссоциации). В нашем случае $\alpha = 1,3\%$, или 0,013. Следовательно, концентрация диссоциированной части равна $C_0 \cdot \alpha$, где C_0 - исходная концентрация уксусной кислоты, в нашем случае 0,1 (моль/л).

2. Находим молярные равновесные концентрации ионов:

$$C(\text{H}^+) = C(\text{CH}_3\text{COO}^-) = C_0 \cdot \alpha = 0,1 \cdot 0,013 = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ (моль/л)}$$

3. Находим массу водорода количеством вещества $1,3 \cdot 10^{-3}$ моль в 1 л раствора:

$$m(\text{HCl}) = M(\text{H}^+) \cdot \nu(\text{H}^+) = 1 \text{ г/моль} \cdot 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ моль} = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ г}$$

Ответ. $1,3 \cdot 10^{-3}$ г

Задача 55. Определите концентрации всех частиц в 0,01 М-ном в растворе фтороводородной кислоты. Степень электролитической диссоциации кислоты равна 25%.

Решение: Запишем уравнение электролитической диссоциации:



1. Находим равновесные концентрации ионов H^+ и F^- . Из уравнения диссоциации видно, что их концентрации одинаковы: $C(\text{H}^+) = C(\text{F}^-)$ и равны $C_0 \cdot \alpha$, где C_0

- исходная концентрация раствора HF (в нашем случае 0,01 моль/л), и α – степень диссоциации (в нашем случае 25% или 0,25).

$$C(\text{H}^+) = C(\text{F}^-) = C_0 \cdot \alpha = 0,01 \cdot 0,25 = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ (моль/л)}$$

3. Равновесную молярную концентрацию недиссоциированных молекул HF находим, исходя из следующих рассуждений: так как максимальная степень диссоциации равна 1, то концентрация недиссоциированной части электролита может быть выражена в виде

$$C_0 \cdot (1 - \alpha) = 0,01 \cdot (1 - 0,25) = 0,0075 \text{ (моль/л)}$$

Ответ. $[\text{HF}] = 0,075$ моль/л,

$$[\text{H}^+] = [\text{F}^-] = 0,0025 \text{ моль/л}$$

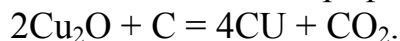
(В ответе выбран другой способ выражения концентраций, через квадратные скобки, вместо $C(\text{H}^+)$ для выражения концентраций ионов и молекул используют $[\text{H}^+]$).

1.3. Окислительно-восстановительные реакции. Ряд активности металлов. Электролиз растворов и расплавов

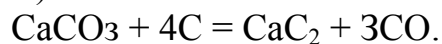
Задачи с решениями

Задача 56. Даны четыре вещества: CaCO_3 , С (графит), HNO_3 и Cu_2O . Напишите три уравнения окислительно-восстановительных реакций, протекающих попарно между указанными веществами.

Решение. 1. Оксид меди (I) восстанавливается графитом при нагревании:



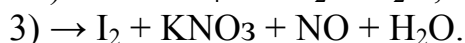
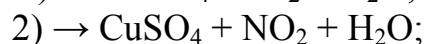
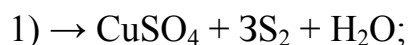
2. Карбонат кальция при прокаливании с избытком угля образует карбид кальция (промышленный способ):



3. Оксид меди (I) окисляется азотной кислотой до нитрата меди (II):



Задача 57. Какие два вещества вступили в реакцию и при каких условиях, если в результате образовались следующие соединения (указаны все продукты реакции без коэффициентов):



Напишите полные уравнения реакций.

Решение. 1. Из наличия в правой части $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ можно сделать вывод о том, что окислителем была концентрированная серная кислота. Восстановитель - медь:



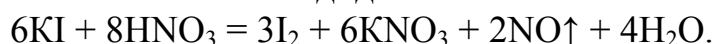
или оксид меди (I):



2. Выделение NO_2 позволяет сделать вывод о том, что окислитель - концентрированная азотная кислота. Восстановитель - сульфид меди (II):

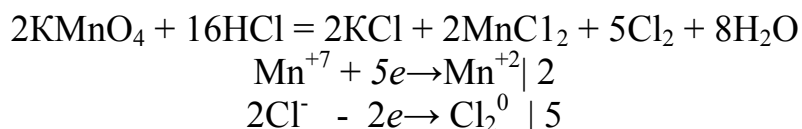


3. Выделение NO позволяет сделать вывод о том, что окислитель - разбавленная азотная кислота. Восстановитель - иодид калия:



Задача 58. Перманганат калия массой 1,58 г растворили в 15,5 г 37,5%-ного раствора соляной кислоты. Какой газ, и в каком объеме (н.у.) выделится после реакции? Подберите коэффициенты в уравнении методом электронного баланса.

Решение. Запишем уравнение реакции, подберем коэффициенты методом электронного баланса:



1. Находим количество вещества KMnO_4 ($M(\text{KMnO}_4) = 158$ г/моль):

$$n(\text{KMnO}_4) = \frac{1,58}{158} = 0,01 \text{ (моль)}$$

2. Находим массу соляной кислоты:

$$m(\text{HCl}) = \omega(\text{HCl}) \cdot m(\text{p-ра}) = 0,375 \cdot 15,5 = 5,8 \text{ (г)}$$

3. Находим количество вещества соляной кислоты ($M(\text{HCl}) = 36,5$ г/моль):

$$n(\text{HCl}) = \frac{5,8}{36,5} = 0,16 \text{ (моль)}$$

4. По уравнению реакции: из 2 моль KMnO_4 образуется 5 моль хлора, следовательно, из 0,01 моль KMnO_4 — 0,025 моль Cl_2 .

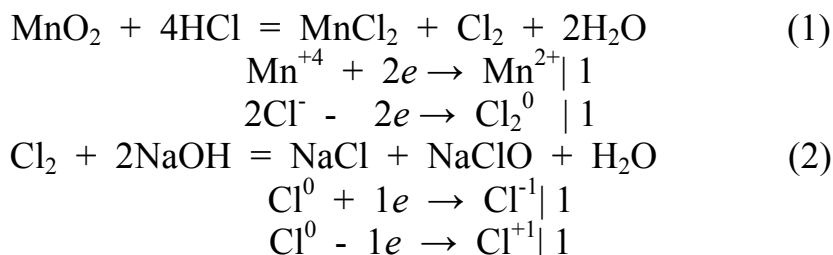
5. Находим объем (н.у.) хлора количеством вещества 0,025 моль:

$$V(\text{Cl}_2) = 0,025 \cdot 22,4 = 0,56 \text{ (л)}$$

Ответ. 0,56 л хлора.

Задача 59. Хлор, полученный при обработке 34,8 г оксида марганца (IV) избытком концентрированной соляной кислоты, пропустили через 500 мл раствора гидроксида натрия с концентрацией 2 моль/л. Определите молярные концентрации образовавшихся солей. (Изменением объема при растворении хлора пренебрегите). Подбор коэффициентов в уравнении окислительно-восстановительной реакции проведите методом электронного баланса.

Решение. 1. Запишем уравнение реакции, подберем коэффициенты методом электронного баланса:



2. Находим количество вещества MnO_2 ($M(\text{MnO}_2) = 87$ г/моль)

$$n(\text{MnO}_2) = \frac{m(\text{MnO}_2)}{M(\text{MnO}_2)} = \frac{34,8}{87} = 0,4 \text{ (моль)}$$

3. По уравнению (1): $n(\text{Cl}_2) = n(\text{MnO}_2) = 0,4$ (моль)

4. Находим количество вещества NaOH в растворе:

$$n(\text{NaOH}) = C(\text{NaOH}) \cdot V(\text{р-ра}) = 2 \text{ моль/л} \cdot 0,5 \text{ л} = 1 \text{ моль}$$

5. По уравнению (2): $n(\text{NaOH}) = 2n(\text{Cl}_2) = 0,8$ моль

Следовательно, NaOH взят в избытке и количество вещества NaCl и NaClO находим по хлору: $n(\text{NaCl}) = n(\text{NaClO}) = n(\text{Cl}_2) = 0,4$ моль

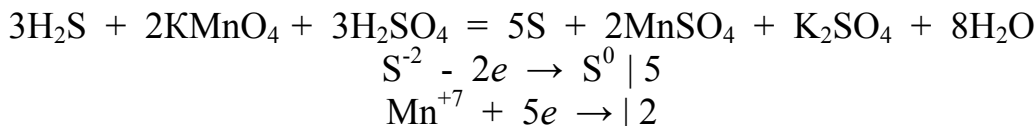
6. Находим молярную концентрацию хлорида и гипохлорита натрия в растворе:

$$C(\text{NaCl}) = C(\text{NaClO}) = \frac{n(\text{NaCl})}{V(\text{р-ра})} = \frac{0,4 \text{ моль}}{0,5 \text{ л}} = 0,8 \text{ моль/л}$$

Ответ. $C(\text{NaCl}) = C(\text{NaClO}) = 0,8$ моль/л

Задача 60. Какой объём (н.у.) сероводорода надо пропустить через 200 мл 12%-ного раствора KMnO_4 ($\rho = 1,2$ г/мл), подкисленного серной кислотой, до полного обесцвечивания перманганата калия?

Решение. 1. Запишем уравнение реакции, подберем коэффициенты методом электронного баланса:



2. Находим массу KMnO_4 в растворе:

$$m(\text{KMnO}_4) = V(\text{р-ра}) \cdot \rho(\text{р-ра}) \cdot \omega(\text{KMnO}_4) = 200 \text{ мл} \cdot 1,2 \text{ г/мл} \cdot 0,12 = 26,8 \text{ г}$$

3. Находим количество вещества KMnO_4 ($M(\text{KMnO}_4) = 158$ г/моль)

$$n(\text{KMnO}_4) = \frac{26,8 \text{ г}}{158 \text{ г/моль}} = 0,16 \text{ моль}$$

4. По уравнению реакции:

$$n(\text{H}_2\text{S}) = \frac{5}{2} n(\text{KMnO}_4) = \frac{5}{2} \cdot 0,16 \text{ моль} = 0,4 \text{ моль}$$

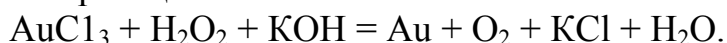
5. Находим объём сероводорода:

$$V(\text{H}_2\text{S}) = n(\text{H}_2\text{S}) \cdot V_m = 0,4 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 8,96 \text{ л}$$

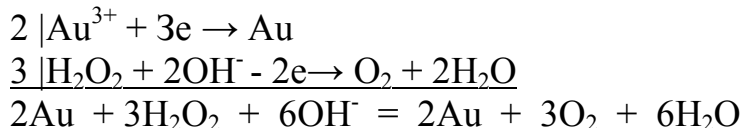
Ответ. 8,96 л

Задача 61. При взаимодействии хлорида золота (III) с пероксидом водорода в щелочной среде образовалось 5,91 г золота. Вычислите объём выделившегося при этом газа (н.у.).

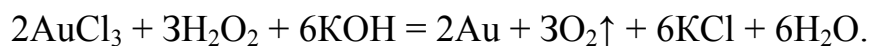
Решение. 1. Хлорид золота (III) является сильным окислителем, следовательно, пероксид водорода окисляется до кислорода. Найдем коэффициенты в уравнении реакции:



Поскольку реакция происходит в водном растворе, можно воспользоваться методом электронно-ионного баланса:



Отсюда легко получить молекулярное уравнение реакции:



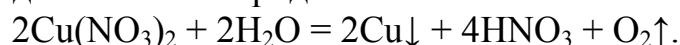
Проведем расчет по этому уравнению реакции:

$$\nu(\text{Au}) = 5,91 / 197 = 0,03 \text{ моль}, \nu(\text{O}_2) = 3/2 \cdot \nu(\text{Au}) = 0,045 \text{ моль}, \\ V(\text{O}_2) = 0,045 \cdot 22,4 = 1,008 \text{ л}.$$

Ответ. 1,008 л O₂.

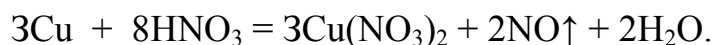
Задача 62. Сравните, какие продукты будут находиться в растворе в результате электролиза водного раствора нитрата меди (II) с инертными электродами в двух случаях: а) соль полностью подвергнута электролизу, и после этого электроды сразу вынуты из раствора; б) соль полностью подвергнута электролизу, после этого в течение некоторого времени электроды остаются в растворе.

Решение. 1. При электролизе раствора нитрата меди (II) на катоде осаждается медь, а на аноде выделяется кислород:



а) Если после электролиза вынуть из раствора электроды, то в растворе останется только HNO₃.

б) Если электроды оставить в растворе и отключить ток, то медь будет растворяться в разбавленной азотной кислоте:

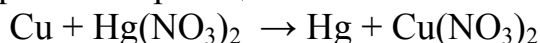


Из мольных соотношений меди и азотной кислоты в приведенных уравнениях следует, что во втором случае медь находится в избытке, поэтому азотная кислота реагирует полностью, и в растворе останется только Cu(NO₃)₂.

Ответ. В растворе останется только Cu(NO₃)₂

Задача 63. Медную пластинку массой 20 г опустили в раствор нитрата ртути (II). Масса её увеличилась на 2,74 г. Рассчитайте массу растворившейся меди и образовавшейся ртути.

Решение. 1. Запишем уравнение реакции:



2. По уравнению реакции видно, что один моль атомов ртути соответствует одному молю атомов меди, поэтому масса пластинки увеличивается пропорционально разности молярных масс: 201 - 64 = 137 (г/моль)

$$(M(\text{Hg}) = 201 \text{ г/моль}, M(\text{Cu}) = 64 \text{ г/моль})$$

3. Находим количество вещества, соответствующее изменению массы на 2,74 г:

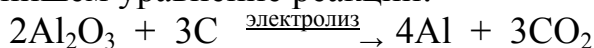
$$n = \frac{\Delta m}{\Delta M} = \frac{2,74}{137} = 0,02 \text{ моль}; \quad n(\text{Cu}) = n(\text{Hg}) = 0,02 \text{ моль}$$

4. Находим массу меди, вступившей в реакцию: $m(\text{Cu}) = 0,02 \cdot 64 = 1,28$ (г) и ртути, образовавшейся в результате реакции: $m(\text{Hg}) = 0,02 \cdot 201 = 4,02$ (г)

Ответ. $m(\text{Cu}) = 1,28$ г, $m(\text{Hg}) = 4,02$ г.

Задача 64. При электролизе расплава 21 г боксита на аноде выделилось 6,72 л оксида углерода (IV) (н.у.). Рассчитайте массовую долю оксида алюминия в боксите.

Решение. 1. Для электролиза боксита при получении алюминия используются графитовые аноды и по мере их сгорания (окисление анодов) происходит образование CO и CO₂. Запишем уравнение реакции:



2. Находим количество вещества CO₂:

$$n(\text{CO}_2) = \frac{6,72\text{ л}}{22,4\text{ л/моль}} = 0,3 \text{ моль}$$

3. По уравнению реакции находим количество вещества Al₂O₃:

$$n(\text{Al}_2\text{O}_3) = \frac{2}{3} \cdot n(\text{CO}_2) = \frac{2}{3} \cdot 0,3 \text{ моль} = 0,2 \text{ моль}$$

4. Находим массу Al₂O₃ ($M(\text{Al}_2\text{O}_3) = 102 \text{ г/моль}$):

$$m(\text{Al}_2\text{O}_3) = n(\text{Al}_2\text{O}_3) \cdot M(\text{Al}_2\text{O}_3) = 0,2 \cdot 102 = 20,4 \text{ (г)}$$

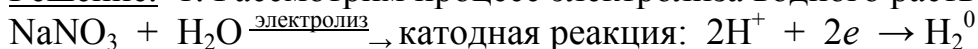
5. Рассчитаем массовую долю Al₂O₃ в боксите:

$$\omega(\text{Al}_2\text{O}_3) = \frac{m(\text{Al}_2\text{O}_3)}{m(\text{руды})} \cdot 100\% = \frac{20,4}{21} \cdot 100\% = 97\%$$

Ответ. 97%

Задача 65. При электролизе раствора нитрата натрия массой 1 кг и массовой долей 5% на аноде выделилось 80 л кислорода, измеренного при температуре 25 °C и давлении $1,24 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Рассчитайте массовую долю (%) нитрата натрия в растворе после проведения электролиза.

Решение. 1. Рассмотрим процесс электролиза водного раствора NaNO₃:



в растворе остаются ионы: Na⁺; NO₃⁻.

Из приведенных схем следует, что происходит электролитическое разложение воды: $2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{электролиз}} 2\text{H}_2 + \text{O}_2$

Масса самой соли в растворе не изменяется, но уменьшается масса растворителя, следовательно, должна увеличиваться концентрация соли. Решение задачи сводится к определению количества вещества разложившейся воды и к пересчёту концентрации раствора.

2. Находим количество вещества кислорода:

$$n(\text{O}_2) = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} = \frac{1,24 \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot 80 \text{ л}}{8,31 \cdot 10^3 \text{ л} \cdot \text{Па/моль} \cdot \text{К} \cdot 298 \text{ К}} = 4 \text{ моль}$$

3. По уравнению реакции: $n(\text{H}_2\text{O}) = 2n(\text{O}_2) = 8 \text{ моль}$; масса воды равна:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = n(\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{H}_2\text{O}) = 8 \cdot 18 = 144 \text{ (г)}$$

4. Находим массу NaNO₃ в исходном растворе:

$$m(\text{NaNO}_3) = \omega(\text{NaNO}_3) \cdot m(\text{р-ра NaNO}_3) = 0,05 \cdot 1000 = 50 \text{ (г)}$$

5. Находим массу раствора после электролиза: $m(\text{р-ра}) = 1000 - 144 = 856 \text{ (г)}$

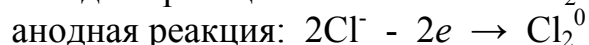
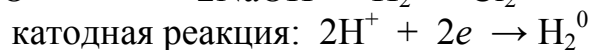
6. Теперь находим массовую долю NaNO₃ в растворе после электролиза:

$$\omega(\text{NaNO}_3) = \frac{m(\text{NaNO}_3)}{m(\text{р-ра})} \cdot 100\% = \frac{50}{856} \cdot 100\% = 5,84\%$$

Ответ. 84%

Задача 66. Раствор, содержащий 486 кг хлорида натрия, подвергли электролизу. Полученные газы были использованы для синтеза хлороводорода. Образовавшийся хлороводород растворили в 708 л воды. Рассчитайте массовую долю (%) хлороводорода в полученной соляной кислоте. Плотность воды равна 1 г/мл.

Решение. 1. Запишем уравнения реакций:



В растворе остаются ионы Na^+ и OH^- .



2. Находим количество вещества хлорида натрия: ($M(\text{NaCl}) = 58,5$ г/моль;)

$$n(\text{NaCl}) = \frac{468 \cdot 10^3 \text{ г}}{58,5 \text{ г/моль}} = 8 \cdot 10^3 \text{ моль}$$

3. По уравнению реакции (1): $n(\text{Cl}_2) = n(\text{H}_2) = \frac{1}{2} n(\text{NaCl})$;

$$n(\text{Cl}_2) = n(\text{H}_2) = 4 \cdot 10^3 \text{ моль}$$

4. По уравнению реакции (2) $n(\text{HCl}) = 2n(\text{Cl}_2) = 2 \cdot 4 \cdot 10^3 \text{ моль} = 8 \cdot 10^3 \text{ моль}$

5. Находим массу этого количества HCl: ($M(\text{HCl}) = 36,5$ г/моль;)

$$m(\text{HCl}) = n(\text{HCl}) \cdot M(\text{HCl}) = 8 \cdot 10^3 \text{ моль} \cdot 36,5 \text{ г/моль} = 292 \cdot 10^3 \text{ г} = 292 \text{ кг}$$

6. Рассчитаем концентрацию полученной соляной кислоты:

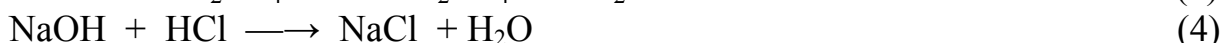
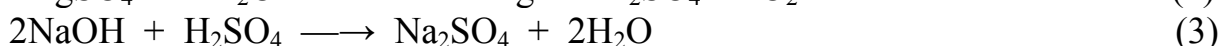
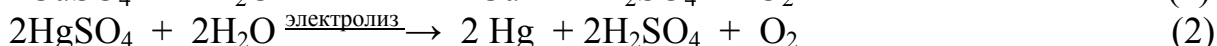
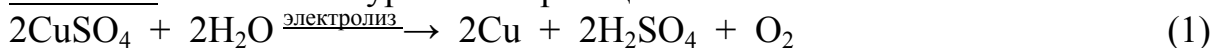
$$\omega(\text{HCl}) = \frac{m(\text{HCl})}{m(p-pa)}; \quad m(p-pa) = m(\text{HCl}) + m(\text{H}_2\text{O}) = 292 + 708 = 1000 \text{ кг}$$

$$\omega(\text{HCl}) = \frac{292}{1000} \cdot 100\% = 29,5\%$$

Ответ. 29,5% HCl

Задача 67. Раствор смеси 8,44 г пентагидрата сульфата меди (II) и сульфата ртути (II) подвергли электролизу до полного осаждения металлов. К электролиту добавили 22,5 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей NaOH, равной 11,2% и плотностью 1,11 г/мл. Образовавшийся раствор может прореагировать с 16 мл соляной кислоты с концентрацией 0,625 моль/л. Вычислите массовые доли солей в смеси и объем газа (н.у.), необходимого для приготовления указанного объема соляной кислоты.

Решение. 1. Напишем уравнения реакций:



2. Находим массу и количество вещества гидроксида натрия

$$(M(\text{NaOH}) = 40 \text{ г/моль}):$$

$$m(\text{NaOH}) = 22,5 \cdot 1,11 \cdot 0,112 = 2,8 \text{ (г)};$$

$$n(\text{NaOH}) = \frac{m(\text{NaOH})}{M(\text{NaOH})} = \frac{2,8}{40} = 0,07 \text{ (моль)}$$

3. Вычислим количество вещества соляной кислоты:

$$n(\text{HCl}) = C \cdot V = 0,625 \cdot 0,016 = 0,01 \text{ (моль)}$$

4. По уравнению (4): $n(\text{NaOH}) = n(\text{HCl}) = 0,01$ моль, следовательно, в реакцию (3) вступило 0,06 моль (0,07 - 0,01) NaOH и 0,03 моля H_2SO_4 .

5. Пусть в смеси было x моль $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ($M_r = 250$) и y моль H_2SO_4 ($M_r = 297$). Масса смеси, по условию задачи, равна 8,44 г.

$$\text{Таким образом: } 8,44 = x \cdot 250 + y \cdot 297$$

6. По реакциям (1) и (2) образовалось $(x + y)$ моль H_2SO_4 , следовательно: $x + y = 0,03$

7. Составим и решим систему из двух уравнений:

$$\begin{cases} 250 \cdot x + 297 \cdot y = 8,44 \\ x + y = 0,03 \end{cases}$$

$$x = 0,01; y = 0,02$$

8. Находим массы и массовые доли солей в смеси:

$$m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 0,01 \cdot 250 = 2,5 \text{ (г)}$$

$$m(\text{HgSO}_4) = 0,02 \cdot 297 = 5,94 \text{ (г)}$$

$$\omega(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = \frac{2,5}{8,44} \cdot 100\% = 29,6\%$$

$$\omega(\text{HgSO}_4) = \frac{5,94}{8,44} \cdot 100\% = 70,4\%$$

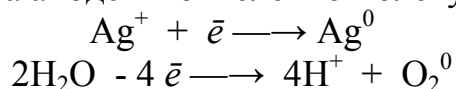
9. Для приготовления соляной кислоты, содержащей 0,01 моль HCl, необходимо взять

$$0,01 \cdot 22,4 = 0,224 \text{ (л) HCl}$$

Ответ. 29,6% $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 70,4% HgSO_4 , 0,224 (л) HCl.

Задача 68. Электролиз 400 г 8,5%-ного раствора нитрата серебра продолжали до тех пор, пока масса раствора не уменьшилась на 25 г. Вычислите массовые доли соединений в растворе, полученном после окончания электролиза и массы веществ, выделившихся на инертных электродах.

Решение. При электролизе водного раствора AgNO_3 на катоде происходит восстановление ионов Ag, а на аноде — окисление молекул воды:



1. Запишем суммарное уравнение:



2. Находим количество вещества AgNO_3 ($M(\text{AgNO}_3) = 170$ г/моль):

$$n(\text{AgNO}_3) = \frac{400 \cdot 0,085}{170} = 0,2 \text{ (моль)}$$

3. При полном электролитическом разложении данного количества соли выделяется 0,2 моля Ag массой, равной $0,2 \cdot 108 = 21,6$ г ($M(\text{Ag}) = 108$ г/моль) и 0,05 моля O_2 массой, равной $0,05 \cdot 32 = 1,6$ г ($M(\text{O}_2) = 32$ г/моль).

4. Общее уменьшение массы раствора за счет серебра и кислорода составит

$$21,6 + 1,6 = 23,2 \text{ (г)}$$

5. При электролизе образовавшегося раствора азотной кислоты разлагается вода:



Находим количество вещества воды ($M(\text{H}_2\text{O}) = 18$ г/моль):

$$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{(25 - 23,2)}{18} = 0,1 \text{ (моль)}$$

6. По уравнению реакции (2) находим:

$$\begin{aligned}n(\text{H}_2) &= n(\text{H}_2\text{O}) = 0,1 \text{ (моль)} \\m(\text{H}_2) &= 0,1 \cdot 2 = 0,2 \text{ (г)} \\n(\text{O}_2) &= 0,5 \cdot n(\text{H}_2\text{O}) = 0,05 \text{ (моль)} \\m(\text{O}_2) &= 0,05 \cdot 32 = 1,6 \text{ (г)}\end{aligned}$$

7. Общая масса кислорода, выделившегося на аноде в двух процессах, равна:

$$1,6 + 1,6 = 3,2 \text{ (г)}$$

8. В оставшемся растворе содержится азотная кислота количеством вещества и массой равными ($M(\text{HNO}_3) = 63$ г/моль):

$$n(\text{HNO}_3) = n(\text{AgNO}_3) = 0,2 \text{ (моль)}; \quad m(\text{HNO}_3) = 0,2 \cdot 63 = 12,6 \text{ (г)}$$

9. Масса оставшегося раствора азотной кислоты равна:

$$m(\text{р-ра HNO}_3) = 400 - 25 - 375 \text{ (г)}$$

10. Находим массовую долю азотной кислоты в растворе после электролиза:

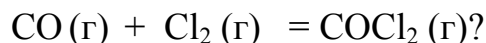
$$\omega(\text{HNO}_3) = \frac{12,6}{375} = 0,0336 \text{ или } 3,36\%$$

Ответ. $\omega(\text{HNO}_3) = 3,36\%$; 21,6 г Ag; 0,2 г H_2 ; 3,2 г O_2 .

1.4. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОТЕКАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ. (скорость реакции, тепловые эффекты, константа равновесия реакции)

Задачи с решениями

Задача 69. Во сколько раз увеличится скорость реакции взаимодействия оксида углерода (II) и хлора, если концентрации исходных веществ увеличить в три раза:



Решение. 1. Запишем кинетическое уравнение (математическое выражение закона действия масс) для гомогенной реакции: $\text{CO(г)} + \text{Cl}_2\text{(г)} \rightarrow \text{COCl}_2 \text{ (г)}$ до увеличения концентрации исходных веществ:

$$v = k C(\text{CO}) \cdot C(\text{Cl}_2) \quad (1)$$

и после увеличения:

$$v' = k C'(\text{CO}) \cdot C'(\text{Cl}_2) \quad (2),$$

где $C(\text{CO})$, $C(\text{Cl}_2)$ — исходные молярные концентрации, $C'(\text{CO})$ и $C'(\text{Cl}_2)$ — концентрации, увеличенные в три раза (согласно условию задачи).

2. Разделив уравнение (2) на уравнение (1), получим:

$$\frac{v'}{v} = \frac{k \cdot C'(\text{CO}) \cdot C'(\text{Cl}_2)}{k \cdot C(\text{CO}) \cdot C(\text{Cl}_2)}, \text{ поскольку согласно условию задачи:}$$

$$C'(\text{CO}) = 3 C(\text{CO}), \quad C'(\text{Cl}_2) = 3 C(\text{Cl}_2), \text{ то } \frac{v'}{v} = \frac{k \cdot 3C(\text{CO}) \cdot 3C(\text{Cl}_2)}{k \cdot C(\text{CO}) \cdot C(\text{Cl}_2)} = 9$$

Ответ. В 9 раз

Задача 70. Скорость химической реакции при 20 °С равна 1 моль/л · с. Вычислите скорость этой реакции при 60 °С, если температурный коэффициент равен 3.

Решение. 1. Запишем математическое выражение правила Вант-Гоффа:

$$v_{t_2} = v_{t_1} \cdot \gamma^{\Delta t/10}, \text{ где } \Delta t = t_2 - t_1$$

2. Находим Δt и $\frac{\Delta t}{10}$; $\Delta t = t_2 - t_1 = 60 - 20 = 40$, $\frac{\Delta t}{10} = \frac{40}{10} = 4$;

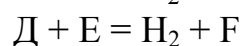
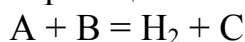
3. Произведём расчёт: $v_{t_2} = 1 \cdot 3^4 = 81$ (моль/л · с).

Ответ. 81 моль/л·с.

Задача 71. Две реакции протекают с выделением водорода. В результате одной реакции в единице объёма в единицу времени образовалось 2,24 л (н.у.) водорода, а в результате другой при тех же условиях образовалось 2 г водорода. Во сколько раз скорость одной из этих реакций больше скорости другой?

Решение. I Вариант.

1. Запишем схематично уравнения реакций:



Кинетическое уравнение 1-й реакции: $v_1 = k_1 \cdot C_1(H_2)$,

2-й реакции: $v_2 = k_2 \cdot C_2(H_2)$,

2. Находим количество вещества и концентрацию водорода

в 1-ой реакции: $n_1(H_2) = \frac{V_1(H_2)}{V_m} = \frac{2,24}{22,4} = 0,1$ моль, $C_1(H_2) = \frac{0,1}{V}$ моль/л

во 2-ой реакции; $n_2(H_2) = \frac{m_2(H_2)}{M(H_2)} = \frac{2}{2} = 1$ моль, $C_2(H_2) = \frac{1}{V}$ моль/л

где V — объем.

3. Скорость второй реакции, очевидно, больше скорости первой реакции в число раз, равное:

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{k_2 \cdot 1 \cdot V}{k_1 \cdot V \cdot 0,1} = \frac{k_2}{k_1} \cdot 10, \text{ если } k_2 = k_1, \text{ то в } 10 \text{ раз.}$$

II Вариант

Скорость химической реакции определяется изменением концентрации исходных веществ и продуктов реакции в единицу времени:

$$v = \frac{\Delta n}{k \cdot \Delta t} \quad \text{где } \Delta n \text{ — изменение числа молей одного из веществ.}$$

В 1-ой реакции: $\Delta n_1(H_2) = \frac{v(H_2)}{V_m} = 0,1$ (моль)

во 2-ой реакции: $\Delta n_2(H_2) = \frac{m(H_2)}{M(H_2)} = \frac{2}{2} = 1$ (моль)

Скорости реакций равны:

$$v_1 = \frac{\Delta n_1(H_2)}{V \cdot \Delta t} = \frac{0,1}{1 \cdot 1} = 0,1 \text{ (моль/л} \cdot \text{с)}, \quad v_2 = \frac{\Delta n_2(H_2)}{V \cdot \Delta t} = \frac{1}{1 \cdot 1} = 1 \text{ (моль/л} \cdot \text{с)}$$

Скорость второй реакции больше скорости первой реакции в число раз, равное:

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{1}{0,1} = 10$$

Ответ. В 10 раз.

Задача 72. Как изменится скорость реакции: $2A (г) + B_2 (г) = 2AB (г)$, протекающей в закрытом сосуде, если увеличить давление в 4 раза?

Решение. По закону действия масс скорость химической реакции прямо пропорциональна произведению молярных концентраций реагирующих веществ:

$v = k \cdot C^2(A) \cdot (B_2)$, где k — константа скорости реакции,

$C(A)$ и $C(B_2)$ — начальные молярные концентрации реагирующих веществ A и B .

Пусть начальные концентрации A и B_2 равнялись: $C(A) = a$, $C(B_2) = b$, тогда $v_1 = k \cdot a^2 \cdot b$. Вследствие увеличения давления в 4 раза увеличились концентрации каждого из реагентов тоже в 4 раза и стали равными:

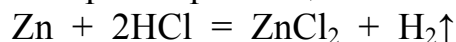
$$C(A) = 4a, C(B_2) = 4b.$$

При этих концентрациях $v_2 = k \cdot (4a)^2 \cdot 4b = k \cdot 64a^2 b$. Значение k в обоих случаях одно и тоже. Сравнивая v_1 и v_2 , видим, что скорость реакции возросла в 64 раза.

Ответ. Возрастет в 64 раза.

Задача 73. Растворение образца цинка в соляной кислоте при $20^\circ C$ заканчивается через 27 минут, а при $40^\circ C$ такой же образец металла растворяется за 3 минуты. За какое время данный образец цинка растворится при $55^\circ C$?

Решение. Запишем уравнение растворения цинка в соляной кислоте:



Поскольку во всех трёх случаях растворяется одинаковое количество образца, то можно считать, что средняя скорость реакции обратно пропорциональна времени реакции. Следовательно, при нагревании от $20^\circ C$ до $40^\circ C$ скорость реакции увеличивается в $27/3 = 9$ раз. Это означает, что температурный коэффициент скорости реакции γ в уравнении Вант-Гоффа равен 3:

$$v_{t_2} / v_{t_1} = \gamma^{\Delta t / 10} \quad 9 = \gamma^2 \Rightarrow \gamma = \sqrt{9} = 3$$

Следовательно, при нагревании до $55^\circ C$ скорость реакции увеличится в $3^{(55-40)/10} = 5,2$ раза, а время реакции составит $3/5,2 = 0,577$ (мин) или 34,6 сек.

Ответ. 34,6 сек

Задача 74. Как изменится скорость реакции $X_2 + 2Y_2 \rightarrow 2XY_2$, протекающей в газовой фазе в закрытом сосуде, если увеличить давление в 6 раз?

Решение. По закону действующих масс, скорость гомогенной химической реакции пропорциональна произведению молярных концентраций реагирующих веществ, возведённых в степени их стехиометрических коэффициентов. Увеличивать концентрации реагирующих веществ можно за счет повышения давл Y через a и b , соответственно: $[X_2] = a$, $[Y_2] = b$.

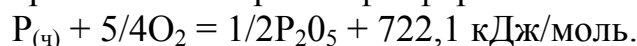
Скорость реакции равна: $v_1 = k[X_2][Y_2]^2 = kab^2$

При увеличении давления в 6 раз концентрация каждого из веществ также увеличивается в 6 раз. В этом случае: $v_2 = k(6a)(6b) = 216kab^2 = 216v_1$

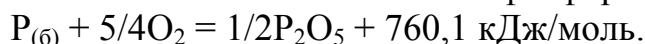
Ответ. Скорость реакции возрастет в 216 раз.

Задача 75. При стандартных условиях теплота полного сгорания белого фосфора равна 760,1 кДж/моль, а теплота полного сгорания чёрного фосфора равна 722,1 кДж/моль. Чему равна теплота превращения чёрного фосфора в белый фосфор, при стандартных условиях?

Решение. Реакция сгорания моля чёрного фосфора имеет вид:



Этот же процесс можно провести в две стадии: сначала превратить моль чёрного фосфора в моль белого: а затем — сжечь белый фосфор:

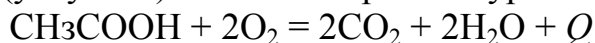


По закону Гесса, $722,1 = Q + 760,1$, откуда $Q = -38$ кДж/моль.

Ответ. -38 кДж/моль.

Задача 76. При сжигании этановой (уксусной) кислоты в кислороде выделилось 235,9 кДж теплоты, и осталось 10,0 л не прореагировавшего кислорода (измерено при давлении 104,1 кПа и температуре 40 °С). Рассчитайте массовые доли компонентов в исходной смеси, если известно, что теплоты образования оксида углерода (IV), паров воды и этановой кислоты составляют 393,5 кДж/моль, 241,8 кДж/моль и 484,2 кДж/моль, соответственно.

Решение. Этановая (уксусная) кислота сгорает по уравнению



По закону Гесса,

$$\begin{aligned} Q &= 2Q_{\text{обр}}(CO_2) + 2Q_{\text{обр}}(H_2O) - Q_{\text{обр}}(CH_3COOH) = \\ &= 2 \cdot 393,5 + 2 \cdot 241,8 - 484,2 = 786,4 \text{ кДж/моль.} \end{aligned}$$

При сгорании одного моля уксусной кислоты выделяется 786,4 кДж, а по условию выделилось 235,9 кДж, следовательно, в реакцию вступило $235,9/786,4 = 0,3$ моль уксусной кислоты. Таким образом, 0,3 моль CH_3COOH реагируют с 0,6 моль O_2 , и в избытке остается $v = PV / RT = 104,1 \cdot 10,0 / (8,31 \cdot 313) = 0,4$ моль O_2 . В исходной смеси содержалось 0,3 моль CH_3COOH (массой $0,3 \cdot 60 = 18$ г) и 1 моль O_2 (массой 32 г). Массовые доли веществ в исходной смеси равны:

$$\omega(CH_3COOH) = 18 / (18 + 32) = 0,36, \text{ или } 36\%,$$

$$\omega(O_2) = 32 / (18 + 32) = 0,64, \text{ или } 64\%.$$

Ответ. 36% CH_3COOH , 64% O_2 .

Задача 77. Исходя из тепловых эффектов реакций окисления оксида мышьяка (III) кислородом и озоном:



Вычислите тепловой эффект реакции образования озона из кислорода.

Решение. Тепловой эффект реакции образования озона (ΔH_3) из молекулярного кислорода не поддается экспериментальному определению, но можно вычислить его на основании закона Гесса. Термохимические уравнения позволяют

выполнять любые алгебраические действия, как и обычные алгебраические уравнения.

Для вычисления теплового эффекта реакции: $3\text{O}_2 = 2\text{O}_3 + Q$ все составляющие уравнения (1) умножим на три и из полученного уравнения:



вычтем уравнение (2), Затем исключим из нового уравнения As_2O_3 и As_2O_5 , и получим: $3\text{O}_2 = 2\text{O}_3 - 283 \text{ кДж}$ (4)

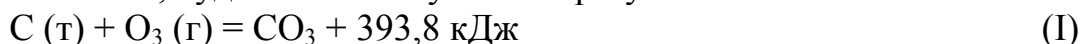
Следовательно, в соответствии с коэффициентами уравнения (4) для превращения 1 моль кислорода в озон необходимо затратить $(283 : 3) \text{ кДж}$, а для получения 1 моль озона из кислорода $283/2 = 141,5 \text{ кДж}$. Это тепловой эффект реакции: $1,5\text{O}_2 = \text{O}_3 - 141,5 \text{ кДж}$

Ответ. $-141,5 \text{ кДж}$

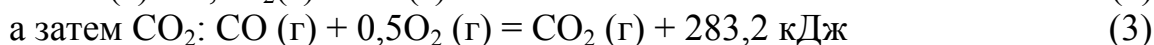
Задача 78. Найдите теплоту образования оксида углерода (II), если теплота образования оксида углерода (IV) равна $+393,8 \text{ кДж/моль}$, а теплота реакции: $\text{CO}(\text{г}) + 0,5\text{O}_2(\text{г}) = \text{CO}_2(\text{г})$ равна $+283,2 \text{ кДж}$.

Решение.

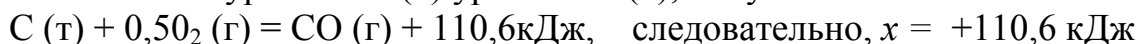
1. Обозначим теплоту образования CO через x . Теплота образования CO_2 не зависит от того, будет ли он получаться сразу:



или сначала образуется CO:



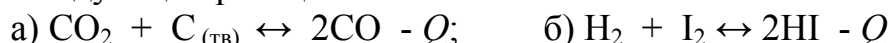
2. Вычтем из уравнения (1) уравнение (3), получим:



Теплота образования CO равна $+110,6 \text{ кДж/моль}$

Ответ. $110,6 \text{ кДж/моль}$

Задача 79. Как будет влиять увеличение температуры и давления на состояние равновесия в следующих реакция:

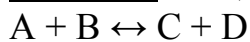


Решение. а) Прямая реакция идёт с поглощением тепла, поэтому нагревание способствует прямой реакции, и равновесие сместится в сторону продуктов. В ходе прямой реакции увеличивается число молекул в газовой фазе, поэтому давление способствует обратной реакции, и равновесие смещается в сторону исходных веществ.

б) При нагревании равновесие сместится в сторону продуктов. Давление не влияет на положение равновесия, т.к. в ходе реакции число молекул в газовой фазе не изменяется.

Задача 80. Обратимая реакция описывается уравнением: $\text{A} + \text{B} \leftrightarrow \text{C} + \text{D}$. Смешали по одному молю всех веществ. После установления равновесия в смеси обнаружено 1,5 моль вещества C. Найдите константу равновесия.

Решение. В ходе реакции



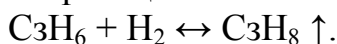
образовалось $1,5 - 1 = 0,5$ моль вещества С, следовательно в реакцию вступило по $0,5$ моль А и В, и образовалось $0,5$ моль О. Количества веществ в смеси после установления равновесия равны: $\nu(A) = 1 - 0,5 = 0,5$, $\nu(B) = 1 - 0,5 = 0,5$, $\nu(C) = 1,5$, $\nu(O) = 1 + 0,5 = 1,5$ моль. Константа равновесия равна:

$$K = \frac{[C][D]}{[A][B]} = \frac{\nu(C) \cdot \nu(D)}{\nu(A) \cdot \nu(B)} = \frac{1,5 \cdot 1,5}{0,5 \cdot 0,5} = 9$$

Ответ. $K = 9$.

Задача 81. Один моль смеси пропена с водородом, имеющей плотность по водороду 15, нагрели в замкнутом сосуде с платиновым катализатором при 320°C , при этом давление в сосуде уменьшилось на 25%. Рассчитайте выход реакции в % от теоретического. На сколько процентов уменьшится давление в сосуде, если для проведения эксперимента в тех же условиях использовать 1 моль смеси тех же газов, имеющей плотность по водороду 16?

Решение. 1. Запишем уравнение реакции:



Пусть $\nu(\text{C}_3\text{H}_6) = x$, $\nu(\text{H}_2) = 1 - x$, тогда масса смеси равна

$$42 \cdot x + 2 \cdot (1 - x) = 2 \cdot 15 = 30, \text{ откуда } x = 0,7, \text{ т.е. } \nu(\text{C}_3\text{H}_6) = 0,7, \nu(\text{H}_2) = 0,3.$$

Давление уменьшилось на 25% при неизменных температуре и объеме за счет уменьшения на 25% числа молей в результате реакции.

Пусть y моль H_2 вступило в реакцию, тогда после реакции осталось:

$$\nu(\text{C}_3\text{H}_6) = 0,7 - y, \nu(\text{H}_2) = 0,3 - y, \nu(\text{C}_3\text{H}_8) = y,$$

$$\nu_{\text{общ}} = 0,75 = (0,7 - y) + (0,3 - y) + y, \text{ откуда } y = 0,25.$$

Теоретически могло образоваться $0,3$ моль C_3H_8 (H_2 — в недостатке), поэтому выход равен $0,25 / 0,3 = 0,833 = 83,3\%$.

Константа равновесия при данных условиях равна:

$$K_v = \frac{\nu(\text{C}_3\text{H}_8)}{\nu(\text{C}_3\text{H}_6) \cdot \nu(\text{H}_2)} = \frac{0,25}{0,45 \cdot 0,05} = 11,1$$

2. Пусть во втором случае $\nu(\text{C}_3\text{H}_6) = a$, $\nu(\text{H}_2) = 1 - a$, тогда масса смеси равна $42 \cdot a + 2 \cdot (1 - a) = 2 \cdot 16 = 32$, откуда $a = 0,75$, т.е. $\nu(\text{C}_3\text{H}_6) = 0,75$, $\nu(\text{H}_2) = 0,25$. Пусть в реакцию вступило b моль H_2 . Это число можно найти из условия неизменности константы равновесия:

$$K_v = \frac{\nu(\text{C}_3\text{H}_8)}{\nu(\text{C}_3\text{H}_6) \cdot \nu(\text{H}_2)} = \frac{b}{(0,75 - b) \cdot (0,25 - b)} = 11,1$$

Из двух корней данного квадратного уравнения выбираем корень, удовлетворяющий условию: $0 < b < 0,25$, т.е. $b = 0,214$.

Общее число молей после реакции равно:

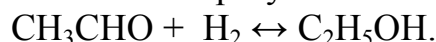
$$\nu_{\text{общ}} = (0,75 - 0,214) + (0,25 - 0,214) + 0,214 = 0,786, \text{ т.е. оно уменьшилось на } 21,4\% \text{ по сравнению с исходным количеством (1 моль). Давление пропорционально числу молей, поэтому оно также уменьшилось на } 21,4\%.$$

Ответ. Выход C_3H_8 — 83,3%. Давление уменьшится на 21,4%.

Задача 82. Пары этанала смешали с водородом в молярном отношении 1:2 при давлении 300 кПа и температуре 400°C в замкнутом реакторе, предназна-

ченном для синтеза этанола. После окончания процесса давление газов в реакторе при неизменной температуре уменьшилось в 20%. Определите объёмную долю паров этанола в реакционной смеси в процент превращения уксусного альдегида в этанол.

Решение. При гидрировании этанала образуется этанол:



Пусть в исходной смеси содержалось x моль этанала, $\nu(\text{CH}_3\text{CHO}) = x$, тогда, по условию, $\nu(\text{H}_2) = 2x$. Общее число молей газов равно $\nu_1 = 3x$.

Реакция этанала с водородом обратима. Пусть в эту реакцию вступает y моль CH_3CHO , тогда водорода расходуется также y моль, и образуется y моль $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$. В конечной смеси содержатся:

$\nu(\text{CH}_3\text{CHO}) = x - y$, $\nu(\text{H}_2) = 2x - y$, $\nu(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = y$. Общее число молей газов равно $\nu_2 = (x - y) + (2x - y) + y = 3x - y$.

По условию, давление в конечной смеси уменьшилось на 20% сравнению с исходным. Поскольку температура в процессе реакции не изменяется, и объём реактора постоянен, то уменьшение давления вызвано только уменьшением числа молей газов. Таким образом,

$$\nu_2 = 0,8 \cdot \nu_1, \text{ или } 3x - y = 0,8 \cdot 3x, \text{ то есть } y = 0,6x.$$

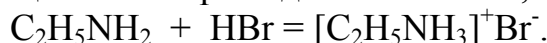
По закону Авогадро, объёмная доля газа равна его мольной доле, а этому объёмная доля паров этанола равна: $\varphi(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = y / (3x - y) = 0,25$ или 25%.

Процент превращения уксусного альдегида в этанол (т.е., практический выход этанола) равен $y/x = 0,6$, или 60%.

Ответ. 25% $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, процент превращения CH_3CHO - 60%.

Задача 83. К 30 л смеси, состоящей из аргона и этиламина, добавили 20 л бромоводорода, после чего плотность газовой смеси по воздуху стала равна 1,814. Вычислите объёмные доли газов в исходной смеси.

Решение. Пусть в исходной смеси содержалось x л Ar и y л $\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$ тогда $x + y = 30$. При добавлении бромоводорода происходит его реакция с этиламином, и образуется твёрдое вещество — бромид этиламмония, $[\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_3]^+\text{Br}^-$.



Средняя молярная масса оставшейся газовой смеси равна $1,814 \cdot 29 = 52,6$ г/моль. Отсюда-в газовой смеси находятся Ar и HBr (если бы в смеси остались Ar и $\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$, то $40 < M_{\text{cp}} < 45$).

$$V(\text{Ar}) = x, \quad V(\text{HBr}) = 20 - y.$$

$$M_{\text{cp}} = (40x + 81 \cdot (20 - y)) / (x + 20 - y) = 52,6.$$

$$V = x + y = 30.$$

Решая систему, находим: $x = 18$, $y = 12$. Объёмные доли равны:

$$\varphi(\text{Ar}) = 18/30 \cdot 100\% = 60\%. \quad \varphi(\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2) = 12/30 \cdot 100\% = 40\%.$$

Ответ. 60% Ar , 40% $\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$.

2. НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

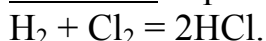
Комбинированные задачи

В наборе задач этого раздела встречаются все варианты рассмотренных выше методических особенностей решения задач по отдельным темам. В предлагаемых задачах главными являются химические свойства рассматриваемых простых и сложных веществ и химизм протекающих процессов.

2.1. Водород.

Задача 84. В сосуде имеется смесь водорода и хлора. Как изменится давление в сосуде при пропускании через смесь электрической искры?

Решение. При пропускании искры газы реагируют по уравнению:

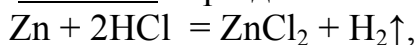


В результате этой реакции общее количество молекул в газовой фазе не изменяется, поэтому давление в сосуде также остается неизменным.

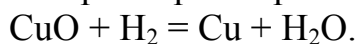
Ответ. Давление не изменится.

Задача 85. Газ, выделившийся при действии 2,0 г цинка на 18,7 мл 14,6%-ной соляной кислоты (плотность раствора 1,07 г/мл), пропустили при нагревании над 4,0 г оксида меди (II). Чему равна масса полученной твердой смеси?

Решение. При действии цинка на соляную кислоту выделяется водород:



который при нагревании восстанавливает оксид меди (II) до меди:



Найдем количества веществ в первой реакции:

$$m(\text{p-ра HCl}) = 18,7 \cdot 1,07 = 20,0 \text{ г}, \quad m(\text{HCl}) = 20,0 \cdot 0,146 = 2,92 \text{ г}.$$

$$v(\text{HCl}) = 2,92/36,5 = 0,08 \text{ моль}, \quad v(\text{Zn}) = 2,0/65 = 0,031 \text{ моль}.$$

Цинк находится в недостатке, поэтому количество выделившегося водорода равно: $v(\text{H}_2) = v(\text{Zn}) = 0,031$ моль.

Во второй реакции в недостатке находится водород, поскольку

$v(\text{CuO}) = 4,0/80 = 0,05$ моль. В результате реакции 0,031 моль CuO превратится в 0,031 моль Cu, и потеря массы составит:

$$m(\text{CuO}) - m(\text{Cu}) = 0,031 \cdot 80 - 0,031 \cdot 64 = 0,50 \text{ г}.$$

Масса твердой смеси CuO с Cu после пропускания водорода составит:

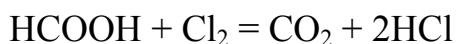
$$4,0 - 0,5 = 3,5 \text{ г}.$$

Ответ. 3,5 г.

2.2. Галогены.

Задача 86. Через 75 г горячего 10%-ного раствора муравьиной кислоты пропускают газообразный хлор до тех пор, пока массовые доли обеих кислот в растворе не станут одинаковыми. Определите, сколько моль каждого соединения в образовавшемся растворе приходится на 1 моль воды.

Решение. В результате пропускания хлора происходит следующая реакция;



По условию, реакция идет не до конца, и в растворе остаются две кислоты - муравьиная и соляная.

Пусть в реакцию вступило x моль НСООН ($M(\text{НСООН}) = 46$ г/моль), тогда образовалось $2x$ моль НСl ($M(\text{НСl}) = 36,5$ г/моль). Массы кислот в растворе равны: $m(\text{НСООН}) = 750,1 \cdot 46x = m(\text{НСl}) = 2x \cdot 36,5$,

откуда $x = 0,063$. Количества веществ в полученном растворе равны:

$\nu(\text{НСООН}) = 7,5/46 - 0,063 = 0,100$ моль, $\nu(\text{НСl}) = 2 \cdot 0,063 = 0,126$ моль, $(\text{H}_2\text{O}) = 75 \cdot 0,9/18 = 3,75$ моль.

Таким образом, отношение числа молей составляет:

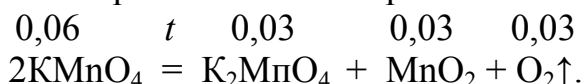
$\nu(\text{НСООН}) / \nu(\text{H}_2\text{O}) = 0,1 / 3,75 = 0,0267$,

$\nu(\text{НСl}) / \nu(\text{H}_2\text{O}) = 0,126 / 3,75 = 0,0336$.

Ответ. На 1 моль воды приходится 0,0267 моль НСООН и 0,0336 моль НСl.

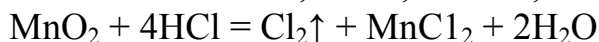
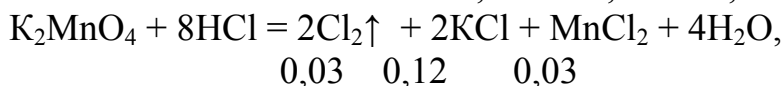
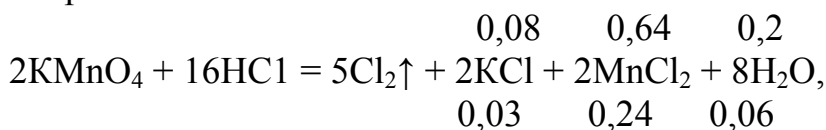
Задача 87. После нагревания 22,12 г перманганата калия образовалось 21,16 г твердой смеси. Какой максимальный объём хлора (н.у.) можно получить при действии на образовавшуюся смесь 36,5%-ной соляной кислоты (плотность 1,18 г/мл). Какой объём кислоты при этом расходуется?

Решение. При нагревании перманганат калия разлагается:



Масса смеси уменьшается за счёт выделившегося кислорода: $\nu(\text{O}_2) = m / M = (22,12 - 21,16) / 32 = 0,03$ моль. В результате реакции также образовались 0,03 моль K_2MnO_4 , 0,03 моль MnO_2 и израсходовано 0,06 моль KMnO_4 . Значит, перманганат калия разложился не весь. После реакции он остался в смеси в количестве $\nu(\text{KMnO}_4) = 22,12/158 - 0,06 = 0,08$ моль.

Все три вещества, находящиеся в конечной смеси (KMnO_4 , K_2MnO_4 , MnO_2), — сильные окислители и при нагревании окисляют соляную кислоту до хлора:



Общее количество хлора, который выделился в этих трех реакциях, равно:

$\nu(\text{Cl}_2) = (0,08 \cdot 5/2) + (0,03 \cdot 2) + 0,03 = 0,29$ моль,

а объём составляет $V(\text{Cl}_2) = 0,29 \cdot 22,4 = 6,50$ л.

Количество израсходованного хлороводорода равно:

$\nu(\text{НСl}) = (0,08 \cdot 16/2) + (0,03 \cdot 8) + (0,03 \cdot 4) = 0,96$ моль,

$m(\text{НСl}) = \nu \cdot M = 0,96 \cdot 36,5 = 35,04$ г,

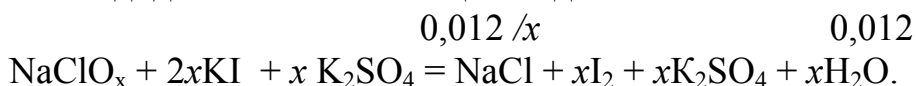
$m(\text{р-ра НСl}) = m(\text{НСl}) / \omega(\text{НСl}) = 35,04 / 0,365 = 96,0$ г,

$V(\text{р-ра НСl}) = m / \rho = 96,0 / 1,18 = 81,4$ мл.

Ответ. $V(\text{Cl}_2) = 6,50$ л, $V(\text{р-ра НСl}) = 81,4$ мл.

Задача 88. К подкисленному раствору, содержащему 0,543 г некоторой соли, в состав которой входят натрий, хлор и кислород, добавили раствор иодида калия до прекращения выделения йода. Масса образовавшегося йода равна 3,05 г. Установите формулу соли. На сколько процентов уменьшится масса твердого вещества при полном термическом разложении исходной соли?

Решение. Общая формула неизвестной соли, где $x = 1 \div 4$. Уравнение окисления иодида калия имеет общий вид:



$\nu(\text{I}_2) - m / M = 3,05 / 254 = 0,012$ моль, $\nu(\text{NaClO}_x) = 0,012 / x$ моль. С другой стороны, $\nu(\text{NaClO}_x) = m / M = 0,543 / (23 + 35,5 + 16x)$ моль.

Из уравнения

$$0,012 / x = 0,543 / (23 + 35,5 + 16x)$$

находим $x = 2$. Искомая соль — хлорит натрия NaClO_2 .

Все кислородсодержащие соли хлора при сильном нагревании разлагаются на хлорид и кислород: $\text{NaClO}_2 = \text{NaCl} + \text{O}_2 \uparrow$

Из 1 моль NaClO_2 (90,5 г) образуется 1 моль NaCl (58,5 г).

Потеря массы составляет 32 г, или $32 / 90,5 \cdot 100\% = 35,4\%$.

Ответ. NaClO_2 . Потеря массы 35,4%.

2.3. Элементы подгруппы кислорода (кислород, сера)

Задача 89. Какой объем (при н.у.) занимает кислород, выделившийся из одного моля каждого из веществ: KClO_3 , KMnO_4 , KNO_3 , HgO ?

Решение. Все реакции разложения данных веществ протекают при нагревании:

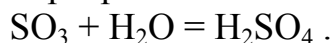


Согласно этим уравнениям, из одного моля KClO_3 выделяется 1,5 моль O_2 ($1,5 \cdot 22,4 = 33,6$ л), из одного моля остальных трех веществ — по 0,5 моль O_2 ($0,5 \cdot 22,4 = 11,2$ л).

Ответ. 33,6 л, 11,2 л, 11,2 л кислорода.

Задача 90. Какую массу оксида серы (VI) надо растворить в 100 г 91%-ного раствора серной кислоты для того, чтобы получить 30%-ный олеум?

Решение. Олеум — это раствор SO_3 в 100%-ной H_2SO_4 . Процесс получения олеума разобьем на две стадии. Сначала найдем, сколько надо добавить SO_3 , чтобы 91%-ная серная кислота превратилась в 100%-ную.



В исходной серной кислоте содержалось $100 \cdot 0,09 = 9$ г H_2O , что составляет $9/18 = 0,5$ моль. Для реакции с таким количеством воды необходимо 0,5 моль SO_3 (массой $0,5 \cdot 80 = 40$ г); при этом образуется 0,5 моль H_2SO_4 (массой $0,5 \cdot 98 = 49$ г). Общая масса 100%-ной серной кислоты после добавления 40 г SO_3 станет равна $91 + 49 = 140$ г,

Для получения 30%-ного раствора SO_3 в серной кислоте к 140 г H_2SO_4 надо добавить x г (SO_3), тогда масса олеума станет равна $140+x$ г, а массовая доля SO_3 составит

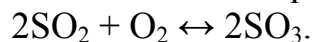
$\omega(\text{SO}_3) = x/(140+x) = 0,3$ откуда $x = 60$ г. Общая масса добавленного SO_3 равна $40+60 = 100$ г.

Ответ. 100 г SO_3 .

Задача 91. В процессе синтеза оксида серы (VI) из оксида серы (IV) и кислорода в замкнутом сосуде давление в реакционной смеси упало на 20,0% (при постоянной температуре). Определите состав образовавшейся газовой смеси (в % по объёму), если в исходной смеси содержалось 50% оксида серы (IV) по объёму.

Решение. По условию, в исходной смеси содержалось равное количество SO_2 и O_2 ; $v(\text{SO}_2) = v(\text{O}_2) = x$, общее число молей $v_2 = 2x$.

Реакция образования SO_3 из SO_2 и O_2 - обратимая:



Пусть в реакцию вступило y моль O_2 , тогда израсходовано $2y$ моль SO_2 , и образовалось $2y$ моль SO_3 . В полученной смеси содержатся:

$v(\text{SO}_2) = x-2y$, $v(\text{O}_2) = x-y$, $v(\text{SO}_3) = 2y$, общее число молей = $(x-2y) + (x-y) + 2y = 2x-y$.

Реакция проводится в замкнутом сосуде, поэтому давление в сосуде при постоянной температуре прямо пропорционально общему количеству газов: $P_2/P_1 = 0,8$ (по усл.) = $v_2 / v_1 = 2x-y / 2x$,

откуда $y = 0,4x$. Объемные доли газов в конечной смеси равны их мольным долям:

$$\omega(\text{SO}_2) = v(\text{SO}_2) / v_2 \cdot 100\% = 0,2x / 1,6x \cdot 100\% = 12,5\%,$$

$$\omega(\text{O}_2) = v(\text{O}_2) / v_2 \cdot 100\% = 0,6x / 1,6x \cdot 100\% = 37,5\%,$$

$$\omega(\text{SO}_3) = v(\text{SO}_3) / v_2 \cdot 100\% = 0,8x / 1,6x \cdot 100\% = 50,0\%.$$

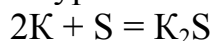
Ответ. 12,5% SO_2 , 37,5% O_2 , 50,0% SO_3 .

Задача 92. Продукты полного взаимодействия 1,17 г калия и 0,80 г серы осторожно внесли в воду, и образовавшийся прозрачный раствор разбавили до объема 50 мл. Определите молярные концентрации соединений в образовавшемся растворе. Вычислите максимальную массу брома, который может прореагировать с полученным раствором.

Решение. Найдём количества реагирующих веществ:

$$v(\text{K}) = 1,17/39 = 0,03, \quad v(\text{S}) = 0,80/32 = 0,025.$$

Для образования сульфида калия по уравнению:

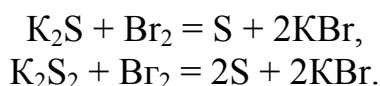


необходимо $0,03/2 = 0,015$ моль серы. Оставшиеся $0,025-0,015 = 0,01$ моль серы реагируют с K_2S с образованием дисульфида K_2S_2 : $\text{K}_2\text{S} + \text{S} = \text{K}_2\text{S}_2$.

$v(\text{K}_2\text{S}) = 0,015-0,01 = 0,005$, $v(\text{K}_2\text{S}_2) = 0,01$. При разбавлении раствора до объема 50 мл (0,05 л) молярные концентрации становятся равными:

$C(\text{K}_2\text{S}) = 0,005/0,05 = 0,1$ моль/л, $C(\text{K}_2\text{S}_2) = 0,01/0,05 = 0,2$ моль/л.

При добавлении к данному раствору брома происходят следующие реакции:



$v(\text{Br}_2) = v(\text{K}_2\text{S}) = 0,005$; $v_2(\text{Br}_2) = v(\text{K}_2\text{S}_2) = 0,01$;
 $v_{\text{общ}}(\text{Br}_2) = 0,005 + 0,01 = 0,015$; $m(\text{Br}_2) = 0,015 \cdot 160 = 2,4$ г.
Ответ. 0,1 М K_2S , 0,2 М K_2S_2 ; 2,4 г Br_2

2.4. Подгруппа азота и фосфора

Задача 93. 347,7 мл 10%-ного раствора хлорида аммония (плотность ρ 1,1 г/мл) прореагировали с избытком гидроксида натрия при лёгком нагревании. Вычислите объём (л. н.у.) газа, выделившегося в результате реакции.

Решение. 1. Запишем уравнение реакции, исходя из свойств реагентов и условия проведения реакции. Более сильное основание (щёлочь) NaOH будет вытеснять менее сильное основание - гидроксид аммония из хлорида аммония. При этом, будет выделяться газ аммиак:



2. По уравнению реакции $v \text{NH}_3 = v \text{NH}_4\text{Cl}$. ($M(\text{NH}_4\text{Cl}) = 53,5$ г/моль)

$$v \text{NH}_4\text{Cl} = V(\text{р-р, мл}) \cdot \frac{\omega\% \cdot \rho}{100 \cdot M} = \frac{347,7 \cdot 10 \cdot 1,1}{100 \cdot 53,5} = 0,715 \text{ моль}.$$

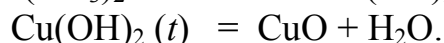
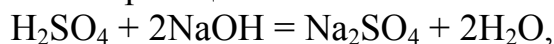
3. Вычислим объём выделившегося аммиака:

$$V(\text{NH}_3) = v(\text{NH}_3) \cdot 22,4 = 0,715 \cdot 22,4 = 16 \text{ л}.$$

Ответ. 16 л. NH_3 .

Задача 94. Известно, что 40 мл раствора, содержащего нитрат меди (II) и серную кислоту, могут прореагировать с 25,4 мл 16,0%-ного раствора гидроксида натрия (плотность раствора 1,18 г/мл). Прокаливание выпавшего при этом осадка дает 1,60 г твёрдого вещества. Вычислите концентрации (в моль/л) нитрата меди (II) и серной кислоты в исходном растворе, а также объём газа (при н.у.), который выделяется при внесении 2,5 г порошкообразной меди в 40 мл этого раствора.

Решение. Запишем уравнения реакций:



По этим уравнениям можно определить состав исходного раствора:

$$v(\text{CuO}) = 1,6 / 80 = 0,02 \text{ моль},$$

$$v(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2) = v(\text{Cu}(\text{OH})_2) = v(\text{CuO}) = 0,02 \text{ моль},$$

$$v(\text{NaOH}) = 25,4 \cdot 1,18 \cdot 0,160 / 40 = 0,12 \text{ моль}.$$

На реакцию с $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ расходуется $0,02 \cdot 2 = 0,04$ моль NaOH , оставшиеся $0,12 - 0,04 = 0,08$ моль NaOH реагируют с H_2SO_4 .

$$v(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,08 / 2 = 0,04 \text{ моль}.$$

$$C(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2) = 0,02 / 0,04 = 0,5 \text{ моль/л},$$

$$C(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,04 / 0,04 = 1 \text{ моль/л}.$$

Известно, что кислые растворы нитратов способны растворять металлы аналогично разбавленной азотной кислоте. В частности, медь растворяется в

данном растворе с образованием NO. Для того, чтобы определить количество выделившегося газа, запишем уравнение реакции в сокращенной ионной форме: $3\text{Cu} + 8\text{H}^+ + 2\text{NO}_3^- = 3\text{Cu}^{2+} + 2\text{NO} + 4\text{H}_2\text{O}$.

Избыток-недостаток определим по количеству молей реагентов:

$$\begin{aligned}v(\text{Cu}) &= 2,5 / 64 = 0,0391 \text{ моль,} \\v(\text{H}^+) &= 2 \cdot v(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,08 \text{ моль,} \\v(\text{NO}_3^-) &= 2 \cdot v(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2) = 0,04 \text{ моль.}\end{aligned}$$

С учетом коэффициентов ионной реакции оказывается, что в недостатке находятся ионы H^+ , поэтому: $v(\text{NO}) = v(\text{H}^+) / 4 = 0,02$ моль,

$$V(\text{NO}) = 0,02 \cdot 22,4 = 0,448 \text{ л.}$$

Ответ. 0,5 М $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, 1 М H_2SO_4 ; 0,448 л NO.

Задача 95. Массовая доля фосфора в одном из его оксидов равна 56,36%. Плотность паров этого вещества по воздуху равна 7,58. Установите молекулярную формулу оксида.

Решение. Пусть формула оксида P_xO_y . Возьмём 100 г оксида и найдём количества элементов: $v(\text{P}) = 56,36 / 31 = 1,818$ моль,

$$v(\text{O}) = 43,64 / 16 = 2,728 \text{ моль.}$$

$$v \text{ у(P): } v(\text{O}) = x : y = 1,818 : 2,728 = 2:3.$$

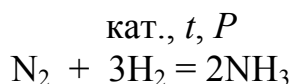
Простейшая формула оксида — P_2O_3 .

Молярную массу оксида определяем по плотности паров. $M/(\text{P}_x\text{O}_y) = 29 \cdot 7,58 = 220$ г/моль. Простейшая формула P_2O_3 соответствует молярной массе 110 г/моль. Следовательно, молекулярная формула оксида в парах равна удвоенной простейшей формуле — P_4O_6 .

Ответ. P_4O_6 .

Задача 96. Определите выход реакции синтеза аммиака, если известно, что после взаимодействия 2,24 л азота (н.у.) с необходимым количеством водорода образовалось 4 л (н.у.) аммиака.

Решение: Из условия задачи нам известен реальный объем продукта (4 л). Чтобы вычислить значение выхода реакции η , нам необходимо найти теоретически возможное количество продукта $V(\text{теор.})$. Для этого проведем расчет по уравнению реакции.



Пусть x л - объём аммиака (V), который теоретически возможно получить из 2,24 л азота. Тогда составим пропорцию исходя из молярного соотношения газов в реакции:

$$\begin{array}{ccc} 22,4 \text{ л (1 моль N}_2) & \text{—} & 44,8 \text{ л (2 моль NH}_3) \\ 2,24 \text{ л (N}_2) & \text{—} & x \text{ л (NH}_3) \end{array}$$

Откуда $x = V(\text{теор.}) = 4,48$ л.

Подставив теперь найденное значение в уравнение для выхода реакции:

$$\eta = \frac{V(\text{практ}) \cdot 100\%}{V(\text{теор})} = \frac{4 \cdot 100\%}{4,48} = 89\%$$

Ответ: Выход реакции составляет 0,89 (или 89%).

2.5. Подгруппа углерода и кремния

Задача 97. При взаимодействии углерода с концентрированной серной кислотой выделилось 13,44 л смеси двух газов (н.у.). Рассчитайте массу углерода, вступившего в реакцию.

Решение. Пусть в реакцию

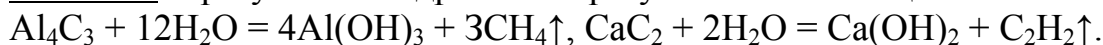


вступило x моль C , тогда образовалось x моль CO_2 и $2x$ моль SO_2 , всего $3x$ моль газов. По условию, количество газов в смеси равно $13,44/22,4 = 0,6 = 3x$, откуда $x = 0,2$. Масса углерода равна $0,2 \cdot 12 = 2,4$ г.

Ответ. 2,4 г C .

Задача 98. При полном гидролизе смеси карбидов кальция и алюминия образуется смесь газов, которая в 1,6 раза легче кислорода. Определите массовые доли карбидов в исходной смеси.

Решение. В результате гидролиза образуются метан и ацетилен:



Пусть в исходной смеси содержалось x моль Al_4C_3 и y моль CaC_2 , тогда в газовой смеси содержится $3x$ моль CH_4 и y моль C_2H_2 . Средняя молярная масса газовой смеси равна:

$$M_{\text{cp}} = M(\text{O}_2) / 1,6 = 20 = (3x \cdot 16 + y \cdot 26) / (3x + y),$$

откуда $y = 2x$.

Массовые доли карбидов в исходной смеси равны:

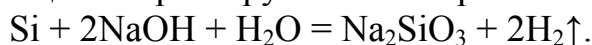
$$\omega(\text{Al}_4\text{C}_3) = 144x / (144x + 64y) \cdot 100\% = 52,9\%,$$

$$\omega(\text{CaC}_2) = 64y / (144x + 64y) \cdot 100\% = 47,1\%.$$

Ответ. 52,9% Al_4C_3 , 47,1% CaC_2 .

Задача 99. Смесь кремния и угля, массой 5,0 г, обработали избытком концентрированного раствора щёлочи при нагревании. В результате реакции выделилось 2,8 л водорода (н.у.). Вычислите массовую долю углерода в этой смеси.

Решение. С раствором щелочи реагирует только кремний:



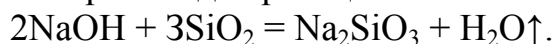
$$v(\text{H}_2) = 2,8/22,4 = 0,125 \text{ моль. } v(\text{Si}) = 0,125/2 = 0,0625 \text{ моль. } m(\text{Si}) = 0,0625 \cdot 28 = 1,75 \text{ г. } m(\text{C}) = 5,0 - 1,75 = 3,25 \text{ г.}$$

Массовая доля углерода равна: $\omega(\text{C}) = 3,25/5,0 = 0,65$, или 65%.

Ответ. 65% C .

Задача 100. При сплавлении гидроксида натрия и оксида кремния (IV) выделилось 4,5 л водяных паров (измерено при 100 °С и 101 кПа). Какое количество силиката натрия при этом образовалось?

Решение. При сплавлении происходит реакция:



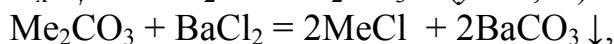
Количество выделившейся воды равно: $v(\text{H}_2\text{O}) = PV / RT = 101 \cdot 4,5 / (8,31 \cdot 373) = 0,147$ моль. Количество образовавшегося Na_2SiO_3 также равно 0,147 моль.

Ответ. 0,147 моль Na_2SiO_3 .

2.6. Щелочные и щелочноземельные металлы

Задача 101. При действии избытка углекислого газа на 32,9 г неизвестного соединения металла с кислородом образовалось твёрдое вещество "А", и выделился газ "В". Вещество "А" растворили в воде, и добавили избыток раствора хлорида бария, при этом выпало 27,58 г осадка. Газ "В" пропустили через трубку с раскалённой медью, и масса трубки увеличилась на 6,72 г. Установите формулу исходного соединения.

Решение. Из условия задачи ясно, что после пропускания CO_2 над кислородным соединением металла образовался карбонат металла, причем щелочного (поскольку карбонаты только щелочных металлов достаточно хорошо растворимы в воде), и выделился кислород. Пусть формула исходного соединения - Me_xO_y . Уравнения реакций:



Увеличение массы трубки с нагретой медью равно массе прореагировавшего по последней реакции кислорода, поэтому: $\nu(\text{O}_2) = 6,72/32 = 0,21$ моль.

По второй реакции, $\nu(\text{BaCO}_3) = 27,58 / 197 = 0,14$ моль = $\nu(\text{Me}_2\text{CO}_3)$, следовательно, $\nu(\text{Me}) = 2 \cdot \nu(\text{Me}_2\text{CO}_3) = 0,28$ моль. Отношение коэффициентов в уравнении реакции равно отношению количеств веществ (в молях), поэтому из первого уравнения следует, что $x/(y-0,5x) = 0,14/0,21$, откуда получаем, что $x : y = 1:2$. Поэтому можно заключить, что простейшая формула кислородного соединения - MeO_2 .

Поскольку $\nu(\text{MeO}_2) = \nu(\text{Me}) = 0,28$ моль, то молярная масса кислородного соединения равна: $M(\text{MeO}_2) = 32,9 / 0,28 = 117,5$ г/моль, а атомная масса металла: $M(\text{Me}) = 117,5 - 32 = 85,5$ г/моль. Этот металл — рубидий, Rb. Искомая формула — RbO_2 .

Ответ. RbO_2 .

Задача 102. При взаимодействии 6,0 г металла с водой выделилось 3,36 л водорода (н.у.). Определите этот металл, если он в своих соединениях двухвалентен.

Решение. Поскольку металл двухвалентен, его реакция с водой описывается уравнением: $\text{Me} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Me}(\text{OH})_2 + \text{H}_2\uparrow$.

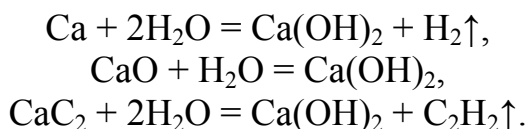
Согласно уравнению, $\nu(\text{Me}) = \nu(\text{H}_2) = 3,36/22,4 = 0,15$ моль. Отсюда атомная масса металла равна $A(\text{Me}) = m / \nu = 6,0/0,15 = 40$ г/моль. Этот металл — кальций.

Ответ. Кальций.

Задача 103. Имеется смесь кальция, оксида кальция и карбида кальция с молярным соотношением компонентов 1:3:4 (в порядке перечисления). Какой объём воды может вступить в химическое взаимодействие с 35 г такой смеси?

Решение. Пусть в исходной смеси содержалось x моль Ca, тогда $\nu(\text{CaO}) = 3x$, $\nu(\text{CaC}_2) = 4x$. Общая масса смеси равна: $40 \cdot x + 56 \cdot 3x + 64 \cdot 4x = 35$,

откуда $x = 0,0754$ моль. При взаимодействии данной смеси с водой происходят следующие реакции:



В первую реакцию вступает $2x$ моль H_2O , во вторую — $3x$, и в третью — $2 \cdot 4x = 8x$ моль H_2O , всего — $13x = 13 \cdot 0,0754 = 0,980$ моль. Масса прореагировавшей воды равна $0,980 \cdot 18 = 17,6$ г, объём воды равен $17,6$ г :

$1 \text{ г/мл} = 17,6 \text{ мл}$.

Ответ. $17,6 \text{ мл } \text{H}_2\text{O}$.

2.7. Алюминий, хром, марганец, железо, медь, цинк, серебро

Задача 104. К 25 г 8% -ного раствора хлорида алюминия прилили 25 г 8% -ного раствора гидроксида натрия. Образовавшийся осадок отфильтровали и прокалили. Определите его массу и состав.

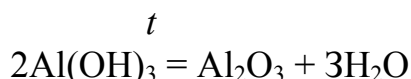
Решение. При действии щелочей на растворы солей алюминия образуется осадок гидроксида алюминия:



Проведём расчёт по этому уравнению. $\nu(\text{AlCl}_3) = 25 \cdot 0,08 / 133,5 = 0,015$, $\nu(\text{NaOH}) = 25 \cdot 0,08 / 40 = 0,05$. AlCl_3 находится в недостатке. В результате данной реакции расходуется $0,015 \cdot 3 = 0,045$ моль NaOH , и образуется $0,015$ моль $\text{Al}(\text{OH})_3$. Избыток NaOH в количестве $0,05 - 0,045 = 0,005$ моль растворяет $0,005$ моль $\text{Al}(\text{OH})_3$ по уравнению:



Таким образом, в осадке остается $0,015 - 0,005 = 0,01$ моль $\text{Al}(\text{OH})_3$. При прокаливании этого осадка в результате реакции



образуется $0,01/2 = 0,005$ моль Al_2O_3 массой $0,005 \cdot 102 = 0,51$ г.

Ответ. $0,51 \text{ г } \text{Al}_2\text{O}_3$.

Задача 105. Какую массу квасцов $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ необходимо добавить к 500 г 6% -ного раствора сульфата калия, чтобы массовая доля последнего увеличилась вдвое? Найдите объём газа (при н.у.), который выделится при действии на полученный раствор избытка сульфида калия.

Решение. Масса исходного раствора - 500 г, в нём содержится 30 г K_2SO_4 ($M = 174$). Добавим к раствору x моль квасцов $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ($M = 474$) (в них содержится $x/2$ моль K_2SO_4): $m(\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}) = 474x$, $m(\text{K}_2\text{SO}_4) = 30 + 174 \cdot x/2 = 30 + 87x$, $m(\text{р-ра}) = 500 + 474x$. По условию, массовая доля K_2SO_4 в конечном растворе равна 12% , т.е. $(30 + 87x) / (500 + 474x) = 0,12$, откуда $x = 1,00$, Масса добавленных квасцов равна $m(\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}) = 474 \cdot 1,00 = 474$ г.

В образовавшемся растворе содержится $x/2 = 0,500$ моль $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, который реагирует с избытком K_2S по уравнению:



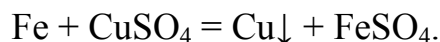
По этому уравнению, $\nu(\text{H}_2\text{S}) = 3 \cdot \nu(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3) = 3 \cdot 0,500 = 1,500$ моль.

$\nu(\text{H}_2\text{S}) = 1,500 \cdot 22,4 = 33,6$ л.

Ответ. 474 г $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$; 33,6 л H_2S .

Задача 106. Железную пластинку массой 5,2 г продолжительное время выдерживали в растворе, содержащем 1,6 г сульфата меди. По окончании реакции пластинку вынули из раствора и высушили. Чему стала равна её масса?

Решение. Железо стоит в ряду напряжений левее меди, поэтому оно вытесняет медь из растворов ее солей:



Выделяющаяся медь оседает на железной пластинке, но при этом часть железа с пластинки уходит в раствор. Значит, выделяющаяся медь увеличивает массу пластинки, уходящее железо – уменьшает:

m (пластинки после реакции) = m (пластинки до реакции) – $m(\text{Fe}) + m(\text{Cu})$

1. Вычислим количества вещества железа и сульфата меди (II):

$$\nu(\text{CuSO}_4) = 1,6/160 = 0,01 \text{ моль. } \nu(\text{Fe}) = 5,2/56 = 0,093.$$

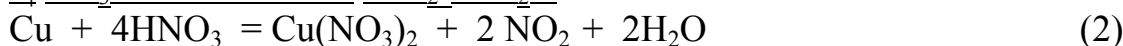
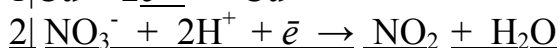
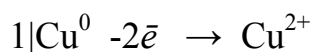
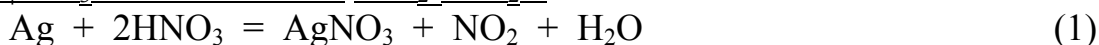
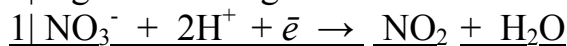
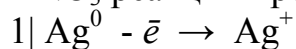
Сульфат меди находится в недостатке. Значит, в реакцию вступило 0,01 моль Fe, и образовалось 0,01 моль Cu. Масса пластинки после реакции равна:

$$m = 5,2 + m(\text{Cu}) - m(\text{Fe}) = 5,2 + 0,01 \cdot 64 - 0,01 \cdot 56 = 5,28 \text{ г.}$$

Ответ. 5,28 г.

Задача 107. Образец сплава серебра с медью массой 2,36 г обработан 14,2 мл 90%-ной азотной кислоты ($\rho = 1,48$ г/мл). После разбавления водой на нейтрализацию избытка кислоты израсходовано 40 мл раствора гидроксида бария с концентрацией 2,5 моль/л. Вычислите массовые доли металлов в сплаве и объём газа (н.у.), выделившегося в результате реакции.

Решение. 1. Методом электронно-ионного баланса запишем уравнения окислительно-восстановительных реакций взаимодействия металлических серебра и меди с концентрированной азотной кислотой. При указанной концентрации HNO_3 реакции проходят с выделением NO_2 :



В задаче два неизвестных: масса серебра и масса меди. Поэтому, с математической точки зрения для решения задачи необходимо составить два уравнения и решить систему уравнений. Важно, чтобы в каждом из уравнений использовались одни и те же переменные. В задачах такого типа целесообразно в качестве переменных использовать количества веществ в молях.

2. Обозначим через x число молей серебра в смеси ($M = 108$ г/моль), а через y число молей меди ($M = 64$ г/моль). Масса смеси выражается в виде уравнения:

$$108x + 64y = 2,36 \text{ (г)} \quad (\text{это первое уравнение для системы})$$

3. Второе уравнение системы составим по числу молей кислоты, использованной для растворения смеси металлов. И условия задачи ясно, что кислота была взята в избытке.

Находим общее количество кислоты по формуле ($M(\text{HNO}_3) = 63$ г/моль):

$$\nu = \frac{V(p-p, \text{мл}) \cdot \omega\% \cdot \rho(\text{г/мл})}{100 \cdot M_r} = \frac{14,2 \cdot 90 \cdot 1,48}{100 \cdot 63} = 0,3 \text{ моль } (\text{HNO}_3).$$

4. Избыток кислоты был нейтрализован гидроксидом бария. Вычислим количество гидроксида бария: $\nu = C(\text{моль/л}) \cdot V(p-p, \text{л}) = 2,5 \cdot 0,04 = 0,1$ моль

5. Вычислим количество азотной кислоты, находившейся в избытке. Запишем реакцию нейтрализации:



По реакции (3) на один моль гидроксида бария приходится 2 моля азотной кислоты. Значит, количество азотной кислоты находившейся в избытке, равно $0,1 \cdot 2 = 0,2$ моль, а на растворение смеси металлов израсходовалось $0,3 - 0,2 = 0,1$ моль (HNO_3).

6. Составим второе уравнение для системы, используя уравнения (1) и (2). По уравнению (1) на один моль (Ag) приходится 2 моля (HNO_3), т.е. $2x$ молей. На один моль (Cu) – 4 моля (HNO_3), т.е. $4y$ молей. Второе уравнение для системы: $2x + 4y = 0,1$

7. Решаем систему уравнений:

$$\begin{cases} 108x + 64y = 2,36 \\ 2x + 4y = 0,1 \end{cases}$$

Откуда $x = 0,01$ моль, $y = 0,02$ моль

8. Находим массы серебра и меди в сплаве и их массовые доли:

$$m(\text{Ag}) = 108 \cdot 0,01 = 1,08 \text{ (г)}, \quad m(\text{Cu}) = 0,02 \cdot 64 = 1,28 \text{ (г)}$$

$$\omega(\text{Ag}) = \frac{1,08 \cdot 100\%}{2,36} = 45,8\%, \quad \omega(\text{Cu}) = \frac{1,28 \cdot 100\%}{2,36} = 54,2\%$$

9. Находим объём выделившегося газа (NO_2) (н.у.). По уравнению (1) выделяется x молей (NO_2), по уравнению (2) – $2y$ молей, всего молей: $0,01 + 2 \cdot 0,02 = 0,05$ молей. Для нахождения объёма газа умножаем число молей на молярный объём газа: $0,05 \cdot 22,4 = 1,12$ л.

Ответ. 45,38% Ag, 54,2% Cu, 1,12 л NO_2

3. ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Задачи и упражнения

3.1. Алканы и циклоалканы

3.1.1. Какие углеводороды образуются по реакции Вюрца из бромметана и бромэтана?

3.1.2. Какой углеводород образуется при сплавлении натриевой соли бутановой (масляной) кислоты ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$) со щелочью?

3.1.3. Какой углеводород образуется при действии: а) на 1,3-дихлорбутан цинковой пылью, б) на 2,5-дибромгексан натрием?

3.1.4. Какие соединения необходимо взять, чтобы по реакции Вюрца получить: 1) 3,4-диметилгексан; 2) изобутан?

3.1.5. В автоклаве (сосуд, работающий под давлением) на катализаторе нагрели 224 л водорода и порошкообразного углерода. Образовавшийся при этом газ (какой и в каком объеме?) полностью сожгли. Продукты горения пропустили через 2 л 10-% раствора гидроксида натрия (определите количество – избыток или недостаток?) ($d = 1,219$). Какая соль, и в каком количестве образовалась в растворе?

3.1.6. Какой углеводород получится при электролизе натриевой соли пропановой кислоты ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COONa}$)?

3.1.7. Что образуется при гидрировании (t , катализатор) 1,3-диметилбензола?

3.1.8. 112 л природного газа, содержащего (по объему) 96% метана, 1 % этана, 1% пропана, 2% сероводорода, сожгли. С целью нейтрализации продуктов сгорания (при н.у.) и чтобы не нарушать экологическую обстановку их решили пропустить через водный раствор гидроксида натрия (концентрация 0,5 М). Какой объем раствора необходим для этих целей?

3.1.9. Установите формулу, напишите все структурные изомеры алкана, относительная плотность которого по водороду 43.

3.1.10. Напишите *цис*- и *транс*-изомеры 1,2-диметилциклопропана. Чем обусловлена эта изомерия?

3.1.11. При действии на 2-метилбутан бромом (на свету) образовались 4 соответствующих бромпроизводных состава $\text{C}_4\text{H}_9\text{Br}$. Назовите эти соединения и напишите их структурные формулы. Подумайте, какой из изомеров образуется быстрее (и почему?)

3.1.12. Какой изомер состава C_5H_{12} образует только одно моногалогенопроизводное?

3.1.13. В качестве эталона моторного топлива (бензина) выбран *изооктан* — 2,2,4-триметилпентан (если бы двигатель автомашины работал только на изооктане, его «октановое число» было бы 100).

Какое моногалогенопроизводное образуется *в первую очередь* при действии на изооктан бромом на свету или при нагревании?

3.1.14. Напишите схемы взаимодействия, назовите полученные соединения: 1) циклогексана с бромом (на свету); 2) циклопентана с серной кислотой (при нагревании); 3) циклопропана с HCl ; 4) циклопропана с хлором.

- 3.1.15.** Синтезируйте по реакции Вюрца: а) бутан, б) 2-метилпропан, в) 2,3-диметилбутан, г) гексан, д) 2,2,5-триметилгексан.
- 3.1.16.** Напишите уравнения реакций полного сгорания: а) 2,2,3-триметилпентана, б) 2-метилпентана.
- 3.1.17.** Напишите уравнения реакций нитрования (азотная кислота, t, p): а) 2-метилбутана, б) изобутана.
- 3.1.18.** Углеводород имеет элементный состав: 82,7% углерода и 17,24% водорода (по массе) При радикальном хлорировании углеводород образует два изомерных монохлорида - первичный и третичный. Определите строение исходного углеводорода.
- 3.1.19.** Газ, образующийся при полном сгорании 0,1 моль предельного углеводорода, пропустили через избыток известковой воды, при этом выпало 60 г осадка. Определите молекулярную формулу и строение предельного углеводорода, если известно, что он содержит один четвертичный атом углерода.
- 3.1.20.** Сравните взаимодействие циклопропана и циклопропена с: а) Br_2 ; б) HBr .
- 3.1.21.** При хлорировании метана получено 1,54 г соединения, плотность паров по воздуху которого равна 5,31. Рассчитать, какое количество оксида марганца (IV) потребовалось для получения хлора, если соотношение объемов метана и хлора, введенных в реакцию, равно 1:12.
- 3.1.22.** Газ, выделившийся при прокаливании смеси 20,5 г безводного уксуснокислого натрия с избытком натронной извести, прореагировал при освещении с хлором, который получили, используя для этого 130,5 г MnO_2 . По окончании исчерпывающего хлорирования газообразные вещества из реакции растворили в воде. Рассчитать, сколько литров 0,5 М раствора гидроксида натрия потребуется для нейтрализации полученного водного раствора (считать, что все реакции протекают полностью).
- 3.1.23.** При сгорании пропана в избытке кислорода образовалось 1,12 л CO_2 . Сколько и какой соли получится в растворе, если пропустить этот газ в 50 мл 12 %-ного раствора гидроксида калия (плотность 1,1)? Какой объем пропана сожгли?
- 3.1.24.** При бромировании неизвестного предельного углеводорода получили 9,5 г монобромида «А» (выход 50%), который обработкой разбавленным раствором NaOH превратили в кислородсодержащий продукт «Б». Пары вещества «Б» в смеси с воздухом пропустили над раскаленной медной сеткой. При этом образовалось газообразное вещество «В», при взаимодействии которого с избытком аммиачного раствора оксида серебра выделилось 43,2 г осадка. Установите углеводород «А» и его количество.
- 3.1.25.** При дегидрировании смеси циклогексена и циклогексана до бензола (катализатор Pt) выделился водород в количестве, необходимом и достаточном для полного восстановления 36,9 г нитробензола в анилин. Найти процентный состав исходной смеси углеводородов, если известно, что такое же количество этой смеси может обесцветить 480 г 10 %-ного раствора брома в четыреххлористом углероде.

3.2. Алкены

- 3.2.1.** Напишите и назовите все изомерные алкены состава C_5H_{10} .
- 3.2.2.** Напишите и назовите радикалы, которые можно произвести от этена (этилена) и пропена (пропилена).
- 3.2.3.** Какие соединения образуются при действии на 2-метилбутен-2: 1) HBr ; 2) $HOCl$?
- 3.2.4.** Какое соединение образуется, если при действии на пропен HBr в реакционную смесь добавили несколько капель H_2O_2 ?
- 3.2.5.** Какой алкен получится из 2-бромбутана при действии спиртового раствора KOH ?
- 3.2.6.** Какое соединение образуется при действии на 2-метилбутанол-2 серной кислотой (конц.) при $140^\circ C$?
- 3.2.7.** Как от бутена-1 перейти к бутену-2?
- 3.2.8.** Какие соединения образуются при окислении бутена-2: 1) 1% водным раствором $KMnO_4$ (слабый окислитель), 2) кислородом воздуха на серебряном катализаторе, 3) конц. раствором $KMnO_4$ (сильный окислитель)?
- 3.2.9.** Напишите схему полимеризации: 1) пропилена, 2) изобутилена. Назовите полученные полимеры.
- 3.2.10.** Какие углеводороды могут образоваться при крекинге бутана?
- 3.2.11.** Из какого галогенопроизводного при нагревании со спиртовым раствором KOH можно получить: а) изобутилен, б) пентен-2?
- 3.2.12.** Какой алкан образуется при каталитическом гидрировании: а) 2,2,4-триметилпентана-3, б) 2,5-диметилгептана-4?
- 3.2.13.** Что образуется при взаимодействии пропена с HBr ?
- 3.2.14.** Какие соединения образуются при действии щелочного раствора перманганата калия (комнатная температура) на: а) изобутилен, б) 2,3-диметилбутен-2?
- 3.2.15.** При нагревании 200 г 2-бромбутана со спиртовым раствором KOH получили 16,5 л алкена (н.у.). Какой алкен и с каким выходом (в процентах от теоретического) образовался?
- 3.2.16.** При действии брома на 10 г смеси пентена и пентана присоединилось 8 г галогена. Каков состав смеси в процентах?
- 3.2.17.** Этиленовый углеводород массой 7,0 г присоединяет 2,24 л (и.у.) бромоводорода. Определите молярную массу и строение этого углеводорода, если известно, что он является *цис*-изомером.
- 3.2.18.** При взаимодействии 11,2 л (н.у.) смеси изомерных углеводородов с бромной водой, представляющих собой газы с плотностью по водороду 21, получено 40,4 г соответствующего дибромопроизводного. Определите строение этих углеводородов и содержание каждого из них в смеси (в % по объему).
- 3.2.19.** При действии на непредельный углеводород избытка раствора хлора в четыреххлористом углероде образовалось 22,95 г дихлорида. При действии на такое же количество углеводорода избытка бромной воды образовалось 36,3 г дибромида. Определите молекулярную формулу углеводорода и напишите структурные формулы любых 3-х его структурных изомеров, отвечающих условию задачи.

3.2.20. При пропускании алкена через избыток раствора перманганата калия масса выпавшего осадка оказалась в 2,07 раза больше массы алкена. Установите формулу алкена.

3.2.21. Один моль смеси пропена с водородом, имеющей плотность по водороду 15, нагрели в замкнутом сосуде с платиновым катализатором при 320°C, при этом давление в сосуде уменьшилось на 25%. Рассчитайте выход реакции в % от теоретического. На сколько процентов уменьшится давление в сосуде, если для проведения эксперимента в тех же условиях использовать 1 моль смеси тех же газов, имеющей плотность по водороду 16?

3.2.22. При гидратации 20 л смеси бутана и одного из изомерных бутенов получили 37 г спирта $C_4H_{10}O$ с выходом 74 % от теоретического. Каков состав исходной смеси и каково строение полученного спирта, если известно, что бутен, содержащийся в смеси, существует в виде геометрических изомеров?

3.2.23. При высокотемпературном дегидрировании 25 л смеси этана и этилена выделилось 10 л водорода. Каков состав исходной и полученной смеси газов, если принять, что в этих условиях этан дегидрируется до этена?

3.2.24. Установите структурную формулу углеводорода C_nH_{2n} , если известно, что он имеет геометрические изомеры (*цис*-, *транс*-), а 7 г его обесцвечивают 80 г 20 %-ного раствора брома в CCl_4 .

3.2.25. Сколько необходимо этилена (объем, н.у.) для получения 1 т полиэтилена?

3.2.26. Полипропилен производят с молекулярной массой 80000 и 150000. Какова степень полимеризации полимеров?

3.3. Алкины

3.3.1. Эквимолекулярная смесь ацетилен (этин) и формальдегида (метаналь) полностью реагирует с 81,6 г оксида серебра (водный аммиак). Определите процентный состав исходной смеси.

3.3.2. Какое соединение образуется, если на ацетилен последовательно действовать: вначале «аммиачным раствором оксида серебра» (аммиакат серебра), затем избытком йодметана?

3.3.3. Высокая реакционная способность тройной связи широко используется для получения важных народно-хозяйственных изделий. Например, присоединение HCl к ацетилену приводит к мономеру, на основе которого получают кожзаменители, линолеум, пленочные покрытия, электроизоляционные материалы. О каком мономере и полимере идет речь?

3.3.4. Получение карбонильных производных (альдегидов и кетонов) можно проводить по *реакции Кучерова*. Недостатком промышленного способа получения уксусного альдегида по этому методу является использование ртутьсодержащего катализатора (почему?).

Какие соединения образуются при гидратации в условиях *реакции Кучерова*: этина; 2) пропина; 3) бутина-1; 4) бутина-2?

3.3.5. Промышленные методы получения ацетилен, широко используемого в народном хозяйстве: 1) *пиролиз* метана (температура выше 1000°C), 2) обработка карбида кальция водой (это можно увидеть при сварке и резке металлов). В

лабораторных условиях алкины получают при обработке дигалогенопроизводных углеводородов спиртовым раствором гидроксида калия (при нагревании).

Напишите схемы реакций: 1) пиролиза метана; 2) гидратации карбида кальция; 3) дегидрогалогенирования: а) 1,1-дихлорпропана; б) 2,2-дихлорпропана. Назовите все образующиеся соединения.

3.3.6. Одной из важных реакций является *димеризация* и *тримеризация* ацетилена и его производных. В отличие от алкенов алкины полимеризуются с трудом.

Приведите последовательные схемы: 1) димеризации ацетилена, гидрохлорирования димера, полимеризации полученного соединения; тримеризации ацетилена (условия – *t*-температура, *p*-давление, $C_{акт.}$ -катализатор – активированный уголь) с последующей обработкой полученного соединения бромом в присутствии $FeBr_3$ (катализатор).

3.3.7. Какой углеводород образуется при тримеризации пропина (метилацетилена) (условия – *t*, *p*, $C_{акт.}$)?

3.3.8. Назовите следующие углеводороды:

а) $CH_3-CH(CH_3)-C\equiv CH$, б) $CH_3-CH(CH_3)-C\equiv C-CH_3$

3.3.9. Предложите способ получения: а) бутина-2, б) пентина-1.

3.3.10. Какие дигалогенопроизводные надо взять для получения: а) пропина, б) бутина-2?

3.3.11. Какой углеводород образуется, если на 2,2-диметилгексен-3 подействовать бромом и полученное соединение обработать спиртовым раствором КОН?

3.3.12. Какой реакцией можно отличить бутин-1 от бутина-2?

3.3.13. Предложите способ получения из ацетилена бутадиена-1,3.

3.3.14. Сколько воды (мл) потребуется для разложения 32 г карбида кальция и сколько при этом образуется ацетилена?

3.3.15. При пропускании смеси пропана и ацетилена через склянку с бромной водой масса склянки увеличилась на 1,3 г. При полном сгорании такого же количества исходной смеси углеводородов выделилось 14 л (н.у.) оксида углерода (IV). Определите массовую долю пропана в исходной смеси.

3.3.16. Ацетиленовый углеводород, содержащий пять углеродных атомов в главной цепи, может максимально присоединить 80 г брома с образованием продукта реакции массой 104 г. Определите строение ацетиленового углеводорода, если известно, что он не вступает в реакцию с аммиачным раствором оксида серебра.

3.3.17. Эквимольная смесь ацетилена и формальдегида полностью прореагировала с 69,6 г оксида серебра (аммиачный раствор). Определите состав смеси (в % по массе).

3.3.18. Дихлоралкан, в котором атомы хлора находятся у соседних атомов углерода, обработали избытком спиртового раствора щелочи. Масса выделившегося газа оказалась в 2,825 раза меньше массы исходного дихлоралкана. Установите строение исходного соединения и продукта реакции.

3.4. Алкадиены

3.4.1. Напишите и назовите все изомерные алкадиены с 4-мя и 5-ью атомами углерода. Какие из них имеют *сопряженные* связи?

3.4.2. Сколько 2-метилбутадиена-1,3 образуется при дегидрировании 224 л 2-метилбутана, если выход целевого соединения составил 50% от теоретического?

3.4.3. Какой объем бутадиена-1,3 получится по реакции Лебедева из 479,17 г 96%-го этанола, если практический выход целевого диена составил 60%?

3.4.4. Напишите и назовите соединения, образующиеся при взаимодействии HCl с: 1) пропадиеном; 2) бутадиеном-1,3.

3.4.5. Важнейшая реакция сопряженных диенов — *полимеризация*. Полимеры сопряженных диенов используются в качестве *синтетических каучуков* (СК), из которых готовят резину (например, автопокрышки и камеры для автомашин). Качество каучука определяется тем, какой полимер образовался — *стереорегулярный* (упорядоченный в пространстве) или *нестереорегулярный*. Стереорегулярные полимеры (это относится и к полиэтилену) имеют лучшие эксплуатационные качества.

Натуральный природный каучук (НК) — *цис-полиизопрен*. Разработаны технологии, позволяющие получать СК такого же строения (например, при использовании специальных катализаторов лауреатов Нобелевской премии Циглера и Натта; один из составов катализатора — $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_3 + \text{TiCl}_4 + \text{Li}$).

Напишите схемы полимеризации (с раскрытием связей в положениях 1-4): бутадиена-1,3 с получением *цис*-полибутадиена; 2) бутадиена-1,3 с получением *транс*-полибутадиена; 3) изопрена с образованием *цис*-полиизопрена (НК); 4) изопрена с образованием *транс*-полиизопрена (гуттаперча).

Процесс приготовления из каучука резины — *вулканизацию* — осуществляют, нагревая каучук с серой; кроме того, добавляют стабилизаторы резины (для защиты от солнечного света, окисления под действием кислорода воздуха). Атомы серы «сшивают» горизонтально расположенные молекулы полимера (например, полибутадиена, полиизопрена, полихлоропрена).

Проиллюстрируйте, как вам представляется процесс получения резины.

3.4.6. Приведите структурные формулы и названия по систематической и заместительной (как производные ацетилена) номенклатуре всех соединений состава C_5H_8 .

3.4.7. Как назвать соединения: 1) $\text{HC}\equiv\text{C}-\text{CH}=\text{CH}_2$; 2) $\text{HC}\equiv\text{C}-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_3$? Сколько σ - и π -связей в этих соединениях?

3.4.8. Получите бутадиен-1,3 по реакции Лебедева.

3.4.9. Напишите схему взаимодействия бутадиена-1,3 с: а) бромом, б) бромоводородом.

3.5. Арены

3.5.1. Напишите и назовите все изомеры состава C_9H_{12} .

3.5.2. Гомологи бензола можно получать (Фиттиг) аналогично реакции Вюрца. Какие арены образуются при взаимодействии бромбензола и натрия с: 1) бромэтаном, 2) 1-бромбутаном?

3.5.3. При окислении гомологов бензола, независимо от величины углеводородного радикала, реакция протекает по атому углерода, соединенному с бензольным кольцом. Конечным продуктом регулируемого окисления углеводородов (*сравните с горением*) являются кислоты.

Какие соединения образуются при окислении (KMnO_4 , t): 1) этилбензола, 2) *орто*-диметилбензола (*орто*-ксилола)?

3.5.4. Парафиновые углеводороды из высокопарафинистых нефтей могут быть переработаны (при нагревании до высоких температур в присутствии катализаторов) в ароматические углеводороды. Процесс сопровождается дегидрированием и циклизацией (*дегидроциклизация*). Практический выход ароматических углеводородов в расчете на исходные алканы составляет примерно 35-40%. Какие арены могут образоваться из октана при каталитическом крекинге (t , катализатор)?

3.5.5. Алкильный заместитель в бензоле таким образом влияет на ароматическое ядро, что в положениях *орто*- («около» – соседнее с заместителем, находящимся в ядре) и *пара*- («против» – положение 4 по отношению к заместителю в ядре) электронная плотность несколько увеличена. Поэтому, если в качестве реагента (атакующей частицы) выступает *электрофил* (*катион* или *частица с вакантной орбиталью*), он замещает атом водорода в этих положениях. Какие соединения образуются при действии на *толуол* (метилбензол) серной кислоты?

3.5.6. Хотя для ароматических углеводородов более характерны реакции электрофильного замещения, в определенных условиях могут протекать и реакции присоединения, разрушающие ароматическую систему.

Напишите, что образуется при: 1) гидрировании толуола (t , p , Ni); 2) хлорировании бензола на свету.

3.5.7. Галогенирование гомологов бензола в условиях радикальной реакции (свет, температура) протекает в боковую цепь (по атому, ближайшему к ароматическому ядру).

Какие соединения получатся при: 1) бромировании толуола (свет, температура); 2) хлорировании этилбензола (свет, температура)?

3.5.8. Одним из важных способов синтеза гомологов является взаимодействие бензола с галогенопроизводными углеводородов в присутствии AlCl_3 (*реакция Фриделя-Крафтса*).

Какие соединения образуются при действии на бензол в присутствии AlCl_3 : 2-хлорпропана; 2) 1-хлорпропана?

3.5.9. Если в ароматическом ядре находится заместитель *электроноакцепторного* характера (положительно заряженный, с кратной – двойной или тройной связью), он оттягивает из ядра электронную плотность на себя, затрудняет введение в ядро второго (*электрофильного*) заместителя и направляет атакующую частицу в *мета*-положение (положение **3** относительно уже имеющегося заместителя в ядре).

Что образуется при нитровании нитробензола, и какие условия необходимо создать для проведения реакции, если нитрование бензола проводят при 60°C ?

3.5.10. Промышленный способ получения алкилбензолов – *алкилирование* (введение алкила) алкенами (непредельными углеводородами) в присутствии катализаторов кислотного характера (например, H_3PO_4).

Какие алкилбензолы образуются при алкилировании бензола:

1) пропиленом; 2) изобутиленом?

3.5.11. Какое количество карбида кальция необходимо взять для получения 224 л ацетилен, если в карбиде 20% примесей?

3.5.12. По результатам элементного анализа углеводород содержит 85,7% углерода и 14,3% водорода. Плотность его по водороду 35. Он не вступает в реакции присоединения. Составьте структурную формулу. К какому гомологическому ряду он относится?

3.5.13. Стирол (винилбензол) можно получать при взаимодействии бензола с ацетиленом. Однако выход целевого соединения низкий. Получают стирол и другим способом: синтезируют этилбензол (из бензола и этилена), а затем его дегидрируют (на соответствующем катализаторе). Сколько σ - и π -связей в стироле?

Составьте уравнения реакций и рассчитайте, сколько можно получить стирола из 1 т бензола, если в первом случае выход 40%, а во втором — 70%.

3.5.14. Какова структурная формула арена C_9H_{12} , если при окислении его выделили 1,3,5-бензол-трикарбоновую кислоту.

3.5.15. При окислении смеси бензола и толуола подкисленным раствором перманганата калия при нагревании получено 8,54 г одноосновной органической кислоты. При взаимодействии этой кислоты с избытком водного раствора гидрокарбоната бария выделился газ, объём которого в 19 раз меньше объёма такого же газа, полученного при полном сгорании исходной смеси углеводородов. Определите массы веществ в исходной смеси.

3.5.16. При пропускании 33,6 л ацетилен над углем при 650°C образовался углеводород А, который реагирует с бромом (в присутствии FeBr_3). Для полного каталитического гидрирования соединения А (без разрыва С-С связи), протекающего с количественным выходом, требуется 8,4 л водорода (н.у.). Определите строение и выход (в % от теоретического) соединения А.

3.6. Галогенопроизводные углеводородов

3.6.1. Напишите структурные формулы соединений, образующихся при действии брома на: а) 2-метилбутан (на свету); б) пропен; в) бутин-1; г) бензол (катализ FeBr_3); д) толуол (свет, температура)? Назовите их.

3.6.2. Напишите структурные формулы и назовите соединения: а) бромэтан + гидроксид калия (НОН); б) 2-метил-2-хлоробутан + КОН (спирт); в) 2-йодопропан + амид натрия; г) бензил хлорид + ацетат натрия.

3.6.3. Напишите структурные формулы и назовите все монохлоропроизводные бутана, укажите первичные, вторичные и третичные.

3.6.4. Какое галогенопроизводное преимущественно образуется при бромировании на свету 2-метилпентана?

- 3.6.5.** Какие соединения и в каком количестве образуются при действии 8 г брома на 9,2 г толуола: а) при нагревании до кипения в отсутствие катализатора, б) в присутствии железа (при условии, что прореагирует весь бром)?
- 3.6.6.** Расположите в ряд по уменьшению реакционной способности хлорометан, йодометан, бромометан. Чем объяснить различия?
- 3.6.7.** Какие соединения образуются при взаимодействии бромэтана с: а) водным раствором щелочи, б) алкоголятом натрия, в) амидом натрия, г) нитритом серебра?

3.7. Спирты и фенолы

- 3.7.1.** Приведите структурные формулы и назовите спирты $C_1 - C_4$
- 3.7.2.** Приведите структурную формулу нитроглицерина. К какому классу соединений он относится и как его назвать?
- 3.7.3.** Какое количество «синтез-газа» необходимо для получения 320 г метанола?
- 3.7.4.** Приведите схему и назовите соединение, образующееся при окислении бензилового спирта?
- 3.7.5.** Какое соединение образуется при дегидратации 2-метилбутанола-2 (конц. H_2SO_4 , $t > 140^\circ C$)?
- 3.7.6.** Напишите структурные формулы, укажите *первичный, вторичный, третичный* спирты: а) пропенол, б) пропинол, в) древесный, г) винный, д) этиленгликоль, е) пропантриол-1,2,3, ж) 2-метилпропанол-2, з) бензиловый, и) 1-фенилэтанол, к) изопропиловый.
- 3.7.7.** Получите следующие спирты двумя способами – из галогенопроизводного и алкена: а) этанол, б) 2-метилпропанол-2, в) пропанол-2, г) циклогексанол.
- 3.7.8.** При действии избытка металлического натрия на 9 г вторичного предельного спирта уловили 1,68 л водорода (н.у.). Установите молекулярную массу и формулу спирта.
- 3.7.9.** Что образуется при действии на этанол концентрированной серной кислоты: а) при $130^\circ C$, б) при температуре выше $140^\circ C$?
- 3.7.10.** Газ, образовавшийся при нагревании 28,75 мл предельного одноатомного спирта ($\rho = 0,8$ г/мл) с концентрированной серной кислотой, присоединяет 8,96 л водорода (н.у.). Определите строение исходного спирта, если выход углеводорода составляет 80% от теоретического.
- 3.7.11.** Как из фенола получить циклогексанол, используемый в производстве капрона и нейлона?
- 3.7.12.** Напишите схему нитрования фенола избытком азотной кислоты. Какими свойствами будет обладать конечный продукт?
- 3.7.13.** Последовательно подействуйте на фенол: NaOH и CH_3I . К какому классу относится полученное соединение, как его назвать?
- 3.7.14.** При действии избытка натрия на смесь этилового спирта и фенола выделилось 6,72 л водорода (н.у.). Для полной нейтрализации этой же смеси потребовалось 25 мл 40%-ного раствора гидроксида калия (плотность 1,4 г/мл). Определите массовые доли веществ в исходной смеси.

3.7.15. Что образуется при последовательном действии на фенол гидроксида натрия, затем йодметана? Назовите образующиеся соединения.

3.7.16. Приведите структурные формулы соединений и сравните их кислотные свойства: а) *пара*-метилфенол; б) *орто*-нитрофенол; в) фенол.

3.7.17. Из этанола в результате двух последовательных реакций получили соединение, которое имеет нейтральную реакцию на лакмус и растворяет свежеосажденный гидроксид меди (II). При взаимодействии с избытком натрия выделяется 35,84 л водорода. Какое соединение получено? Сколько грамм этанола вступило в реакцию, если выход на каждой стадии 80 %?

3.8. Карбонильные производные

3.8.1. Какая реакция позволяет отличить альдегид от кетона?

3.8.2. Что образуется при восстановлении: а) метаналь; б) пропаналь; в) метилфенилкетона; г) пентанона-2?

3.8.3. Приведите схему взаимодействия пропаналь (акролеина) с HCl. Объясните образование продуктов реакции.

3.8.4. Какие соединения образуются при хлорировании бензальдегида: а) на свету; б) в присутствии катализатора хлорида железа (III)?

3.8.5. Какое соединение образуется при монобромировании пропаналь?

3.8.6. Приведите структурные формулы: а) этаналь (уксусный альдегид), б) формальдегида (метаналь), в) бензальдегида (бензойный альдегид), г) акролеина (пропаналь), д) пропанона (ацетон), е) пентанона-2 (метил-пропил кетон), ж) ацетофенона (метил-фенил кетон).

3.8.7. Приведите схемы получения пропаналь и бутанона окислением соответствующих спиртов.

3.8.8. Как перейти от пропаналь к пропину?

3.8.9. Что образуется при восстановлении: а) бутаналь, б) бутанона. Назовите соединения.

3.8.10. Как протекает окисление уксусного альдегида (реакция «серебряного зеркала»)?

3.8.11. Для каталитического гидрирования 17,8 г смеси муравьиного и уксусного альдегидов до соответствующих спиртов потребовалось 11,2 л водорода (н.у.). Определите массовые доли альдегидов в смеси.

3.8.12. К 1,17 г смеси пропанола-1 и неизвестного альдегида добавили аммиачный раствор 5,80 г оксида серебра и слегка нагрели. Выпавший при этом осадок отфильтровали, а не прореагировавший оксид серебра перевели в хлорид серебра, масса которого оказалась равной 2,87 г. Определите строение взятого альдегида, если молярное отношение альдегида к спирту в исходной смеси равно 3:1.

3.8.13. Пары этаналь смешали с водородом в молярном отношении 1:2 при давлении 300 кПа и температуре 400°C в замкнутом реакторе, предназначенном для синтеза этанола. После окончания процесса давление газов в реакторе при неизменной температуре уменьшилось в 20%. Определите объемную долю паров этанола в реакционной смеси и процент превращения уксусного альдегида в этанол.

3.8.14. При окислении альдегида $C_nH_{2n}O$ аммиачным раствором оксида серебра выделили 10,8 г осадка и кислоты. Кислота при кипячении с этанолом (в присутствии серной кислоты) превратилась в 2,2 г соответствующего сложного эфира. Установите формулу исходного альдегида, учитывая, что последняя реакция протекает с выходом 50 %.

3.9. Карбоксильные производные

3.9.1. Приведите первые 5 представителей гомологического ряда кислот; напишите структурные формулы изомеров (там, где они есть); попытайтесь назвать.

3.9.2. Укажите формулы гексадекановой и октадекановой кислот. Как они еще называются?

3.9.3. Олеиновая кислота отличается от стеариновой наличием одной двойной связи, расположенной посередине молекулы. Попробуйте изобразить ее формулу.

3.9.4. Будет ли олеиновая кислота взаимодействовать с бромом?

3.9.5. Приведите формулы: а) метилформиата; б) этилформиата; в) метилацетата; г) этилацетата.

3.9.6. Приведите уравнения горения: а) этановой кислоты; б) масляной кислоты; в) бутандиовой кислоты. Как еще можно назвать эти кислоты? Сколько *моль* воды и углекислого газа образуется при полном сгорании 1 *моль* этих соединений?

3.9.7. Приведенные ниже соединения классифицируйте и заполните соответствующие столбцы в таблице:

CH_3CH_2OH , CH_3OCH_3 , $CH_3C(O)OCH_3$, $H(O)COCH_2CH_3$, $CH_3CH(OH)CH_3$,
 $CH_3OCH_2CH_3$, $CH_3CH_2C(O)OH$, $CH_3CH_2CH_2C(O)OH$, $HO-CH_2-CH_2-OH$,
 $HO-CH_2-CH_2-CH_2-OH$, $CH_3CH_2CH_2CH_2OH$, $CH_3CH_2OCH_2CH_3$

Соединение	Класс (общая формула)	Название	Функциональная группа	Изомеры	Гомологи
------------	-----------------------	----------	-----------------------	---------	----------

8.9.8. Напишите структурные формулы кислот: а) муравьиной (метановой), б) уксусной (этановой), в) масляной (бутановой), г) пропеновой (акриловой), д) пропаргиловой (пропиновой), е) бензолкарбоновой (бензойной), ж) щавелевой (этандиовой), з) адипиновой (гександиовой), и) янтарной (бутандиовой), к) фталевой (бензол-1,2-дикарбоновой), л) терефталевой (бензол-1,4-дикарбоновой), м) стеариновой, н) олеиновой, о) пальмитиновой.

8.9.9. Приведите схемы реакций пропионовой кислоты с указанными реагентами и назовите образующиеся соединения: а) аммиаком при комнатной температуре; б) диметиламином при нагревании; в) бензиловым спиртом в присутствии серной кислоты; г) пентахлоридом фосфора.

3.9.10. При сжигании этановой кислоты в кислороде выделилось 235,9 кДж теплоты, и осталось 10,0 л непрореагировавшего кислорода (измерено при давлении 104,1 кПа и температуре 40°C). Рассчитайте массовые доли компонентов в исходной смеси, если известно, что теплоты образования оксида углерода (IV), паров воды и этановой кислоты составляют 393,5 кДж/моль, 241,8 кДж/моль и 484,2 кДж/моль, соответственно.

- 3.9.11.** Степень диссоциации 0,1 М-ного раствора уксусной кислоты равна 1,3%. Сколько (г) водорода содержится в 1 л этого раствора в виде ионов?
- 3.9.12.** Объемная доля метана в природном газе составляет 96%. Какую массу (г) муравьиной кислоты можно получить при каталитическом окислении 420 л (н.у.) природного газа, если выход кислоты составляет 70%?
- 3.9.13.** Раствор смеси муравьиной и уксусной кислот вступил во взаимодействие с 0,77 г магния. Продукты сгорания такого же количества смеси пропустили через трубку с безводным сульфатом меди. Масса трубки увеличилась на 1,8 г. Вычислите молярное соотношение кислот в исходном растворе.
- 3.9.14.** Приведите схему синтеза из пропанола-1 изопропилового эфира пропионовой кислоты (изопропилпропионат). Сколько сложного эфира (г) получится из 60 г пропанола-1, если для синтеза веществ, участвующих в последней стадии, использовали по 30 г спирта? (Выход на всех стадиях синтеза – 80 %).

3.10. Жиры

- 3.10.1.** Какую реакцию следует провести, чтобы жидкий жир превратить в твердый?
- 3.10.2.** Напишите уравнение омыления тристеарата глицерина гидроксидами натрия и калия (водный раствор).
- 3.10.3.** Какие из приведенных кислот образуют твердые, а какие – жидкие жиры? Постарайтесь назвать предельные кислоты так, чтобы было ясно, сколько в них атомов углерода.
- 3.10.4.** Имеется 148 г смеси двух органических соединений одинакового состава $C_3H_6O_2$. Определите строение этих соединений и их массовые доли в смеси, если известно, что одно из них при взаимодействии с избытком гидрокарбоната натрия выделяет 22,4 л (н.у.) оксида углерода (IV). Другое не реагирует с карбонатом натрия и аммиачным раствором оксида серебра, но при нагревании с водным раствором гидроксида натрия образует спирт и соль кислоты.
- 3.10.5.** Относительная плотность паров сложного эфира по водороду равна 44. При гидролизе этого эфира получают два соединения, при сгорании равных количеств которых образуются одинаковые объемы углекислого газа (при одинаковых условиях). Приведите структурную формулу этого эфира.
- 3.10.6.** Напишите две возможные формулы жира, имеющего молекуле 57 атомов углерода и вступающего в реакцию с йодом в соотношении 1:2. В составе жира имеются остатки кислот с четным числом углеродных атомов.

3.11. Углеводы

- 3.11.1.** Какие соединения могут образоваться при последовательном окислении глюкозы (3 стадии)?
- 3.11.2.** Что образуется при восстановлении глюкозы?
- 3.11.3.** Какие соединения могут образоваться при окислении фруктозы?
- 3.11.4.** Что образуется при восстановлении фруктозы?
- 3.11.5.** Какая реакция позволяет отнести мальтозу к восстанавливающим дисахаридам?

3.11.6. Приведите фрагмент молекулы крахмала (*амилозы*, имеющей линейное строение).

3.11.7. Что получится при действии на глюкозу (циклическая форма) метанола (катализ HCl-газ)?

3.11.8. Что получится при действии на глюкозу (циклическая форма) избытка йодометана?

3.11.9. Приведите схему взаимодействия целлюлозы с избытком уксусного ангидрида.

3.11.10. Сколько (г) глюкозы потребуется для получения 11,2 л (н.у.) этилена путём двух последовательных процессов - спиртового брожения и дегидратации образующегося спирта? Выход этилена составляет 50%.

3.11.11. Массовая доля крахмала в картофеле составляет 20%. Какую массу (кг) глюкозы можно получить из 1620 кг картофеля, если выход продукта реакции составляет 75% от теоретического.

3.12. Нитропроизводные

3.12.1. При взаимодействии нитропроизводных с карбонил содержащими соединениями атом водорода у $C\alpha$ атома (по отношению к нитро-группе) подвижен и может присоединяться в атому кислорода альдегида и кетона.

Напишите схемы реакций нитрометана с: а) метаналем, б) этаналем, в) пропаном.

3.12.2. Какие соединения образуются при действии «нитрующей смеси» ($HNO_3 + H_2SO_4$) на: а) фенол, б) нитробезол, в) этилбензол?

3.13. Аминопроизводные

3.13.1. При пропускании смеси метиламина и бутана через склянку с соляной кислотой масса последней увеличилась на 7,75 г. Массовая доля бутана в исходной смеси составляла 25%. Определите объём исходной газовой смеси (н.у.).

3.13.2. Через 10 г смеси бензола, фенола и анилина пропустили ток сухого хлоро-водорода, при этом выпало 2,59 г осадка. Его отфильтровали, а фильтрат обработали водным раствором гидроксида натрия. Верхний органический слой отделили, его масса уменьшилась на 4,7 г. Определите массы веществ в исходной смеси.

3.13.3. К 30 л смеси, состоящей из аргона и этиламина, добавили 20 л бромоводорода, после чего плотность газовой смеси по воздуху стала равна 1,814. Вычислите объёмные доли газов в исходной смеси.

3.14. Аминокислоты

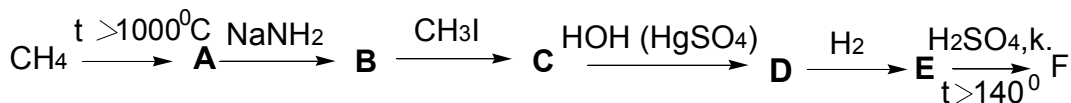
8.14.1. Вычислите массу 15%-ного раствора аминокусусной кислоты, которую можно получить из 15 г уксусной кислоты двухстадийным синтезом с выходом на каждой стадии, равным 75%.

3.14.2. При полном гидролизе 14,6 г природного дипептида раствором гидроксида натрия (массовая доля щелочи 12%, плотность раствора 1,2 г/мл) из раствора выделено 11,1 г соли, массовая доля натрия в которой равна 20,72%. Ус-

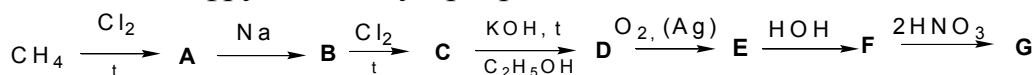
тановите возможную структурную формулу исходного дипептида и вычислите объем раствора щелочи, израсходованный на гидролиз.

3.15. Цепочки превращений

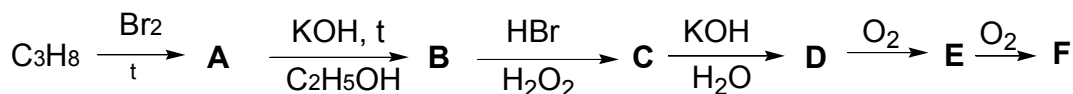
3.15.1. Расшифруйте схему превращений, назовите неизвестные соединения.



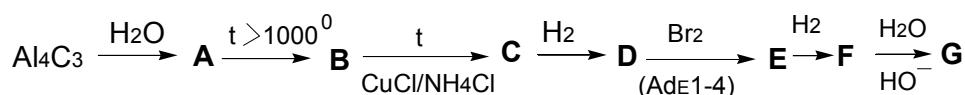
3.15.2. Расшифруйте схему превращений, назовите неизвестные соединения.



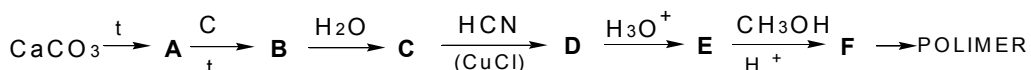
3.15.3. Расшифруйте схему превращений, назовите неизвестные соединения.



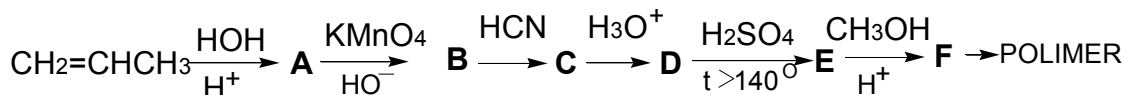
3.15.4. Расшифруйте схему превращений, назовите неизвестные соединения.



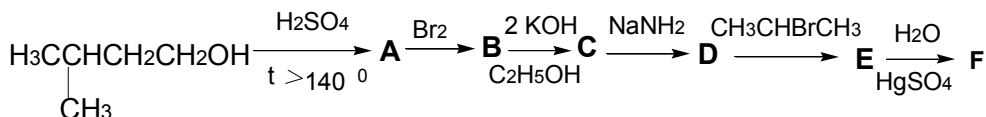
3.15.5. Расшифруйте схему превращений, назовите неизвестные соединения.



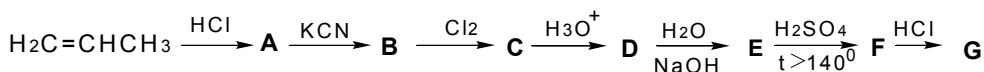
3.15.6. Расшифруйте схему превращений, назовите неизвестные соединения.



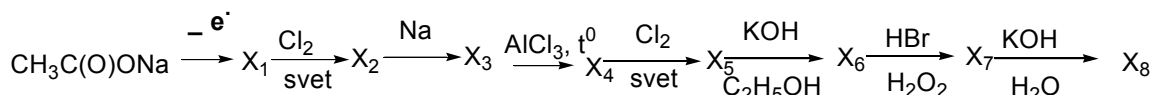
3.15.7. Расшифруйте схему превращений, назовите неизвестные соединения.



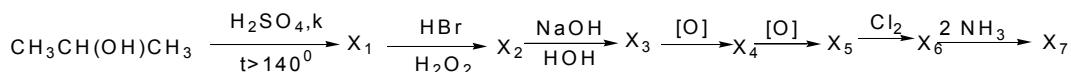
3.15.8. Расшифруйте схему превращений, назовите неизвестные соединения.



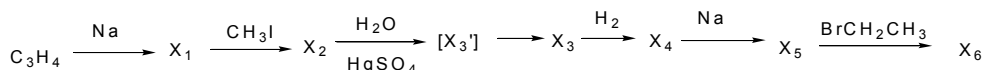
3.15.9. Расшифруйте схему превращений, назовите неизвестные соединения.



3.15.10. Расшифруйте схему превращений, назовите неизвестные соединения.



3.15.11. Расшифруйте схему превращений, назовите неизвестные соединения.



3.15.12. Дополните цепочку превращений уравнениями реакций и укажите условия их протекания:

2-метилбутен-1 → 1-бromo-2-метилбутан → 2-метилбутен-1 → 2-бromo-2-метилбутан → 2-метилбутен-2 → 2-метилбутанол-2.

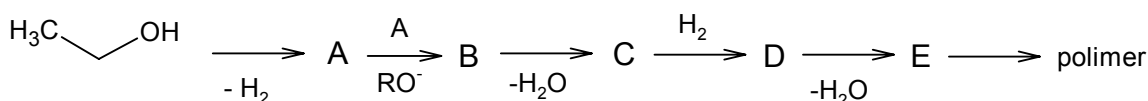
3.15.13. Дополните цепочку превращений уравнениями реакций и укажите условия их протекания:

Пентен-1 → 1-бромопентан → пентанол-1 → пентен-1 → 2-бромопентан → пентен-2 → 2,3-дибромопентан → пентин-2 → пентанон-2.

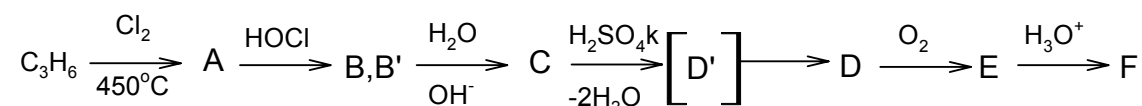
3.15.14. Дополните цепочку превращений уравнениями реакций и укажите условия их протекания:

C₃H₆ → 1-хлоропропан → пропанол-1 → пропаналь → пропановая кислота → хлористый пропионил → этиловый эфир пропионовой кислоты.

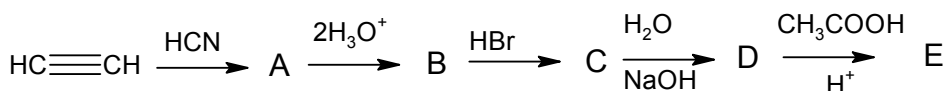
3.15.15. Расшифруйте схему превращений, назовите неизвестные соединения.



3.15.16. Расшифруйте схемы превращений, назовите получаемые соединения.

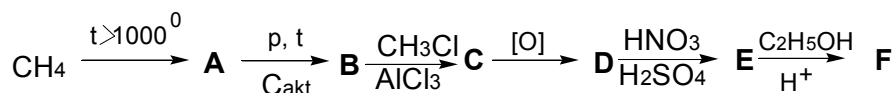


3.15.17. Осуществите указанные превращения, назовите соединения:



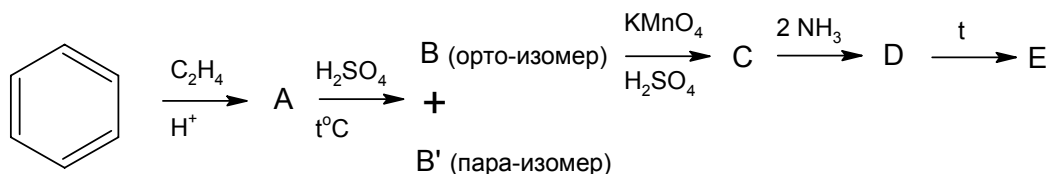
3.15.18. Предложите схему превращения бутена-1 в бутин-2, с которым последовательно проведите: гидратацию (по Кучерову), затем восстановление и дегидратацию. Назовите все соединения.

3.15.19. Осуществите схему превращений, назовите соединения, укажите механизмы реакций на стадиях синтеза «С», «Е».

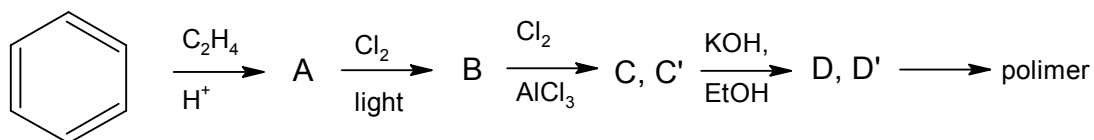


3.15.20. Предложите схему синтеза, исходя из бензола, пара-аминобензолсульфоамида («белый стрептоцид»); назовите все соединения.

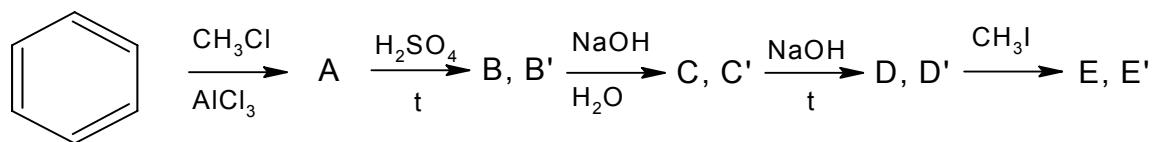
3.15.21. Заполните схему уравнениями реакций, назовите соединения:



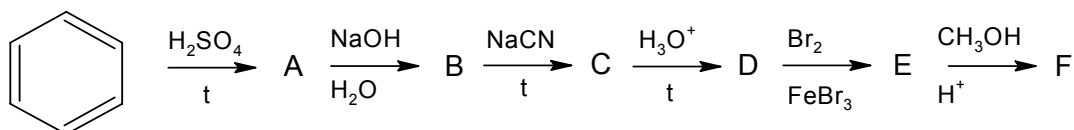
3.15.22. Расшифруйте схемы превращений, назовите соединения:



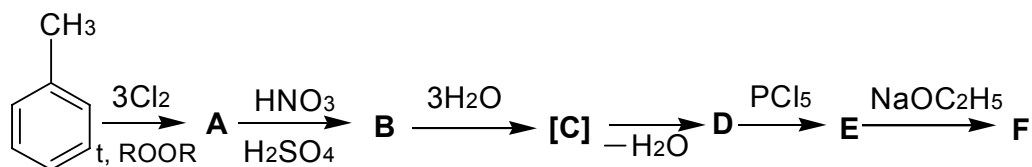
3.15.23. Расшифруйте схему, назовите соединения:



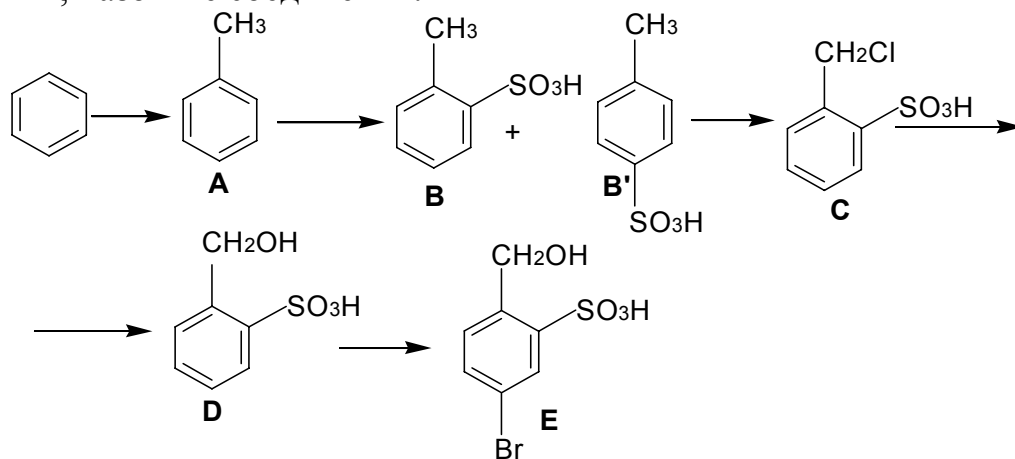
3.15.24. Расшифруйте схему, назовите соединения:



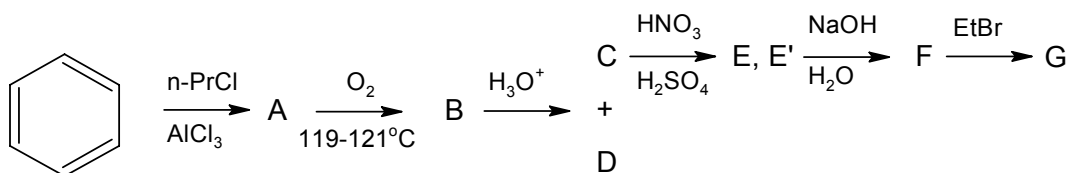
3.15.25. Расшифруйте схему, назовите соединения:



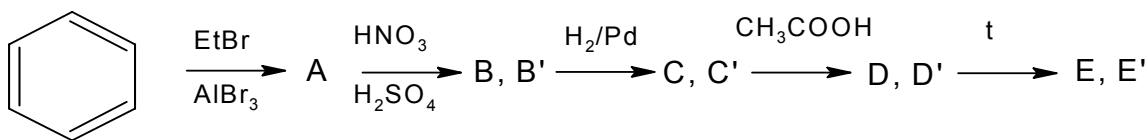
3.15.26. Расшифруйте цепочку превращений схемами реакций, укажите условия; назовите соединения:



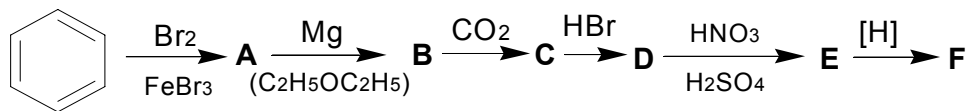
3.15.27. Расшифруйте цепочку превращений, назовите соединения:



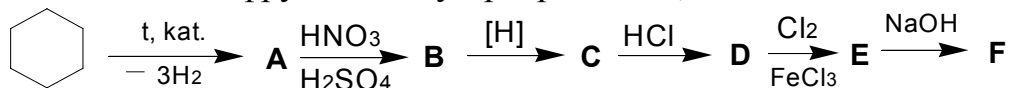
3.15.28. Расшифруйте цепочку превращений, назовите соединения:



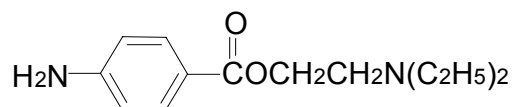
3.15.29. Расшифруйте цепочку превращений, назовите соединения:



3.15.30. Расшифруйте схему превращений, назовите соединения:

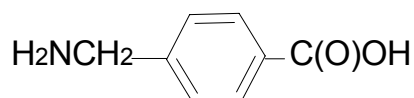


3.15.31. Исходя из метана и неорганических реагентов, предложите способ синтеза *новокаина* (β -диэтиламиноэтиловый эфир *n*-аминобензойной кислоты), используемого для местной анестезии (обезболивающее средство):

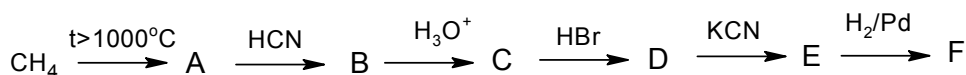


3.15.32. Пиролиз алканов позволяет получать ароматические углеводороды. При этом первоначально образуются алкены и алкадиены, которые реагируют между собой (*диеновый синтез*). Предложите схему синтеза толуола из гептана, затем проведите нитрование его избытком нитрующей смеси. Назовите образующиеся соединения.

3.15.33. Исходя из метана и неорганических реагентов, предложите способ синтеза препарата *амбен* (*памба*) (*n*-аминометилбензойная кислота), который используют в медицине для остановки кровотечений:



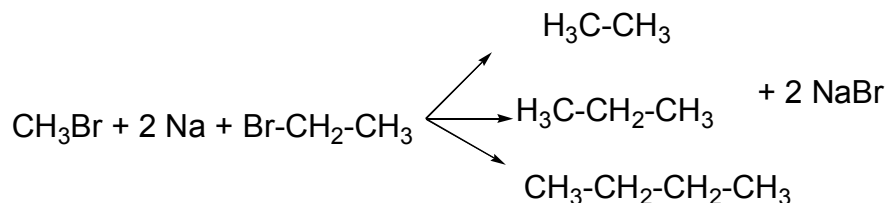
3.15.34. Расшифровав приведенные схемы превращений, можно получить «F» – белый кристаллический порошок со слабгорьким вкусом, который применяют в медицинской практике как медиатор центральной нервной системы, нормализующий нервные процессы в головном мозге, улучшающий память, повышающий продуктивность мышления; называют этот препарат *аминалон* (*гаммалон*).



Решения задач и упражнений

3.1. Алканы и циклоалканы

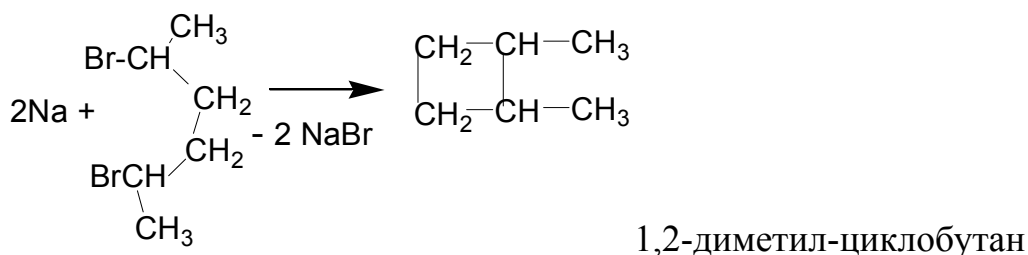
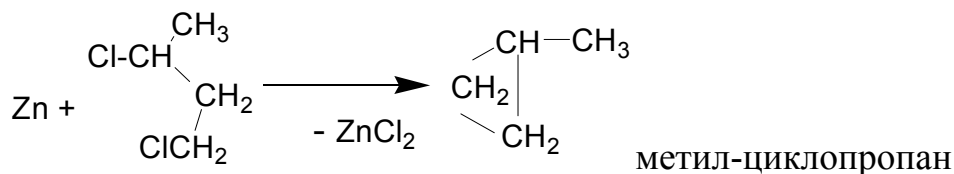
3.1.1.



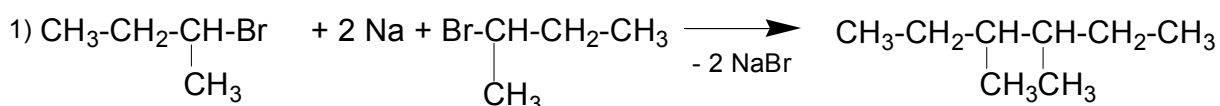
3.1.2.



3.1.3.

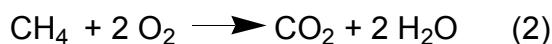
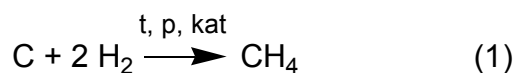
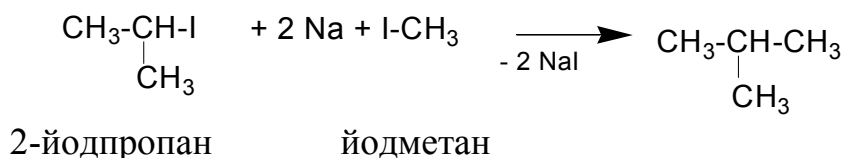


3.1.4. Запишем структурную формулу соединения и посмотрим, в каком месте следует ее разделить на два фрагмента (радикала); к каждому радикалу необходимо добавить атом галогена и обработать натрием:



2-бромбутан

2) в случае изобутана, кроме него получатся этан и 2,3-диметилбутан, поскольку молекула изобутана не может быть расчленена на два симметричных фрагмента (радикала)

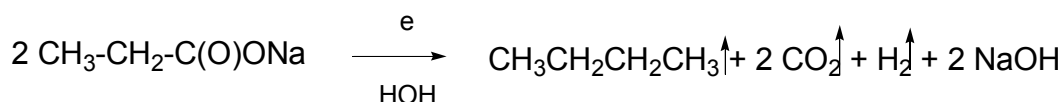


3.1.5. Запишем уравнения протекающих реакций:

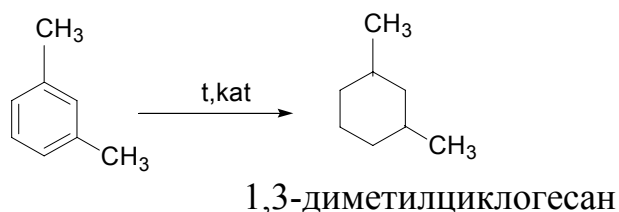
Из схемы (1) следует, что 224 л (10 моль) H_2 израсходованы на получение 5 моль CH_4 . При сжигании его образовалось такое же количество (5 моль) CO_2 (схема 2). Объем метана $22,4 \text{ л} \times 5 = 112 \text{ л}$. Поскольку в условии задачи указано, что взят избыток щелочи, то по уравнению (3) следует, что образовался карбонат натрия.

Количество $NaOH = 2000 \times 1,219 \times 10/100 = 243,8 \text{ (г)}$, или $243,8:40 = 6,1 \text{ (моль)}$, т.е. действительно щелочь в избытке. Следовательно, образовалась средняя соль в количестве $106 \times 5 = 530 \text{ (г)}$.

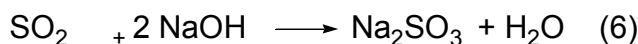
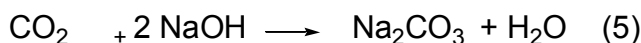
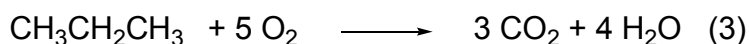
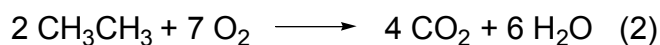
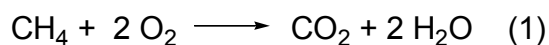
3.1.6.



3.1.7.



3.1.8. Запишем уравнения реакций горения и нейтрализации образующихся продуктов:



112 л природного газа составляют 5 моль. Отсюда в смеси содержится:

$CH_4 - 5 \cdot 0,96 = 4,8 \text{ моль}$, $C_2H_6 - 0,05 \text{ моль}$, $C_3H_8 - 0,05 \text{ моль}$, $H_2S - 0,1 \text{ моль}$. Согласно уравнениям (1) – (3) образуется CO_2 при сгорании метана – 4,8 моль, этана – 0,1 моль, пропана – 0,15 моль, т.е. всего образовалось 5,05 моль CO_2 , а по уравнению (4) – 0,1 моль SO_2 . На полную нейтрализацию продуктов окисления (уравнения 5, 6) до средних солей требуется:

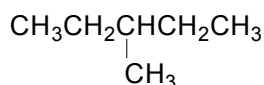
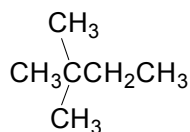
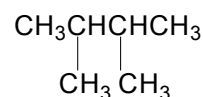
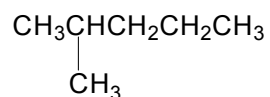
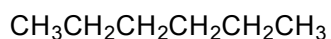
$2 \cdot 5,15 \text{ моль NaOH} = 10,3 \text{ моль}$.

Составим пропорцию: 0,5 моль $NaOH$ содержится в 1 л раствора

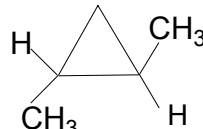
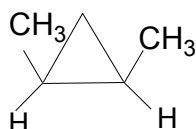
10,3 моль $NaOH$ содержится в x л раствора

$x = 20,6 \text{ л } 0,5 \text{ М раствора NaOH}$.

3.1.9. Относительная молекулярная масса (M_r) = $2 \cdot d_{H_2} = 2 \times 43 = 86$. Из общей формулы алканов C_nH_{2n+2} следует, что число атомов углерода $n = (86-2): (12+2) = 6$. Следовательно, углеводород – гексан. Его изомеры:



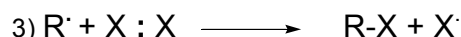
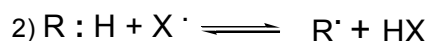
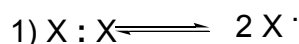
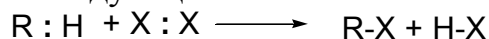
3.1.10. Геометрическая изомерия циклопарафинов обусловлена расположением заместителей относительно плоскости цикла (над и под плоскостью симметрии):



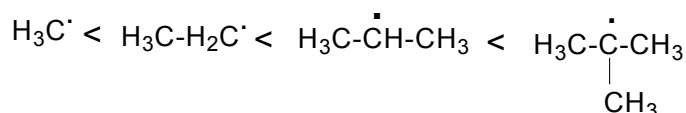
цис-1,2-диметилциклопропан

транс-1,2-диметилциклопропан

3.1.11. Галогенирование алканов – реакция радикального замещения (SR). Такие реакции протекают по следующей схеме и механизму:

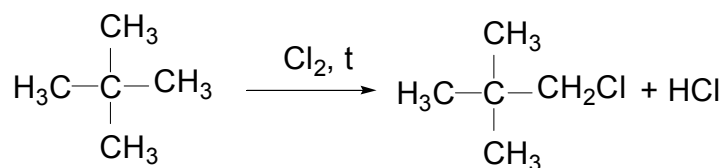


Как видно (стадия 2), в процессе реакции образуется радикал R \cdot ; причем, в первую очередь, – более устойчивый. Устойчивость углеводородных радикалов увеличивается в ряду:



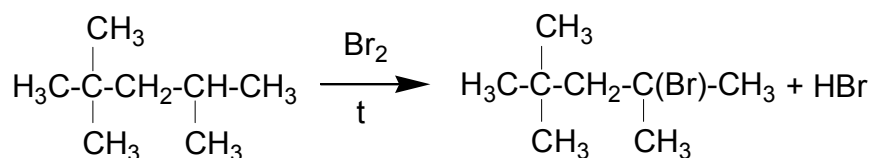
Следовательно, из четырех полученных соединений: 2-бром-2-метилбутан образуется быстрее (поскольку возникающий радикал – третичный); получены также 1-бром-2-метилбутан, 3-бром-2-метилбутан и 1-бром-3-метилбутан.

3.1.12. Необходимо выбрать такой изомер, у которого все атомы углерода, где может пройти реакция галогенирования, были бы одинаковые. Такому условию отвечает только 2,2-диметилпропан (неопентан), где атомы углерода – первичные. У всех остальных изомеров пентана возможно образование сразу нескольких моногалогенопроизводных (правда, с различной скоростью).

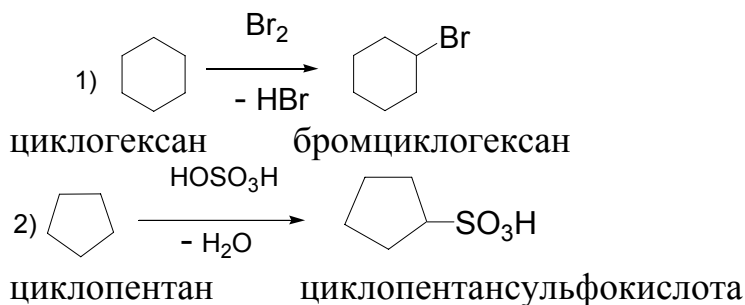


3.1.13. В процессе галогенирования в условиях, когда промежуточно образуются углеводородные радикалы, наиболее устойчивым будет третичный радикал.

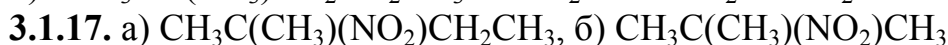
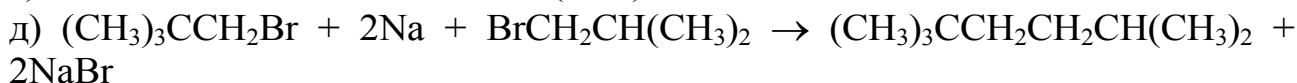
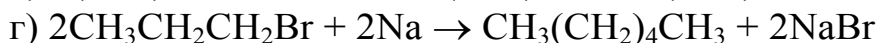
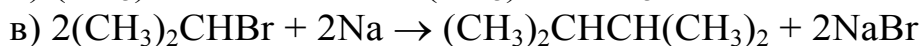
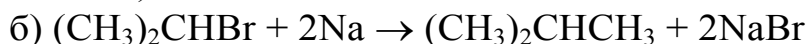
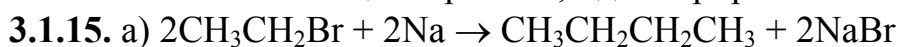
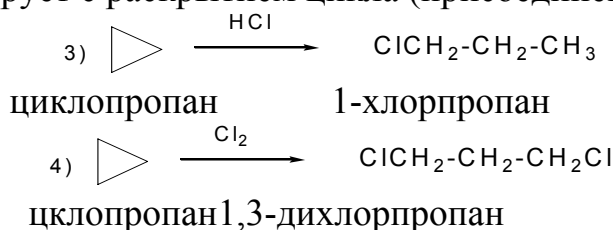
Следовательно, бромирование в первую очередь пойдет по положению **4** (по третичному атому С) и образуется 4-бром-2,2,4-триметилпентан.



Циклогексан с галогенами вступает в реакции радикального замещения (сравните с алканами!)



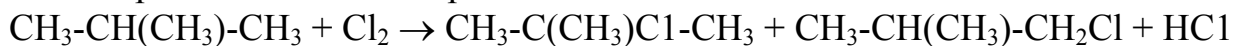
Циклопропан реагирует с раскрытием цикла (присоединение):



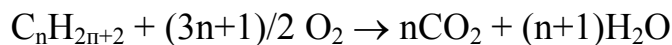
3.1.18. Решение. Пусть формула углеводорода – C_xH_y . Атомный вес углерода 12г/ат, водорода -1г/ат, значит ($M_{\text{углеводорода}} = 12x+y$). Массовая доля водорода (выраженная в долях единицы) в одном моле этого вещества равна:

$\omega(\text{H}) = y/(12x+y) = 0,1724$? Откуда $y = 2,5x$. Для нахождения простейшей формулы углеводорода множим найденное соотношение на некоторое число, которое превратит 2,5 в целое число, но минимальное из всех чисел такого произведения. Очевидно, достаточно умножить это соотношение на 2. Это означает, что простейшая формула углеводорода – C_2H_5 . Но такого углеводорода быть не может. Мы вынуждены умножить простейшую формулу на 2. Тогда ей соответствует истинная формула C_4H_{10} . Существуют два углеводорода состава C_4H_{10} : $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3$ бутан и $\text{CH}_3\text{-CH}(\text{CH}_3)\text{-CH}_3$ 2-метилпропан

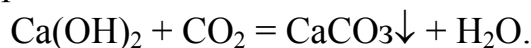
Третичные атомы углерода есть только в одном из этих двух изомеров, в 2-метилпропане, поэтому только 2-метилпропан при хлорировании может образовывать третичный алкилхлорид:



3.1.19. Решение. Сгорание предельных углеводородов выражается формулой:

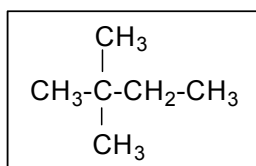


В результате сгорания одного моля предельного углеводорода, содержащего n атомов углерода, образуется n моль CO_2 . При пропускании CO_2 через известковую воду образуется карбонат кальция:

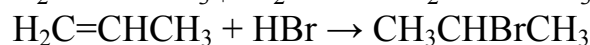
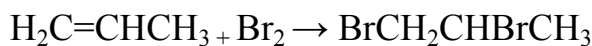


($M \text{CaCO}_3 = 100$ г/моль), $v(\text{CaCO}_3) = 60/100 = 0,6$ моль = $v(\text{CO}_2)$. При сгорании 0,1 моль $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ выделилось 0,6 моль CO_2 , следовательно $n = 6$. Молекулярная формула углеводорода - C_6H_{14} .

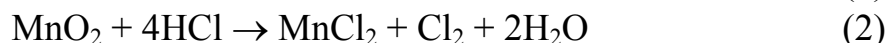
Из пяти углеводородов состава C_6H_{14} четвертичный атом углерода есть только в 2,2-диметилбутане:



3.1.20.



3.1.21.

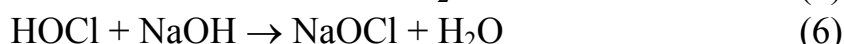
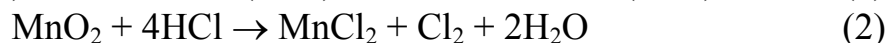
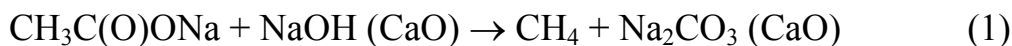


$M = 29 \cdot D_B = 5,31 \cdot 29 = 154$ – молекулярная масса соединения, т.е. это CCl_4 ; 1,54 г CCl_4 составляет 0,01 моль.

Из уравнения (1) следует, что прореагировало 0,01 моль CH_4 (0,224 л), из условий задачи – хлора вступило в реакцию 0,12 моль (2,688 л).

Из уравнения (2) видно, что MnO_2 (M 87) потребуется 0,12 моль, или $87 \cdot 0,12 = 10,4$ г.

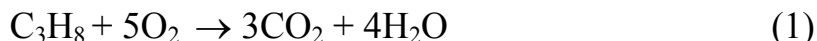
3.1.22.



По уравнению (1) из 20,5 г ацетата натрия $\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{ONa}$ (M 82) образуется $20,5/82 = 0,25$ моль CH_4 . По уравнению (2) из 130,5 г MnO_2 (M 87) можно получить $130,5/87 = 1,5$ моль хлора. Из уравнения (3) следует, что 0,25 моль CH_4 прореагируют с 1 моль хлора (в избытке останется 0,5 моль хлора). Одновременно образуется 1 моль HCl (газ). При растворении в воде газообразных про-

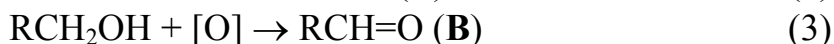
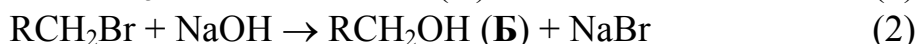
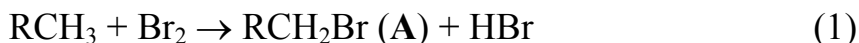
дуктов реакции (HCl и Cl₂) образуется раствор 1,5 моль HCl и 0,5 моль HOCl (уравнения 3 и 4). На нейтрализацию этого раствора потребуется 2 моль NaOH (уравнения 5 и 6), или $2/0,5 = 4$ л 0,5 М раствора NaOH.

3.1.23.



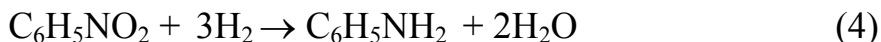
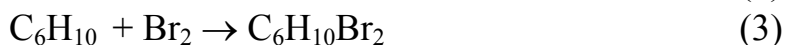
1,12 л CO₂ составляют 0,05 моль. Следовательно, объем сгоревшего пропана $1,12/3 = 0,37$ л (уравнение 1). Масса раствора KOH равна $50 \cdot 1,1 = 55$ г. В 55 г 12 %-ного раствора KOH содержится $55 \cdot 12/100 = 6,6$ г KOH. Для поглощения 0,05 моль CO₂ требуется 0,1 моль KOH (м 56), или 5,6 г (уравнение 2). Следовательно, KOH взят в избытке, поэтому образуется 0,05 моль K₂CO₃ (м 138), или 6,9 г.

3.1.24.



При щелочном гидролизе монобромпроизводного «А» образуется спирт «Б» (уравнение 2), окисление которого приводит к альдегиду «В» (уравнение 3). 43,2 г серебра составляют 0,4 моль. Такое количество серебра может образоваться из 0,1 моль формальдегида или 0,2 моль любого другого альдегида (уравнения 4 и 5). По условию задачи альдегид газообразное соединение, следовательно, это метаналь. Тогда 9,5 г «А» составляют 0,1 моль, молекулярная масса «А» – 95, т.е. это бромометан и в реакцию был взят метан. Поскольку выход при бромировании 50%, метана требуется 0,2 моль (3,2 г или 4,48 л).

3.1.25.

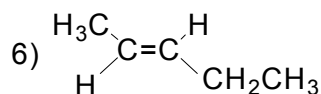
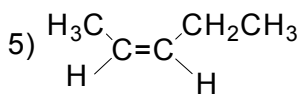
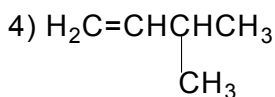
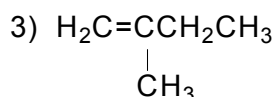
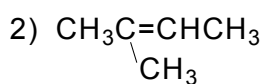
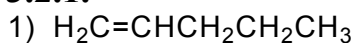


Из уравнения 3 можно определить количество брома, которое соответствует количеству циклогексена $(480 \cdot 10)/(100 \cdot 160) = 0,3$ моль брома (М 160); следовательно, и циклогексена 0,3 моль (24,6 г). Из уравнения 2 следует, что при дегидрировании циклогексена выделяется $0,3 \cdot 2 = 0,6$ моль H₂.

Согласно уравнению 4 для восстановления 36,9 г нитробензола (М 123) в анилин потребовалось бы $36,9 \cdot 3/123 = 0,9$ моль H₂. Поскольку из циклогексена выделилось 0,6 моль H₂, при дегидрировании циклогексана (М 84) образуется $0,9 - 0,6 = 0,3$ моль H₂. Это соответствует (уравнение 1) $0,3/3 = 0,1$ моль (8,4 г) циклогексана. Теперь установим состав смеси: $8,4/(8,4 + 24,6) = 25,5$ % циклогексана и 74,5 % циклогексена.

3.2. Алкены

3.2.1.

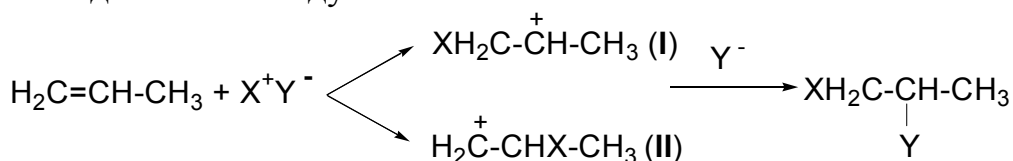


1) пентен-1, 2) 2-метилбутен-2, 3) 2-метилбутен-1, 4) 3-метилбутен-1, 5) *цис*-пентен-2, 6) *транс*-пентен-2.

Выделенное окончание **ен** – свидетельствует о наличии двойной связи, от которой начинается отсчет главной углеродной цепи молекулы.

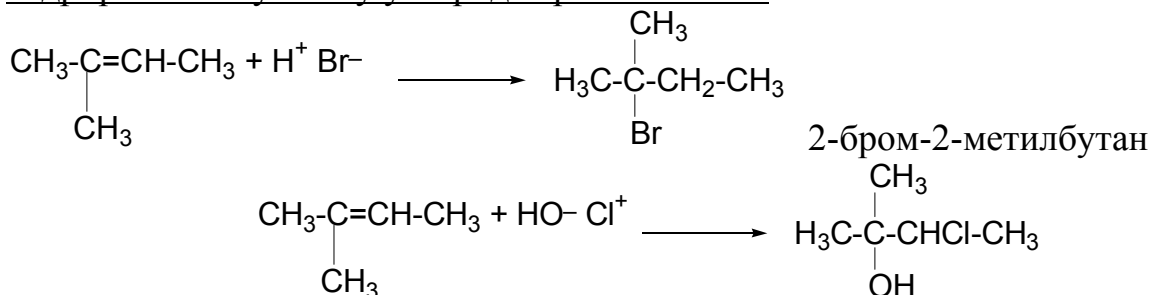
3.2.2. Радикалы образуются, если от атома углерода удалить водород, Радикал этена $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}$ – *винил*. От пропена можно произвести три радикала, поскольку в нем есть первичный, вторичный и третичный атомы углерода; соответственно радикалы будут называться $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{H}_2\text{C}$ – *аллил*, $-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_3$ *пропенил*, $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)$ *изопропенил*.

3.2.3. Для алкенов характерны реакции *электрофильного* присоединения (первоначально по кратной связи, имеющей избыток электронной плотности, присоединяется *электрофил* – катион или частичка с вакантной орбиталью). При этом образуется тот *карбокатион*, который более устойчив. Затем быстро протекает взаимодействие между катионом и анионом.



В качестве примера рассмотрим взаимодействие пропена с полярным реагентом. Из возможно первоначально образующихся карбокатионов (**I**–*вторичный*) более устойчив, чем (**II**–*первичный*):

Направление взаимодействия полярных реагентов с несимметричными алкенами подчиняется *правилу Марковникова*: при действии на несимметричные алкены полярных реагентов положительная часть реагента присоединяется к более гидрированному атому углерода кратной связи.

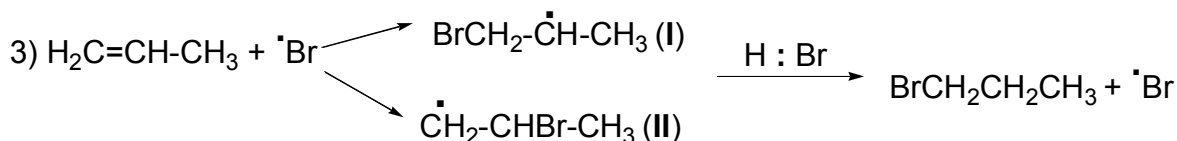
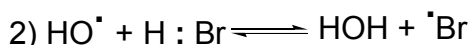
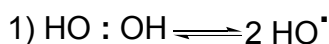
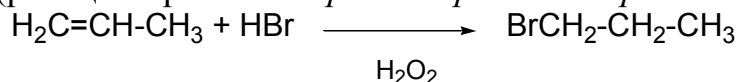


2-метил-3-хлорбутанол-2

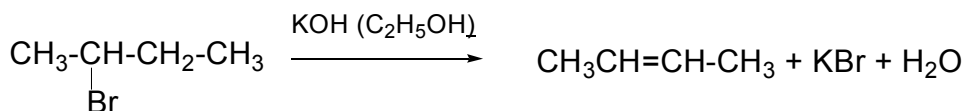
(окончание **ол** свидетельствует о принадлежности к спиртам)

3.2.4. При наличии в зоне реакции перекисных соединений протекает *радикальное присоединение* к алкенам (это имеет место, если реагент **HBr**).

Первоначально перекись распадается на два радикала (1); образовавшийся радикал OH взаимодействует с молекулой брома, инициируя возникновение атомарного брома (радикала брома) Br (2). Последний присоединяется по двойной связи таким образом, чтобы образующийся карборадикал был более устойчив (I – вторичный устойчивее II – первичного) (3). Затем радикал (I) реагирует с молекулой HBr; возникает новый Br и образуется целевое соединение 1-бромпропан (реакция протекает *против правила Марковникова*).



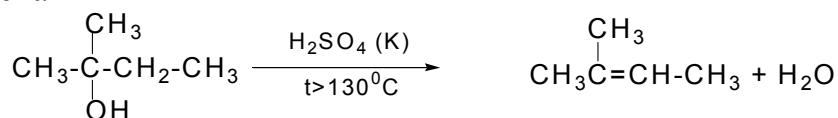
3.2.5. Дегидрогалогенирование (отщепление галогеноводорода) галогеноалканов протекает по *правилу Зайцева – атом водорода уходит от соседнего менее гидрированного атома углерода*.



2-бромбутан

бутен-2

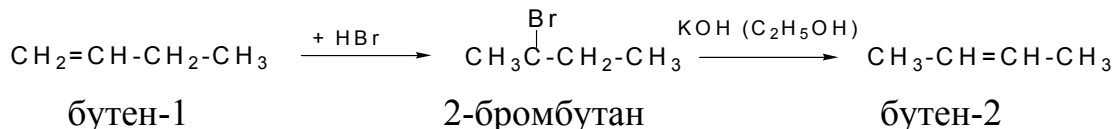
3.2.6. Конц. H₂SO₄ является дегидратирующим агентом (отщепляет воду). При температуре выше 130°C происходит *внутримолекулярная дегидратация* по правилу Зайцева



2-метилбутанол-2

2-метилбутен-2

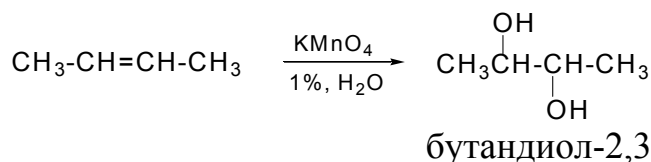
3.2.7. Вначале присоединим галогеноводород (правило Марковникова), а затем элиминируем (отщепление) галогеноводород (правило Зайцева):



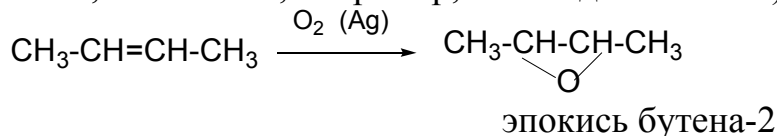
3.2.8. В зависимости от силы окислителя окисление алкенов протекает различно. При действии слабого окислителя образуются двухатомные спирты (диолы или гликоли).

Простейший диол – *этиленгликоль* – используется для изготовления *антифризов* – морозостойких жидкостей, применяемых для охлаждения двигателей автомобилей.

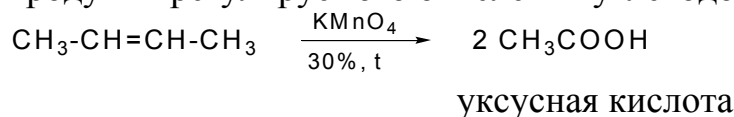
Поскольку изменяется окраска (*окисление по Вагнеру*), это качественная реакция на кратную связь



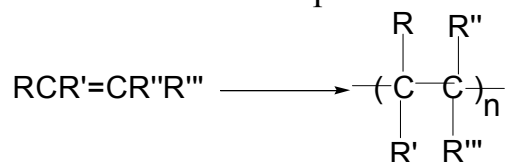
при действии кислорода воздуха (катализатор Ag) образуются *эпокси* алкенов (промышленный способ, вспомните, например, эпоксидные смолы)



при действии сильных окислителей двойная связь разрывается и образуются кислоты (конечные продукты регулируемого окисления углеводородов)



3.2.9. Реакция *полимеризации* – важнейшая в практическом отношении. Исходное соединение – *мономер*, конечное – *полимер* (*моно* – один, *поли* – много). Запись схемы полимеризации: горизонтально пишут фрагмент, содержащий двойную связь, остальные заместители – вертикально:

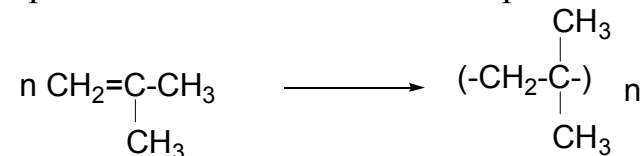


n – степень полимеризации указывает, сколько мономеров объединились в полимер.

Полимеризация в зависимости от условий проведения бывает *радикальная цепная* (используют инициаторы цепных реакций – перекиси или гидроперекиси), *катионная цепная* (в качестве катализатора используют протоносодержащие соединения кислотного характера), *анионная цепная* (в качестве катализатора применяют очень сильные основания). Теорию *цепных реакций* разработал лауреат Нобелевской премии академик Н.Н. Семёнов.

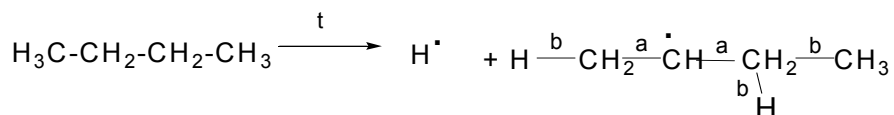


пропилен полипропилен



изобутилен полиизобутилен

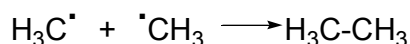
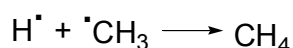
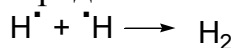
3.2.10. *Крекинг алканов* – важнейший промышленный способ получения алкенов. Первым актом является образования радикалов (поскольку температура – условие *гомолитического* распада ковалентной связи). Далее радикалы могут распадаться по β -связи (через одну от *неспаренного* электрона), либо соединяться друг с другом, образуя новую химическую связь.



Образовавшийся углеводородный радикал (почему водород оторвался от 2-го, а не от 1-го атома углерода?) распадается по β -связи:

При отрыве атомарного водорода или метильного радикала на углероде, от которого они отделились, остается неспаренный электрон, который объединяется с электроном на 2-ом атоме С радикала *вторичного бутила*; при этом возникает двойная связь.

Еще одно свойство свободных радикалов – соединяться:



Этан, в свою очередь, по такому же механизму превращается в этилен.

3.2.11. а) $\text{CH}_3-\text{C}(\text{Br})(\text{CH}_3)-\text{CH}_3$, б) $\text{CH}_3\text{CH}(\text{I})\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$

3.2.12. а) $\text{CH}_3\text{C}(\text{CH}_3)_2\text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)\text{CH}_3$, б) $\text{CH}_3\text{C}(\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{CH}_3$

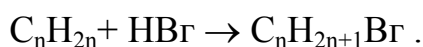
3.2.13. $\text{CH}_3\text{CHBrCH}_3$

3.2.14. а) $\text{HOCH}_2-\text{C}(\text{OH})(\text{CH}_3)-\text{CH}_3$, б) $\text{CH}_3-\text{C}(\text{OH})(\text{CH}_3)-\text{C}(\text{OH})(\text{CH}_3)-\text{CH}_3$

3.2.15. Бутен-2, 50 %.

3.2.16. 35 % пентена и 65 % пентана.

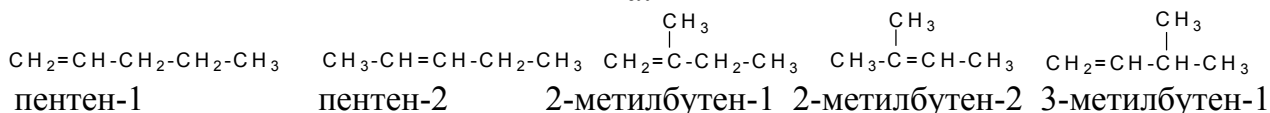
3.2.17. Решение. Этиленовые углеводороды присоединяют бромоводород по уравнению:



$\nu(\text{HBr}) = 2,24/22,4 = 0,1$ моль. $\nu(\text{C}_n\text{H}_{2n}) = \nu(\text{HBr}) = 0,1$ моль. Следовательно, $M(\text{C}_n\text{H}_{2n}) = 7,0/0,1 = 70$ г/моль. Находим число атомов углерода в алкенах, исходя из следующих рассуждений. Общая формула алкенов C_nH_{2n} . Подставим атомные веса углерода и водорода в эту формулу с тем, чтобы выразить молекулярную массу алкенов в общем виде: $M(\text{алкенов}) = 12n + 2n = 14n$

Подставим найденную молярную массу алкена, равную 70 г/моль, в эту формулу и найдём n . $14n = 70$. $n = 5$. Углеводород имеет состав C_5H_{10} .

Существует 5 структурных изомеров этиленовых углеводородов такого состава:

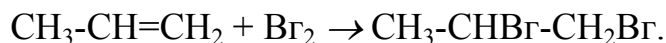


Цис- и *транс*-изомеры имеет только пентен-2.

Ответ: *Цис*-пентен-2.

3.2.18. Решение. Молярная масса изомерных углеводородов равна: $M(\text{C}_x\text{H}_y) = 21 \cdot 2 = 42$ г/моль. Это могут быть алканы, алкены, или алкины. Подсчитаем число углеродных атомов для смеси изомерных алканов: $\text{C}_n\text{H}_{2n+2} = 42$ г/моль = $14n + 2 = 42$, откуда $n = 2,857$. Дробная величина числа углеродных атомов указывает на то, что эта смесь не принадлежит к алканам. Вычислим число углеродных атомов, считая смесь алкенами: $\text{C}_n\text{H}_{2n+2} = 42$ г/моль = $14n = 42$, откуда $n = 3$ – следовательно, углеводороды имеют формулу C_3H_6 . Такую молекулярную

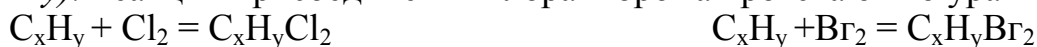
формулу имеют два вещества – пропен и циклопропан. Пропен реагирует с бромной водой:



Молярная масса дибромпроизводного равна: $M(\text{C}_3\text{H}_6\text{Br}_2) = 202$ г/моль, а его количество: $\nu(\text{C}_3\text{H}_6\text{Br}_2) = 40,4/202 = 0,2$ моль. Следовательно, в исходной смеси было 0,2 моль пропена. Общее количество углеводородов в смеси было равно $11,2/22,4 = 0,5$ моль; оставшиеся 0,3 моль приходятся на долю циклопропана, который не взаимодействует с бромной водой. Объемные доли газов в смеси равны их молярным долям: $\phi(\text{пропена}) = 0,2/0,5 = 0,4$, или 40%, $\phi(\text{циклопропана}) = 0,6$, или 60%.

Ответ. 40% пропена, 60% циклопропана.

3.2.19. Решение. Пусть формула углеводорода — C_xH_y (молярная масса $M = 12x + y$). Реакции присоединения хлора и брома протекают по уравнениям:



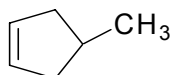
По условию, количества дихлорида и дибромида равны:

$\nu(\text{C}_x\text{H}_y\text{Cl}_2) = 22,95/(12x + y + 71) = \nu(\text{C}_x\text{H}_y\text{Br}_2) = 36,3/(12x + y + 160)$, откуда $12x + y = 82$. Поскольку x и y — натуральные числа, то $x < 7$. Если $x = 6$, то $y = 10$, что соответствует формуле C_6H_{10} . Углеводородов с $x < 6$ (C_5H_{22} , C_4H_{34} и т.д.) не существует, следовательно, C_6H_{10} — единственное решение.

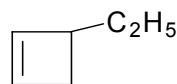
Данный углеводород принадлежит гомологическому ряду $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$ и имеет только одну двойную связь, поскольку может присоединить максимально два атома брома или хлора. Следовательно, в состав молекулы входит один цикл. Изомеры:



циклогексен



4-метилциклопентен



3-этилциклобутен

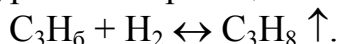
Ответ. C_6H_{10} .

3.2.20. Решение. Алкены окисляются водным раствором перманганата калия по уравнению: $3\text{C}_n\text{H}_{2n} + 2\text{KMnO}_4 + 4\text{H}_2\text{O} = 3\text{C}_n\text{H}_{2n}(\text{OH})_2 + 2\text{MnO}_2\downarrow + 2\text{KOH}$.

Из 3 моль алкена (массой $3 \cdot (12n + 2) = 42n$) образуется 2 моль MnO_2 (массой $2 \cdot 87 = 174$ г). По условию задачи: $42n \cdot 2,07 = 174$, откуда $n = 2$. Искомый алкен – этилен, C_2H_4 .

Ответ. C_2H_4

3.2.21. Решение. 1. Запишем уравнение реакции:



Пусть $\text{C}_3\text{H}_6 = x$, $\nu(\text{H}_2) = 1-x$, тогда масса смеси равна $42-x + 2 \cdot (1-x) = 44 - 3x = 30$, откуда $x = 0,7$, т.е. $\nu(\text{C}_3\text{H}_6) = 0,7$, $\nu(\text{H}_2) = 0,3$.

Давление уменьшилось на 25% при неизменных температуре и объеме за счет уменьшения на 25% числа молей в результате реакции. Пусть y моль H_2 вступило в реакцию, тогда после реакции осталось: $\nu(\text{C}_3\text{H}_6) = 0,7-y$, $\nu(\text{H}_2) = 0,3-y$, $\nu(\text{C}_3\text{H}_8) = y$, $\nu_{\text{общ}} = 0,75 = (0,7-y) + (0,3-y) + y$, откуда $y = 0,25$.

Теоретически могло образоваться 0,3 моль C_3H_8 (H_2 – в недостатке), поэтому выход равен $0,25/0,3 = 0,833 = 83,3\%$.

Константа равновесия при данных условиях равна:

$$K_v = \nu(C_3H_8) / \nu(C_3H_6) * \nu(H_2) = 0,25/0,45 * 0,05 = 11,1$$

2. Пусть во втором случае $\nu(C_3H_6) = a$, $\nu(H_2) = 1 - a$, тогда масса смеси равна $42*a + 2*(1 - a) = 2*16 = 32$, откуда $a = 0,75$, т.е. $\nu(C_3H_6) = 0,75$, $\nu(H_2) = 0,25$.

Пусть в реакцию вступило b моль H_2 . Это число можно найти из условия неизменности константы равновесия:

$$K_v = \nu(C_3H_8) / \nu(C_3H_6) * \nu(H_2) = b / (0,75 - b) * (0,25 - b) = 11 < 1$$

Из двух корней данного квадратного уравнения выбираем корень, удовлетворяющий условию: $0 < b < 0,25$, т.е. $b = 0,214$.

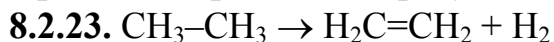
Общее число молей после реакции равно: $\nu_{\text{общ}} = (0,75 - 0,214) + (0,25 - 0,214) + 0,214 = 0,786$, т.е. оно уменьшилось на 21,4% по сравнению с исходным количеством (1 моль). Давление пропорционально числу молей, поэтому оно также уменьшилось на 21,4%.

Ответ. Выход C_3H_6 - 83,3%. Давление уменьшится на 21,4%.



Гидратируется только бутен. 37 г спирта C_4H_9OH (M 74) составляют 0,5 моль. При выходе 74% такое количество получается из 0,67 моль $[100*0,5/74]$, или 15,1 л бутена (уравнение 10). Следовательно, количество бутана в исходной смеси равно $20 - 15,1 = 4,9$ л. Из изомерных бутенов, только бутен-2 имеет геометрические изомеры (*цис-*, *транс-*).

При его гидратации образуется бутанол-2 (уравнение 2).



Дегидрируется только этан. Из уравнения видно, что 10 л H_2 образовались из такого же количества этана. Исходная смесь состояла из 10 л этана и $25 - 10 = 15$ л этена. В полученной смеси газов содержится 25 л этилена (15 л исходного + 10 л полученного дегидрированием) и 10 л водорода.



В 80 г 20 %-ного раствора брома в тетрахлорометане содержится $80*20/100 = 16$ г брома (M 160), т.е. 0,1 моль. Тогда 7 г углеводорода C_nH_{2n} составляют тоже 0,1 моль (по уравнению). Молекулярная масса углеводорода $7/0,1 = 70$. При делении молекулярной массы на 14 (CH_2) получаем $n = 5$, т.е. формула соединения C_5H_{10} . Он имеет пять структурных изомеров:

1) $C=C-C-C-C$, 2) $C-C=C-C-C$, 3) $C=C(C)-C-C$, 4) $C-C=C(C)-C$, 5) $C-C(C)-C=C$.

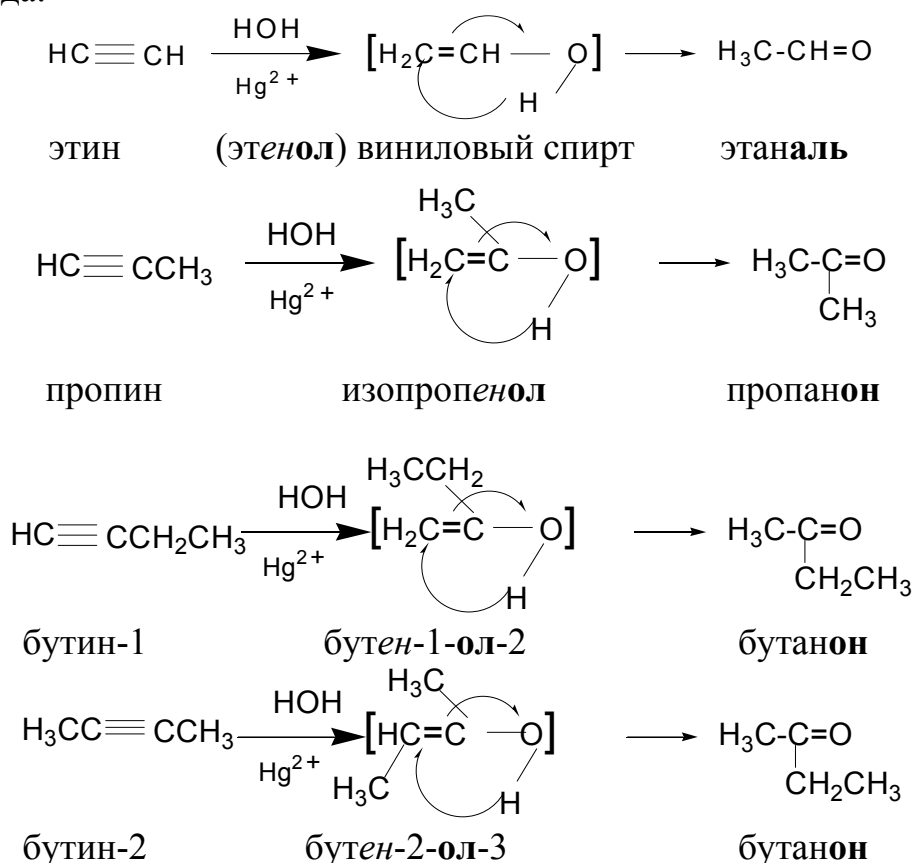
Геометрические изомеры имеет лишь структура 2), т.е. исходный углеводород – пентен-2.

3.2.25. Запишем схему полимеризации этилена:



вещество от белого до красно-бурого цвета; без запаха и вкуса, не оказывает физиологическое действие. ПВХ устойчив к действию воды, слабых кислот и оснований, большинства органических растворителей. Обладает очень низкой электропроводностью и теплопроводностью. Размягчается при 75-80°C. Свойства могут изменяться при добавлении других полимеров, наполнителей, красителей, пенообразователей, стабилизаторов.

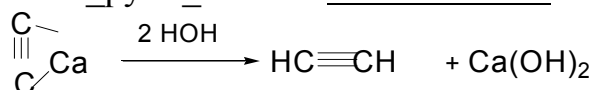
3.3.4. Гидратация (присоединение воды) алкинов протекает в соответствии с правилом Марковникова. Образующийся непредельный спирт – неустойчив (гидроксил, как правило, не «уживается» с двойной связью) – и перегруппировывается (или *изомеризуется*) в соответствующее карбонильное производное углеводорода:



3.3.5. 1) При пиролизе метана (температура около 1500°C), наряду с ацетиленом образуется водород. Ацетилен транспортируют в баллонах, окрашенных в белый цвет и надписью красной краской «ацетилен». Поскольку ацетилен может реагировать со стенками баллона (железо), образуя ацетилениды (опасны в обращении!), баллоны заполняют высокопористым материалом, заливают ацетон и растворяют ацетилен под давлением в ацетоне.



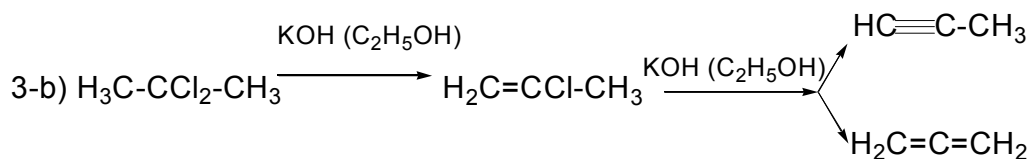
2) Из карбида ацетилен получают двумя способами «карбид на воду», либо «вода на карбид». Ацетилен не имеет запаха, а неприятный запах, появляющийся при работе по этим методам, обусловлен примесями, которые попали в карбид при его получении рупп ением технического оксида кальция с углем.



1,1-дихлорпропан

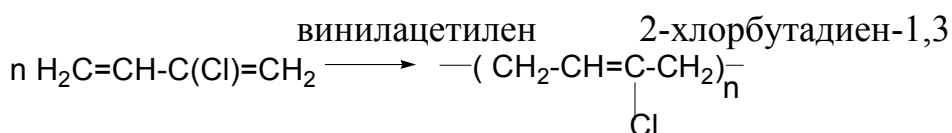
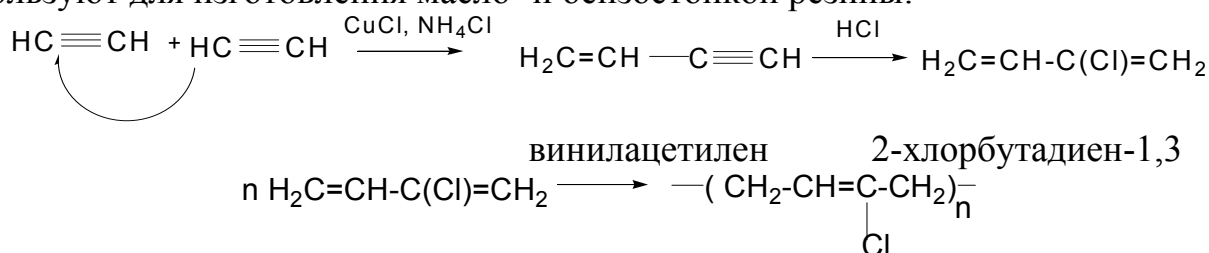
1-хлорпропен-1

пропин



В случае (3-b) первоначально образующийся 2-хлорпропен-1 превращается в пропин и пропадиен.

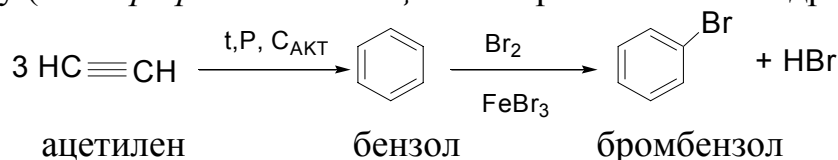
3.3.6.1) Димеризацией ацетилена (*ди* – два) получают винилацетилен (бутен-1-ин-3), который, присоединяя HCl, превращается в 2-хлорбутадиен-1,3 (*хлоропрен*) – сопряженный диен. Синтетический каучук на основе хлоропрена используют для изготовления масло- и бензостойкой резины:



хлоропреновый каучук

Процесс приготовления из каучука резины — *вулканизацию* — осуществляют, нагревая каучук с серой; кроме того, добавляют стабилизаторы резины (для защиты от солнечного света, окисления под действием кислорода воздуха).

Тримеризация ацетилена (условия: *t, p, Сакт*) позволяет получать бензол (без примесей). Бромирование бензола в присутствии бромиды железа (III) приводит к бромбензолу (*электрофильное замещение* в ароматическом ядре).

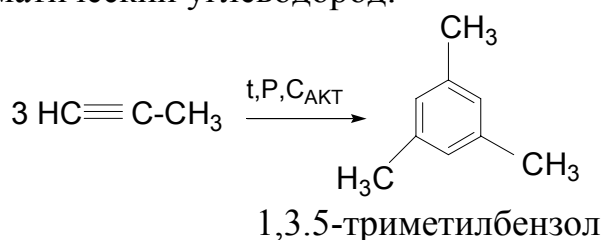


ацетилен

бензол

бромбензол

3.3.7. Образуется ароматический углеводород:



1,3,5-триметилбензол

3.3.8. а) 3-метилбутин-1, б) 4-метилпентин-1

3.3.9. а) $\text{HC}\equiv\text{CH} + 2\text{Ag} \rightarrow \text{H}_2 + \text{AgC}\equiv\text{CAg}$,

$\text{AgC}\equiv\text{CAg} + 2\text{ICH}_3 \rightarrow \text{CH}_3\text{C}\equiv\text{CCH}_3 + 2\text{NaI}$,

б) $\text{HC}\equiv\text{CH} + \text{NaNH}_2 \rightarrow \text{NH}_3 + \text{HC}\equiv\text{CNa}$,

$\text{HC}\equiv\text{CNa} + \text{ICH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3 \rightarrow \text{HC}\equiv\text{CCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3 + \text{NaI}$

3.3.10. а) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHCl}_2$, 2) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CCl}_2\text{CH}_3$ или $\text{CH}_3\text{CHClCHClCH}_3$.

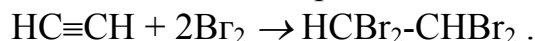
3.3.11. 2,2-диметилгексин-3.

3.3.12. Бутин-1 реагирует с металлическим натрием с выделением пузырьков газа (водород), бутин-2 с натрием не реагирует.

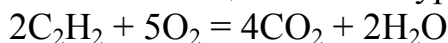


3.3.14. 18 мл H_2O ; 11,2 л C_2H_2 .

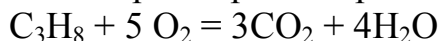
3.3.15. Решение. Ацетилен поглощается бромной водой:



1,3 г – это масса ацетилена. $\nu(\text{C}_2\text{H}_2) = 1,3/26 = 0,05$ моль. При сгорании этого количества ацетилена по уравнению:



выделилось $2*0,05 = 0,1$ моль CO_2 . Общее количество CO_2 равно $14/22,4 = 0,625$ моль. При сгорании пропана по уравнению

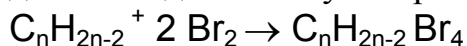


выделилось $0,625*0,1 = 0,525$ моль CO_2 , при этом в реакцию вступило $0,525/3 = 0,175$ моль C_3H_8 массой $0,175*44 = 7,7$ г.

Общая масса смеси углеводородов равна $1,3+7,7 = 9,0$ г, а массовая доля пропана составляет: $\varphi(\text{C}_3\text{H}_8) = 7,7/9,0 = 0,856$, или 85,6%.

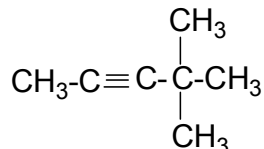
Ответ. 85,6% пропана.

3.3.16. Решение. К тройной связи в ацетиленовых углеводородах могут присоединиться две молекулы брома:



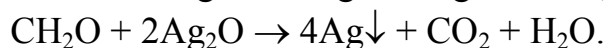
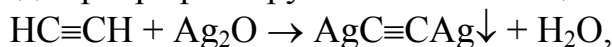
$\nu(\text{Br}_2) = 80/160 = 0,5$ моль. $\nu(\text{C}_n\text{H}_{2n-2}) = 0,5/2 = 0,25$ моль. В реакцию с бромом вступило $104 - 80 = 24$ г углеводорода $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$, следовательно, его молярная масса равна: $M(\text{C}_n\text{H}_{2n-2}) = 24/0,25 = 96$ г/моль, откуда следует, что $n = 7$.

Углеводород C_7H_{12} не реагирует с аммиачным раствором оксида серебра, следовательно, тройная связь находится в середине цепи. Существует только один алкин состава C_7H_{12} с пятью атомами углерода в главной цепи и с тройной связью в положении 2 – это 4,4-диметилпентин-2



Ответ. 4,4-диметилпентин-2.

3.3.17. Решение. Оксид серебра реагирует с обоими веществами в смеси:



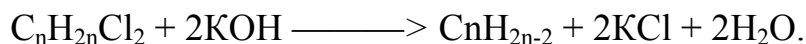
(Уравнения реакции записаны в упрощенном виде).

Пусть в смеси содержалось по x моль C_2H_2 и CH_2O . Эта смесь прореагировала с 69,6 г оксида серебра, что составляет $69,6/232 = 0,3$ моль. В первую реакцию вступило x моль Ag_2O , во вторую — $2x$ моль Ag_2O , всего — 0,3 моль, откуда следует, что $x = 0,1$.

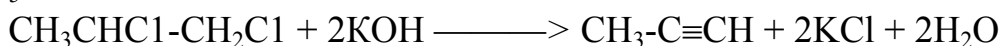
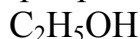
$M(\text{C}_2\text{H}_2) = 0,1*26 = 2,6$ г; $m(\text{CH}_2\text{O}) = 0,1*30 = 3,0$ г; общая масса смеси равна $2,6+3,0 = 5,6$ г. Массовые доли компонентов в смеси равны: $\omega(\text{C}_2\text{H}_2) = 2,6/5,6 = 0,464$, или 46,4%; $\omega(\text{CH}_2\text{O}) = 3,0/5,6 = 0,536$, или 53,6%.

Ответ. 46,4% ацетилена, 53,4% формальдегида.

3.3.18. Решение. При обработке дихлоралкана избытком спиртового раствора щелочи отщепляются две молекулы хлороводорода и образуется алкин:



Согласно уравнению реакции, из 1 моль $C_nH_{2n}Cl_2$ массой $(14n + 71)$ г выделяется 1 моль C_nH_{2n-2} массой $(14n - 2)$ г. По условию, $(14n - 2) \cdot 2,825 = 14n + 71$, откуда $n = 3$. Искомый алкин — пропин, $CH_3 - C \equiv CH$, он образуется из 1,2-дихлорпропана:



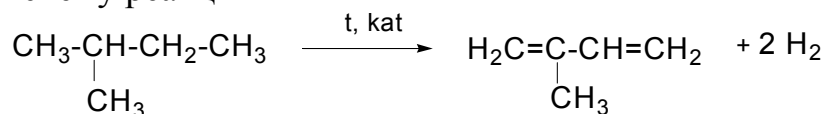
Ответ: 1,2-дихлорпропан, пропин.

3.4. Алкадиены

- 3.4.1.** 1) $CH_2=C=CH-CH_3$ бутадиен-1,2;
 2) $CH_2=CH-CH=CH_2$ бутадиен-1,3 (дивинил);
 3) $CH_2=C=CH-CH_2-CH_3$ пентадиен-1,2;
 4) $CH_2=CH-CH=CH-CH_3$ пентадиен-1,3;
 5) $CH_2=CH-CH_2-CH=CH_2$ пентадиен-1,4;
 6) $CH_2=C(CH_3)-CH=CH_2$ 2-метилбутадиен-1,3 (изопрен)

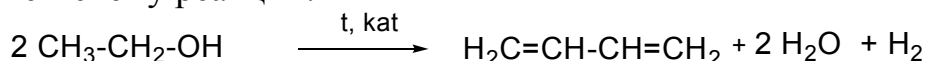
Диены с сопряженными связями: 2), 4), 6).

3.4.2. Запишем схему реакции



Как видно, из 1 моль алкана образуется 1 моль диена, следовательно, из 10 моль (224 л) алкана должно теоретически получиться 10 моль изопрена. Поскольку практический выход составляет 50%, то изопрена образовалось 5 моль (112 л). Молярная масса изопрена $C_5H_8 = 12 \cdot 5 + 8 = 68$ г/л. Следовательно, масса образовавшегося изопрена $68 \cdot 5 = 340$ г.

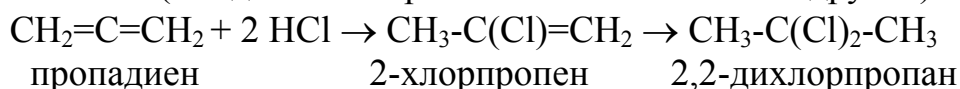
3.4.3. Запишем схему реакции:



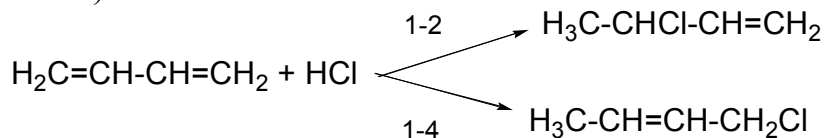
Как видно, из 2 моль этанола образуется 1 моль бутадиена-1,3. Поскольку в реакцию взят 96% спирт, следует вычислить количество 100% (абсолютного) спирта.

Составим пропорцию 479,17 г составляют 96%, следовательно, 100% спирта будет $479,16 \text{ г} \cdot 96/100 = 460$ г. Молярная масса спирта 46, в реакции участвовало 10 моль. Тогда бутадиена-1,3 должно образоваться 5 моль (теоретическое количество). Практический выход 60%, что составит $5 \text{ моль} \cdot 60/100 = 3$ моль или $22,4 \text{ л} \cdot 3 = 67,2$ л.

3.4.4. Диены, у которых двойные связи находятся при одном атоме С (*кумулярованные связи*), вступают в реакции электрофильного присоединения по правилу Марковникова (каждая связь «работает» независимо от другой).

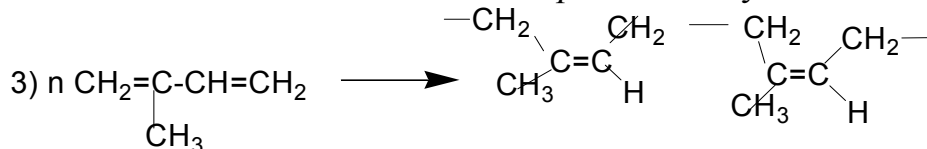
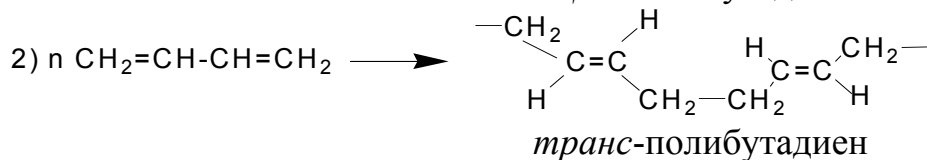
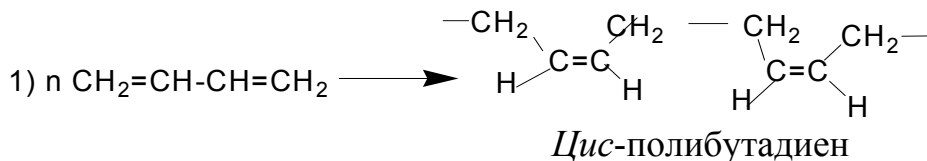


Диены с *сопряженными связями* (чередуются связи двойная и одинарная) имеют общее *делокализованное π-электронное облако* и реагируют с *электрофильными* реагентами с образованием продуктов 1-2 и 1-4 присоединения (по правилу Марковникова):

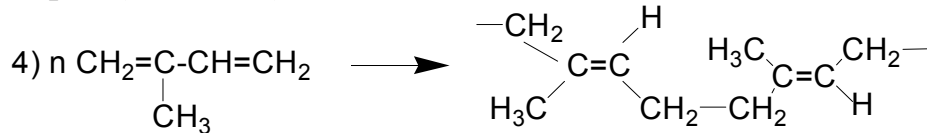


Продукт 1-2 присоединения — 3-хлорбутен-1, 1-4 присоединения — 1-хлорбутен-2 (обратите внимание на порядок нумерации атомов в главной углеродной цепи).

3.4.5. Стереорегулярные полимеры получают на катализаторах Циглера-Натта.

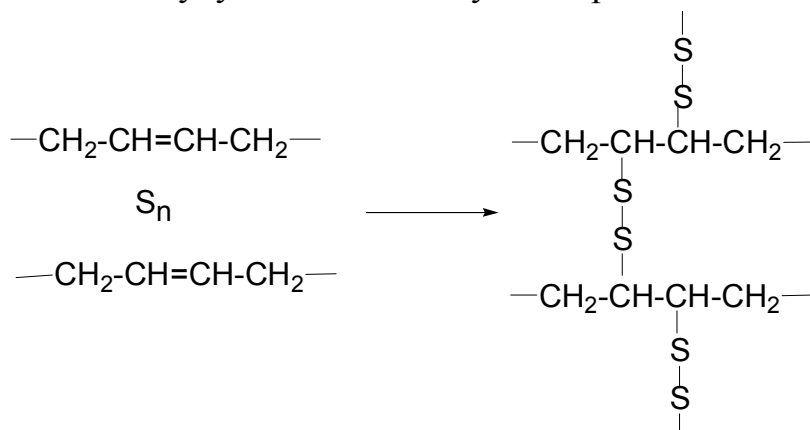


цис-полиизопрен (НК, СКИ)

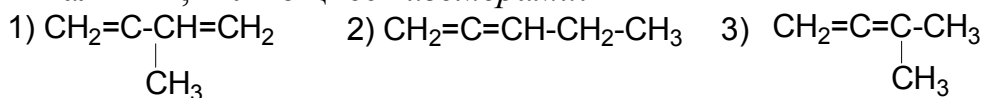


транс-полиизопрен (гуттаперча)

Процесс вулканизации каучука с целью получения резины:



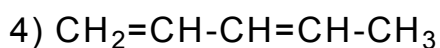
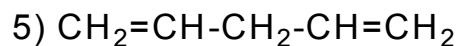
3.4.6. Соединения C_5H_8 имеют общую формулу $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$, которой соответствуют алкадиены и алкины, являющиеся *изомерами*.



2-метилбутадиен-1,3 (изопрен)

пентадиен-1,2

3-метилбутадиен-1,2

пентадиен-1,3 (*ниперилен*)

пентадиен-1,5

(используют для приготовления искусственной олифы)



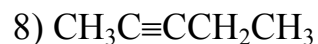
пентин-1

(пропилацетилен)



3-метилбутин-1

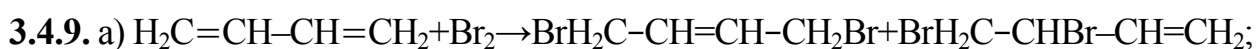
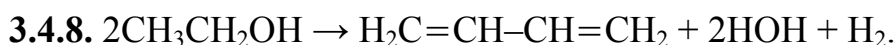
(изопропилацетилен)



пентин-2

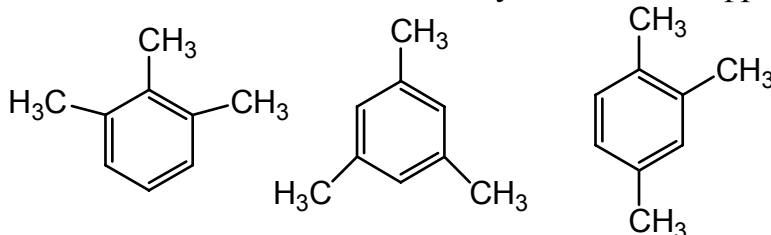
(метилэтилацетилен)

1) бутен-1-ин-3 (7 σ -связей, 3 π -связи); 2) пентин-1-ен-3 (10 σ -связей, 3 π -связи). Когда имеются двойная и тройная связь на равном удалении от начала углеродной цепи, двойная связь — старше и отсчет начинается от нее (пример 1); во втором случае старше тройная связь, т.к. функциональные группы будут иметь меньшие номера.

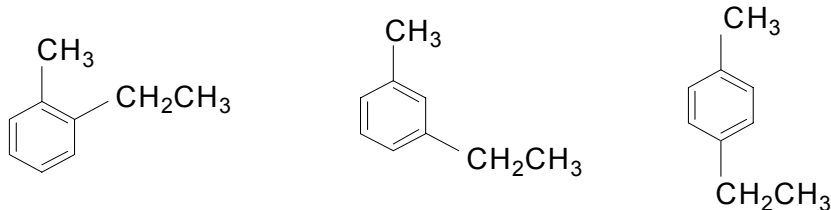
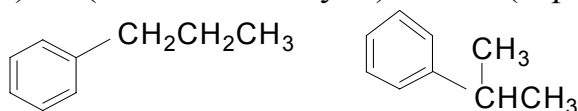


3.5. Арены

3.5.1. Если в бензоле один заместитель, то его можно написать у любого атома С, если 2 заместителя, то могут быть изомеры (*орто*-, *мета*-, *пара*-), если 3 и более – местоположение каждого заместителя указывают цифрами.



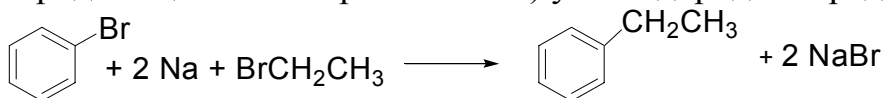
1,2,3-триметилбензол 1,3,5-триметилбензол 1,2,4-триметилбензол

*орто*-метилэтилбензол
(*орто*-этилтолуол)*мета*-метилэтилбензол
(*мета*-этилтолуол)*пара*-метилэтилбензол
(*пара*-этилтолуол)

пропилбензол

изопропилбензол (кумол)

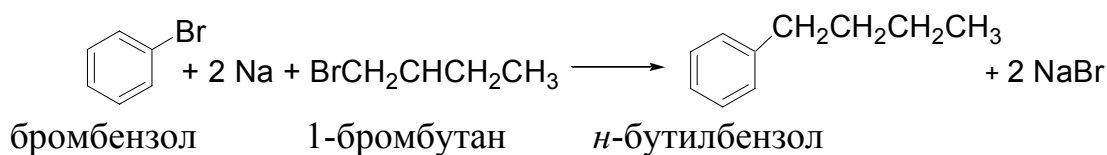
3.5.2. Реакция Вюрца-Фиттига позволяет синтезировать алкилбензолы с *нормальным* (углеродная цепочка не разветвлена) углеводородным радикалом.



Бромбензол

бромэтан

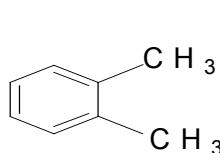
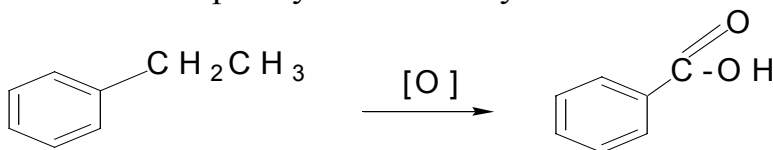
этилбензол



3.5.3.

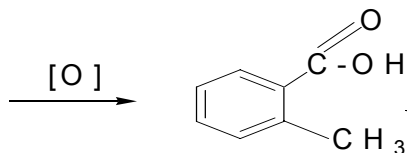
этилбензол

бензойная кислота



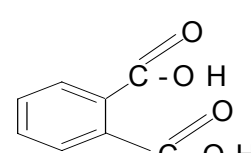
o-диметилбензол

(*o*-ксилол)



o-метилбензойная кислота

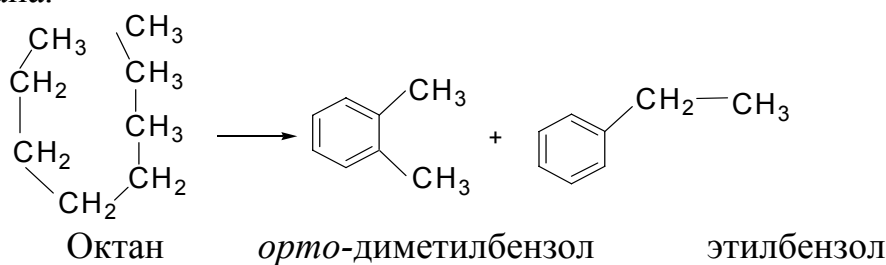
(*o*-толуиловая кислота)



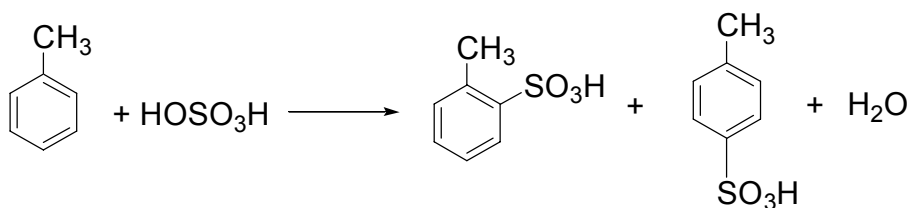
o-бензолдикарбоновая кислота

(фталевая кислота)

3.5.4. В нефти содержатся самые различные углеводороды. При «ароматизации» парафиновых углеводородов из нефти образуются самые различные арены. Это видно на примере *дегидроциклизации* (отщепление водорода и замыкание цикла) октана.

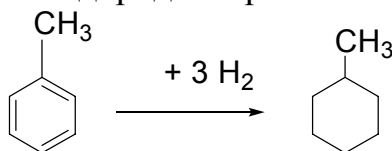


3.5.5.

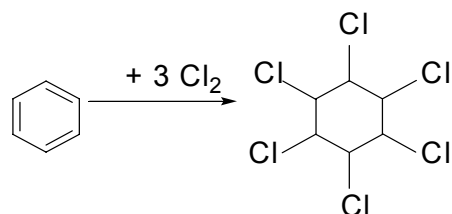


толуол *орто*-толуолсульфо кислота *пара*-толуолсульфо кислота

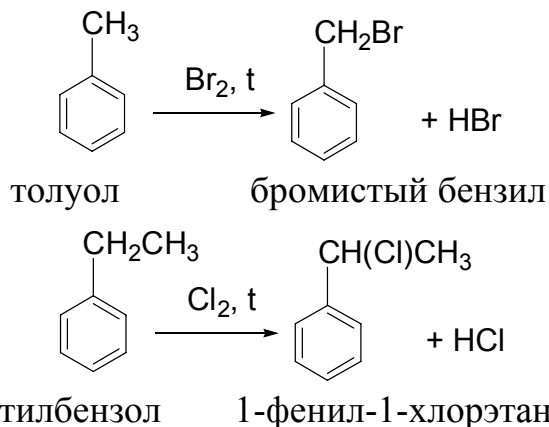
3.5.6. 1) Тoluол присоединяет водород с образованием метилциклогексана:



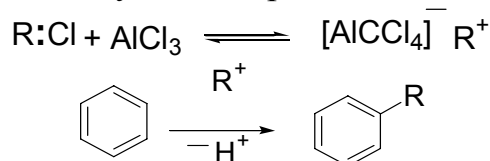
2) Хлорирование бензола на свету приводит к гексахлорциклогексану, который используется для борьбы с вредителями сельскохозяйственных культур под названием *гексахлоран*:



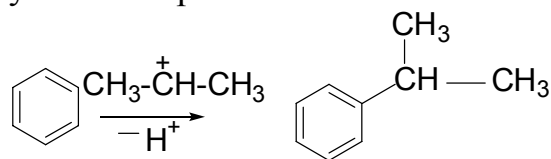
3.5.7. Галогенирование алкилбензолов протекает в боковую цепь (как в алканах; обратите внимание, что в боковой цепи атомы углерода в sp^3 -гибридном состоянии!).



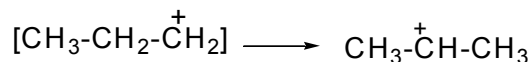
3.5.8. Механизм реакции *Фриделя-Крафтса* включает первоначальное взаимодействие галогенопроизводного углеводорода с катализатором. Образующийся при этом комплекс содержит *карбокатион*, который и выступает в качестве электрофильного реагента, атакующего ароматическое ядро:



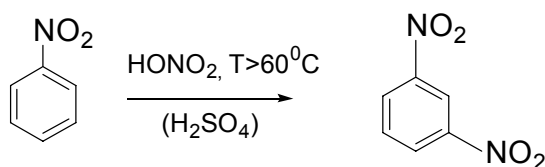
в случае 2-хлорпропана в качестве *карбокатиона* выступает изопропил-катион, в результате чего образуется изопропилбензол



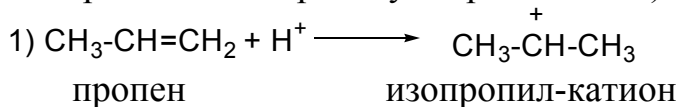
в случае 1-хлорпропана первоначально образуется *пропил-катион*, который тут же *изомеризуется* (перегруппировывается) в более устойчивый *изопропил-катион* и вместо ожидаемого пропилбензола получается *изопропилбензол (кумол)*, как и случае (1)



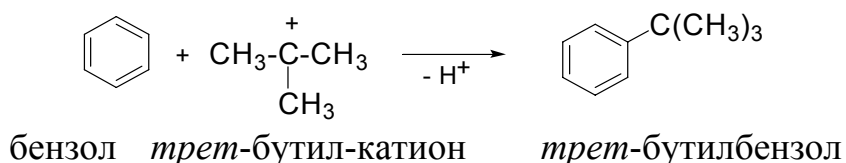
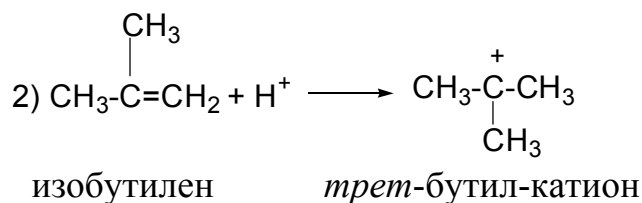
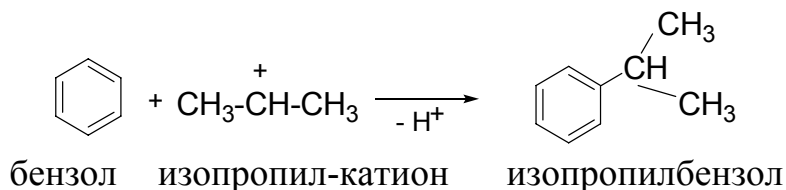
3.5.9. Поскольку электроноакцепторные заместители, к которым относится нитрогруппа (и азот и кислород более электроотрицательны, чем углерод), понижает электронную плотность в ароматическом ядре, следовательно, она затрудняет введение электрофила и температуру реакции следует увеличить. Катион нитрония, выступающий в качестве электрофила (см.3-30), направляется в *мета*-положение и образуется *мета*-динитробензол.



3.5.10. Первоначально катализатор взаимодействует с алкеном, образуя карбокатион (присоединение протона – по правилу Марковникова):



Затем карбокатион взаимодействует с бензолом по типу реакции электрофильного замещения:



Напишем уравнение реакции

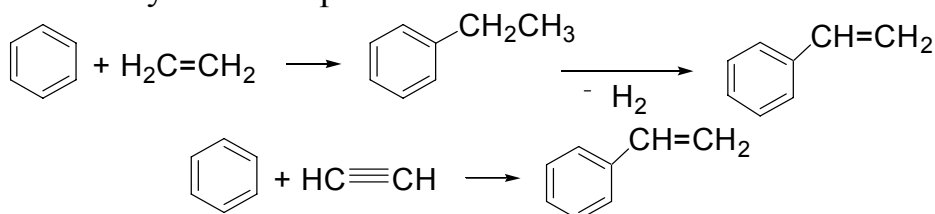


Из уравнения реакции видно, что из 1 моль карбида кальция образуется 1 моль ацетилена (22.4 л). 224 л = 10 моль. Следовательно, необходимо 10 моль CaC₂ или (40 + 24) × 10 = 640 г. Поскольку карбид содержит 20% примесей, для получения необходимого количества ацетилена необходимо взять 640 г × 120% / 100% = 768 г.

3.5.12. Молекулярная масса углеводорода 35 × 2 = 70. Соотношение C : H = 85,7/12 : 14,3/1 = 7,14 : 14,3 = 7,14/7,14 : 14,3/7,14 = 1 : 2. Молекулярная масса CH₂ = 14. Отсюда количество атомов C в соединении 70 : 14 = 5. Следовательно, формулу углеводорода C₅H₁₀. Поскольку соединение не вступает в реакции присоединения – это циклопентан, представитель гомологического ряда насыщенных циклопарафинов C_nH_{2n}.

В стироле 8 σ-связей и 4 π-связи.

Запишем схемы получения стирола:

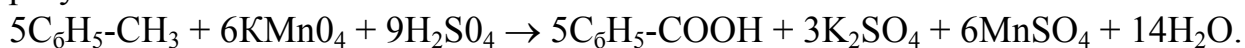


Молярная масса бензола $M = 78$, стирола – 104. Из уравнения реакции видно, что из 1 моль бензола образуется 1 моль стирола. Следовательно, из 1000 кг бензола может получиться $1000 \cdot 104 / 78 = 1333,3$ кг, но поскольку практический выход – 40%, следовательно, реально выделяют $1333,3 \cdot 40 / 100 = 533,3$ кг. Рассуждая аналогично, находим практический выход $1333,3 \cdot 70 / 100 = 933,3$ кг.

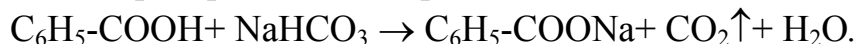
Полистирол относится к *термопластам* (подвергается пластической обработке при нагревании). Это бесцветное прозрачное вещество без запаха и вкуса, не проявляет физиологическое действие. Устойчив к действию воды, кислот, оснований, органических растворителей. Обладает низкой электропроводностью и теплопроводностью. Хрупкий, горючий. Размягчается при 75°C . Свойства могут изменяться при добавлении: других полимеров (например, *сополимеризация* с бутадиеном-1,3), пенообразователей, красителей, пластификаторов (вещества, придающие пластичность).

3.5.14. 1,3,5–триметилбензол.

3.5.15. Решение. Перманганатом калия окисляется только толуол, при этом образуется бензойная кислота:



$\nu(\text{C}_6\text{H}_5\text{-COOH}) = 8,54 / 122 = 0,07$ моль = $\nu(\text{C}_6\text{H}_5\text{-CH}_3)$. При взаимодействии бензойной кислоты с гидрокарбонатом натрия выделяется CO_2 :



$V(\text{CO}_2) = \nu(\text{C}_6\text{H}_5\text{-COOH}) = 0,07$ моль. При сгорании смеси углеводородов образуется $0,07 \cdot 19 = 1,33$ моль CO_2 . Из этого количества при сгорании толуола по уравнению $\text{C}_6\text{H}_5\text{-CH}_3 + 9\text{O}_2 \rightarrow 7\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$

образуется $0,07 \cdot 7 = 0,49$ моль CO_2 . Остальные $1,33 - 0,49 = 0,84$ моль CO_2 образуются при сгорании бензола: $\text{C}_6\text{H}_6 + 7,5\text{O}_2 \rightarrow 6\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$.

$\nu(\text{C}_6\text{H}_6) = 0,84 / 6 = 0,14$ моль. Массы веществ в смеси равны:

$$m(\text{C}_6\text{H}_6) = 0,14 \cdot 78 = 10,92 \text{ г}, \quad m(\text{C}_6\text{H}_5\text{-CH}_3) = 0,07 \cdot 92 = 6,48 \text{ г},$$

Ответ. 10,92 г бензола, 6,48 г толуола.

3.5.16. Решение. При пропускании ацетилен над углем при 650°C (Сакт., р) образуется бензол (углеводород А). Это известная реакция *тримеризации ацетилен*:



Этот вывод подтверждает следующее условие задачи: бензол бромруется в присутствии катализаторов – *кислот Льюиса*, к которым относится FeBr_3 . Бензол гидрируется в присутствии катализаторов гидрирования (Ni) и превращается в циклогексан: $\text{C}_6\text{H}_6 + 3\text{H}_2 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}$ (2)

По реакции (1) видно: число молей бензола составляет $1/3$ от числа молей ацетилен: $\nu(\text{C}_6\text{H}_6) = 33,6 / 22,4 \cdot 3 = 0,5$ моль.

Это число молей бензола при 100% выходе (теоретический выход).

По реакции (2) видно, что число молей гидрируемого бензола также составляет $1/3$ от числа молей водорода, расходуемого на гидрирование:

$$\nu\text{H}_2 = 8,4 / 22,4 \cdot 3 = 0,125 \text{ моль}$$

Выход в % от теоретического можно подсчитать по числу молей:

$$\omega = 0,125 \cdot 100 / 0,5 = 25\%$$

Ответ. Бензол; 25%.

3.6. Галогенопроизводные углеводородов

3.6.1. а) $\text{CH}_3\text{CH}(\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{CH}_3 + \text{Br}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{C}(\text{Br})(\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{CH}_3 + \text{HBr}$ (2-бромометилбутан);

б) $\text{CH}_2=\text{CHCH}_3 + \text{Br}_2 \rightarrow \text{CH}_2\text{Br}-\text{CHBrCH}_3$ (1,2-дибромопропан);

в) $\text{HClC}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 + 2\text{Br}_2 \rightarrow \text{CHBr}_2-\text{CBr}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ (1,1,2,2-тетрабромобутан);

г) $\text{C}_6\text{H}_6 + \text{Br}_2 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{Br} + \text{HBr}$ (бромобензол)

д) $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3 + \text{Br}_2 \rightarrow \text{H}_3\text{C}-\text{C}_6\text{H}_5-\text{Br} + \text{HBr}$ (*орто*- и *пара*-бромотолуол)

3.6.2. а) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Br} + \text{KOH} (\text{HOH}) \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + \text{KBr}$ (этанол);

б) $\text{CH}_3\text{C}(\text{CH}_3)(\text{Cl})\text{CH}_2\text{CH}_3 + \text{KOH} (\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) \rightarrow \text{CH}_3\text{C}(\text{CH}_3)=\text{CHCH}_3 + \text{KCl} + \text{HOH}$
2-метилбутен-2

в) $\text{CH}_3\text{CH}(\text{I})\text{CH}_3 + \text{NaNH}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}(\text{NH}_2)\text{CH}_3 + \text{NaI}$ (2-аминопропан)

г) $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{Cl} + \text{NaOC}(\text{O})\text{CH}_3 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{OC}(\text{O})\text{CH}_3 + \text{NaCl}$ (бензилацетат)

3.6.3. $\text{ClCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ – 1-хлоробутан, *первичный*;

$\text{CH}_3\text{CH}(\text{Cl})\text{CH}_2\text{CH}_3$ – 2-хлоробутан, *вторичный*;

$\text{ClCH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)\text{CH}_3$ – 2-метил-1-хлоробутан, *первичный*;

$\text{CH}_3\text{C}(\text{Cl})(\text{CH}_3)\text{CH}_3$ – 2-метил-2-хлоробутан, *третичный*.

3.6.4. 2-метил-2-бромопентан.

3.6.5. а) $\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_3 + \text{Br}_2 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_2\text{Br} + \text{HBr}$;

Мтолуола 92, Мброма 160, Мбензилбромида 171. Для расчетов надо найти реагент, которого меньше. Брома $8/160 = 0,05$ моль, толуола $9,2/92 = 0,1$ моль. Расчет следует вести по бромю. Из уравнения реакции (при условии реагирования всего брома) образуется $171 \cdot 0,05 = 8,55$ г бензилбромида;

б) $\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_3 + \text{Br}_2 \rightarrow \text{орто-Br-C}_6\text{H}_4-\text{CH}_3 + \text{пара-Br-C}_6\text{H}_4-\text{CH}_3 + \text{HBr}$;

поскольку образующиеся *орто*- и *пара*-бромотолуол изомеры бензилбромида, их суммарный выход тот же – 8,55 г .

3.6.6. $\text{CH}_3-\text{I} > \text{CH}_3-\text{Br} > \text{CH}_3-\text{Cl}$; реакционная способность связана с прочностью связи С-галоген.

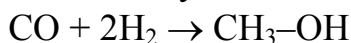
3.6.7. а) этанол, б) диэтиловый эфир, в) аминоэтан, г) нитроэтан.

3.7. Спирты и фенолы

3.7.1. CH_3OH – метанол (метиловый спирт); $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ – этанол (этиловый спирт); $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ – пропанол-1 (пропиловый спирт); $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$ – пропанол-2 (*изопропиловый* спирт); $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ – бутанол-1 (бутиловый спирт); $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{CH}_3$ – бутанол-2 (*вторичный-бутиловый* спирт); $(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{OH}$ – 2-метилпропанол-1 (*изобутиловый* спирт); $(\text{CH}_3)_3\text{COH}$ – 2-метилпропанол-2 (*третичный-бутиловый* спирт). (Здесь между атомами углерода связи – черточки – не указаны).

3.7.2. $\text{O}_2\text{N}-\text{OCH}_2-\text{CHO}(\text{NO}_2)-\text{CH}_2\text{ONO}_2$ – тринитрат глицерина – сложный эфир.

3.7.3. Составим уравнение реакции получения метанола из «синтез-газа»:



Как видно из схемы, для получения 1 моль метанола необходимо 1 моль СО (22,4 л) и 2 моль Н₂ (22,4*2 = 44,8 л). Находим молекулярную массу 1 моль метанола $M_r = 12*1 + 1*4 + 16*1 = 32$ (г).

Следовательно, для получения 320 г метанола надо взять 224 л СО и 448 л Н₂ (при условии, что прореагировали все реагенты и выход целевого соединения составил 100%).

3.7.4. $C_6H_5CH_2OH + O_2$ (катализ – оксидом металла) $\rightarrow C_6H_5CH=O + H_2O$ (бензальдегид).

3.7.5. $CH_3-C(CH_3)(OH)-CH_2-CH_3 \rightarrow CH_3-C(CH_3)=CH-CH_3 + H_2O$ (2-метилбутен-2).

3.7.6. а) $H_2C=CH-CH_2-OH$ – перв., б) $HC\equiv C-CH_2-OH$ – перв., в) CH_3-OH , г) CH_3CH_2-OH – перв., д) $HO-CH_2-CH_2-OH$, е) $HO-CH_2-CH(OH)-CH_2-OH$, ж) $H_3C-C(CH_3)(OH)-CH_3$ – трет., з) $C_6H_5CH_2-OH$ – перв., и) $C_6H_5CH(OH)-CH_3$ – втор., к) $CH_3-CH(OH)-CH_3$ – втор.

3.7.7. Получите следующие спирты двумя способами – из галогенопроизводного и алкена: а) $C_2H_5Br + NaOH$ (НОН) $\rightarrow C_2H_5OH + NaBr$;

$H_2C=CH_2 + HON$ (H⁺) $\rightarrow C_2H_5OH$,

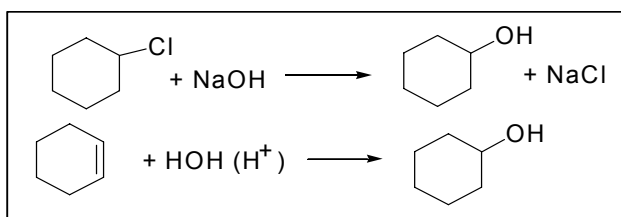
б) $CH_3CBr(CH_3)CH_3 + HON \rightarrow CH_3C(OH)(CH_3)CH_3 + HBr$,

$CH_2=C(CH_3)CH_3 + HON$ (H⁺) $\rightarrow CH_3C(OH)(CH_3)CH_3$

в) $CH_3CHBrCH_3 + HON$ (NaOH) $\rightarrow CH_3CH(OH)CH_3 + NaBr$,

$CH_2=CHCH_3 + HON$ (H⁺) $\rightarrow CH_3CH(OH)CH_3$

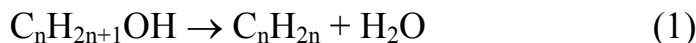
г)



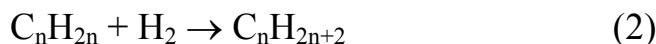
3.7.8. $2C_nH_{2n}-OH + 2Na \rightarrow 2C_nH_{2n}-ONa + H_2$; найдем сколько моль Н₂ выделилось в результате реакции $1,68 \text{ л} / 22,4 \text{ л} = 0,05$ моль. Из уравнения видно, что спирта потребуется в 2 раза больше, т.е. 0,15 моль. Находим молекулярную массу спирта $9 \text{ г} / 0,15 = 60 \text{ г}$. Следовательно, спирт C_3H_7OH – изопропиловый, поскольку в условии указано, что он вторичный.

3.7.9. а) диэтиловый эфир, б) этилен.

3.7.10. Решение. При нагревании спиртов с концентрированной серной кислотой образуются алкены:



Алкены могут присоединять водород (реакция гидрирования) в присутствии катализаторов (Ni):



По реакции (2) число молей водорода равно числу молей алкена. Определим число молей алкена: $\nu C_nH_{2n} = \nu H_2 = 8,96 / 22,4 = 0,4$ моль

Определим число молей спирта с учётом выхода углеводорода. Для получения 0,4 моль алкена необходимо взять большее число молей спирта, т.к. в этом про-

цессе не весь спирт переходит в алкен, а только 80%, или 0,8 от исходного числа молей. С учётом выхода: $\nu \text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{OH} = \nu \text{H}_2 / 0,8 = 0,4 / 0,8 = 0,5$ моль.

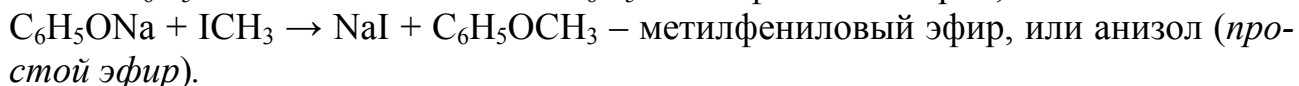
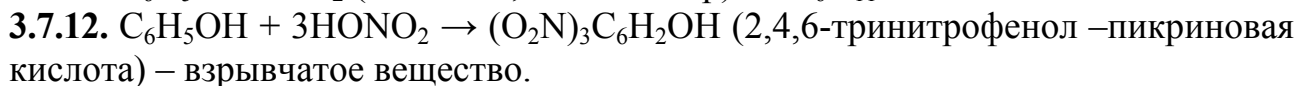
Теперь определим молярную массу спирта:

$$M(\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{OH}) = m(\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{OH}) / \nu(\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{OH}) = 28,75 * 0,8 / 0,5 = 46 \text{ г/моль}$$

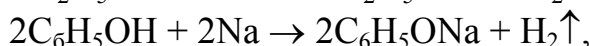
Находим число атомов углерода в спирте:

$$M(\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{OH}) = 12n + 2n + 1 + 17 = 14n + 18 = 46 \text{ г/моль, откуда } n = 2$$

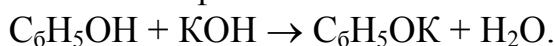
Ответ: этанол, $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$.



3.7.14. Решение. С натрием реагируют и этанол, и фенол:



а с гидроксидом калия — только фенол:



$$\nu(\text{KOH}) = 25 * 1,4 * 0,4 / 56 = 0,25 \text{ моль} = \nu(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}).$$

Из 0,25 моль фенола в реакции с натрием выделилось $0,25/2 = 0,125$ моль H_2 , а всего выделилось $6,72/22,4 = 0,3$ моль H_2 . Оставшиеся $0,3 - 0,125 = 0,175$ моль H_2 выделились из этанола, которого израсходовано $0,175 * 2 = 0,35$ моль. Массы веществ в исходной смеси:

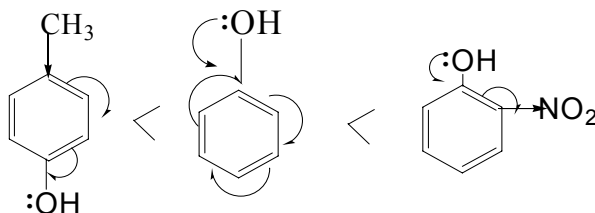
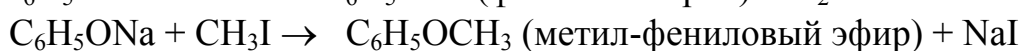
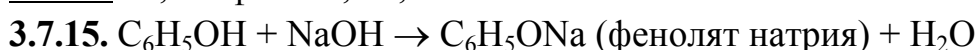
$$m(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) = 0,25 * 94 = 23,5 \text{ г}, (\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 0,35 * 46 = 16,1 \text{ г}.$$

Массовые доли:

$$\omega(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) = \frac{23,5}{23,5+16,1} = 0,593,$$

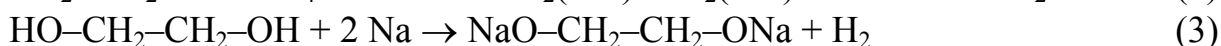
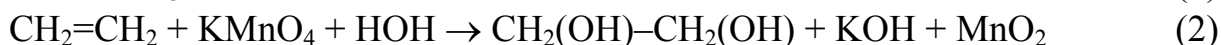
$$\text{или } 59,3\%, \omega(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = \frac{16,1}{23,5+16,1} = 0,407, \text{ или } 40,7\%.$$

Ответ. 59,3% фенола, 40,7% этанола.



3.7.16.

В приведенном ряду кислотные свойства увеличиваются (нитро-группа – электроноакцептор).

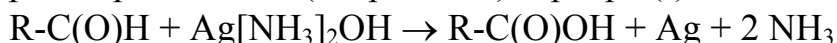


Получен этандиол-1,2 (этиленгликоль). Вычислим количество водорода, выделяющегося при реакции с избытком натрия – $35,84/22,4 \text{ л} = 1,6$ моль. Такое же

количество этиленгликоля (уравнение 3) вступило в реакцию с натрием. Поскольку выход на каждой стадии 80 %, этилена на образование этиленгликоля ушло $1,6 \cdot 100 / 80 = 2$ моль (уравнение 2). Количество этанола, из которого получали этилен, составляет $2 \cdot 100 / 80 = 2,5$ моль ($46 \text{ г} \cdot 2,5 = 115 \text{ г}$).

3.8. Карбонильные производные

3.8.1. Реакция «серебряного зеркала» – взаимодействие альдегида с аммиачным раствором оксида (гидроксида) серебра (I)

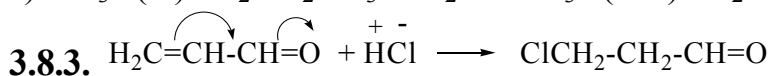


3.8.2. а) $HC(O)H + H_2 \rightarrow CH_3-OH$ метанол

б) $CH_3CH_2C(O)H + H_2 \rightarrow CH_3CH_2CH_2OH$ пропанол-1

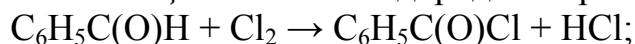
в) $C_6H_5-C(O)-CH_3 + H_2 \rightarrow C_6H_5-CH(OH)-CH_3$ 1-фенилэтанол

г) $CH_3C(O)CH_2CH_2CH_3 + H_2 \rightarrow CH_3C(OH)CH_2CH_2CH_3$ пентанол-2



Реакция протекает против *правила Марковникова*, поскольку карбонильная группа – электроноакцептор и способствует смещению электронной плотности на атом кислорода (см. направление стрелок).

3.8.4. а) хлористый бензоил (хлорангидрид бензойной кислоты) образуется в условиях *радикального замещения* атома водорода в карбонильной группе



б) в условиях *электрофильного замещения* (катализатор $FeCl_3$) карбонильная группа выступает как электроноакцепторный заместитель и направляет электрофил в *мета*-положение (напишите *самостоятельно*).

3.8.5. $CH_3CH_2CH=O + Br_2 \rightarrow CH_3CHBrCH=O + HBr$ (2-бромопропаналь).

3.8.6. а) $CH_3CH=O$, б) $H-CH=O$, в) $C_6H_5-CH=O$, г) $H_2C=CH-CH=O$, д) $(CH_3)_2C=O$, е) $CH_3C(=O)CH_2CH_2CH_3$, ж) $C_6H_5-C(=O)CH_3$.

3.8.7. $CH_3CH_2CH_2-OH + [O] \rightarrow CH_3CH_2CH=O + HOH$;

$CH_3CH_2CH(OH)CH_3 + [O] \rightarrow CH_3C(=O)CH_2CH_3$.

3.8.8. $CH_3CH_2CH=O + PCl_5 \rightarrow POCl_3 + CH_3CH_2CHCl_2$;

$CH_3CH_2CHCl_2 + 2KOH (C_2H_5OH) \rightarrow CH_3C \equiv CH + 2KCl + 2HOH$.

3.8.9. $CH_3CH_2CH_2CH=O + [H] \rightarrow CH_3CH_2CH_2CH_2OH$ – бутанол-1;

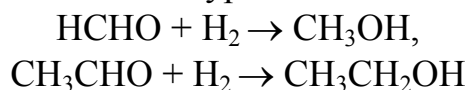
$CH_3C(=O)CH_2CH_3 + [H] \rightarrow CH_3C(=O)CH_2CH_3$ – бутанол-2.

3.8.10. $CH_3CH=O + Ag_2O(NH_3, H_2O) \rightarrow CH_3CH(=O)OH$ (уксусная кислота) + $2Ag \downarrow$

3.8.11. Решение. Для нахождения каждого из составляющих смеси необходимо решить задачу с двумя неизвестными. Для этого составляется система уравнений, содержащих одни и те же переменные. Пусть в смеси находилось x моль $HCHO$ ($M = 30$ г/моль) и y моль CH_3CHO ($M = 44$ г/моль), тогда можно выразить массу смеси:

$30x + 44y = 17,8$ г. Это будет первое уравнение системы.

Для полного гидрирования смеси по уравнениям

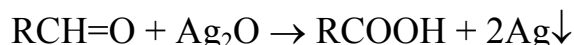


требуется $(x+y)$ моль водорода, или $11,2/22,4 = 0,5$ моль. Значит, второе уравнение для системы будет: $(x+y) = 0,5$

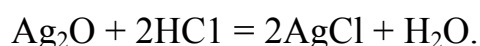
Решая систему двух уравнений для x и y , находим: $x = 0,3$, $y = 0,2$. Массовые доли альдегидов в смеси равны: $\omega(\text{HCHO}) = 0,3 \cdot 30 / 17,8 = 0,506$, или 50,6%, $\omega(\text{CH}_3\text{CHO}) = 0,2 \cdot 44 / 17,8 = 0,494$, или 49,4%.

Ответ. 50,6% муравьиного альдегида, 49,4% уксусного альдегида.

3.8.12. Решение. С оксидом серебра в аммиачном растворе реагирует только альдегид:



Непрореагировавший Ag_2O перевели в AgCl действием избытка соляной кислоты:



$\nu(\text{AgCl}) = 2,87 / 143,5 = 0,02$ моль. В эту реакцию вступило $0,02 / 2 = 0,01$ моль Ag_2O , а всего было $5,8 / 232 = 0,025$ моль Ag_2O ; следовательно, в реакцию с альдегидом вступило $0,025 - 0,01 = 0,015$ моль Ag_2O . $\nu(\text{RCH=O}) = \nu(\text{Ag}_2\text{O}) = 0,015$ моль. Пропанола-1 в смеси было в 3 раза меньше, чем альдегида:

$\nu(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}) = 0,015 / 3 = 0,005$ моль. Масса пропанола-1 равна $0,005 \cdot 60 = 0,3$ г, а общая масса смеси – 1,17 г, следовательно, масса альдегида равна $1,17 - 0,3 = 0,87$ г. Молярная масса альдегида: $M(\text{RCH=O}) = 0,87 / 0,015 = 58$ г/моль, что соответствует уксусному альдегиду $\text{CH}_3\text{-CH=O}$.

Ответ. Уксусный альдегид, $\text{CH}_3\text{-CH=O}$.

3.8.13. Решение. При гидрировании этанала образуется этанол:



Пусть в исходной смеси содержалось x моль этанала, $\nu(\text{CH}_3\text{CHO}) = x$, тогда, по условию, $\nu(\text{H}_2) = 2x$. Общее число молей газов равно $\nu_1 = 3x$.

Реакция этанала с водородом обратима. Пусть в эту реакцию вступает y моль CH_3CHO , тогда водорода расходуется также y моль, и образуется y моль $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$. В конечной смеси содержатся: $\nu(\text{CH}_3\text{CHO}) = x - y$, $\nu(\text{H}_2) = 2x - y$, $\nu(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = y$. Общее число молей газов равно $\nu_2 = (x - y) + (2x - y) + y = 3x - y$.

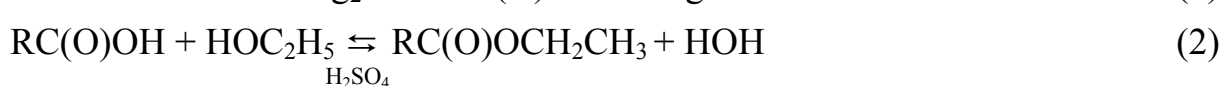
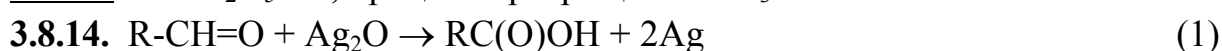
По условию, давление в конечной смеси уменьшилось на 20% по сравнению с исходным. Поскольку температура в процессе реакции не изменяется, и объем реактора постоянен, то уменьшение давления вызвано только уменьшением числа молей газов.

Таким образом, $\nu_2 = 0,8 \cdot \nu_1$, или $3x - y = 0,8 \cdot 3x$, то есть $y = 0,6x$.

По закону Авогадро, объемная доля газа равна его мольной доле, поэтому объемная доля паров этанола равна: $\varphi(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = y / (3x - y) = 0,25$ или 25%.

Процент превращения уксусного альдегида в этанол (т.е., практический выход этанола) равен $y/x = 0,6$, или 60%.

Ответ. 25% $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, процент превращения CH_3CHO – 60%.



Выделяющийся осадок (10,8 г) составляет 0,1 моль серебра (уравнение 1). Кислоты (уравнение 1) образовалось 0,05 моль. По условию задачи (уравнение 2) из 0,05 моль кислоты образуется 2,2 г эфира, что составляет 0,025 моль, поскольку выход 50%. Находим молекулярную массу эфира $RC(O)OCH_2CH_3$ $2,2/0,025 = 88$ г. Поскольку масса $C(O)OC_2H_5$ составляет 73, найдем массу $R = 88 - 73 = 15$; т.е. $R = CH_3$ и альдегид – этаналь (уксусный).

3.9. Карбоксильные производные

3.9.1. $H-C(O)OH$ – метановая (муравьиная) кислота; $CH_3-C(O)OH$ – этановая (уксусная) кислота; $CH_3-CH_2-C(O)OH$ – пропановая (пропионовая) кислота; $CH_3-CH_2-CH_2-C(O)OH$ – бутановая (масляная) кислота; $CH_3-CH(CH_3)-C(O)OH$ – 2-метилпропановая (изомасляная) кислота; $CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-C(O)OH$ – пентановая (валерьяновая) кислота; $CH_3-CH_2-CH(CH_3)-C(O)OH$ – 2-метилбутановая; $CH_3-CH(CH_3)-CH_2-C(O)OH$ – 3-метилбутановая; $CH_3-C(CH_3)_2-C(O)OH$ – 2.2-диметилпропановая. (Здесь между атомами углерода связи – черточки – указаны).

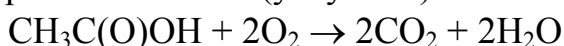
3.9.2. $C_{15}H_{31}C(O)OH$ – пальмитиновая кислота; $C_{17}H_{35}C(O)OH$ – стеариновая кислота.

3.9.3. $CH_3-(CH_2)_7-CH=CH-(CH_2)_7-C(O)OH$.

3.9.4. Поскольку в олеиновой кислоте имеется двойная связь, она легко присоединяет молекулу брома с образованием 9,10-дибромостеариновой кислоты. (Попытайтесь записать эту реакцию).

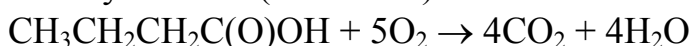
3.9.5. а) $H-C(O)-OCH_3$; б) $H-C(O)-OCH_2CH_3$; в) $CH_3-C(O)-OCH_3$; г) $CH_3-C(O)-OCH_2CH_3$.

3.9.6. а) Уравнение горения этановой (уксусной) кислоты:



При сгорании 1 моль уксусной кислоты образуется 2 моль CO_2 и 2 моль H_2O .

б) Уравнение горения бутановой (масляной) кислоты:



При сгорании 1 моль уксусной кислоты образуется 4 моль CO_2 и 4 моль H_2O .

в) Уравнение горения бутандиовой (янтарной) кислоты:



При сгорании 1 моль уксусной кислоты образуется 4 моль CO_2 и 3 моль H_2O .

3.9.7.

Соединение	Класс (общая формула)	Название	Функциональная группа	Изомеры	Гомологи
CH_3CH_2OH	Спирт, $R-O-H$ $C_nH_{2n+1}OH$	Этанол, этиловый спирт	$-OH$	CH_3OCH_3	$CH_3CH(OH)CH_3$ $CH_3(CH_2)_3OH$
CH_3OCH_3	Простой эфир $R-O-R$ $C_nH_{2n+1}OC_nH_{2n+1}$	Диметиловый эфир	$-O-$	CH_3CH_2OH	$CH_3OCH_2CH_3$ $CH_3CH_2OCH_2CH_3$

<u>Соединение</u>	<u>Класс (общая формула)</u>	<u>Название</u>	<u>Функциональная группа</u>	<u>Изомеры</u>	<u>Гомологи</u>
$\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{OC}$ H_3	Сложный эфир RCOOR $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{C}(\text{O})\text{OC}_n\text{H}_{2n+1}$	Метил-ацетат	$-\text{C}(\text{O})\text{O}-$	$\text{H}(\text{O})\text{COC}_2\text{H}_5$ $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COO}$ H	—
$\text{H}(\text{O})\text{COC}_2\text{H}_5$	Сложный эфир RCOOR $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{C}(\text{O})\text{OC}_n\text{H}_{2n+1}$	Этил-формиат	$-\text{C}(\text{O})\text{O}-$	$\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{OCH}$ $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COO}$ H	—
$\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{C}$ H_3	Спирт, R-O-H $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{OH}$	Пропанол-1, изопропиловый	$-\text{OH}$	$\text{CH}_3\text{OCH}_2\text{CH}_3$	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{OH}$
$\text{CH}_3\text{OCH}_2\text{CH}$ H_3	Простой эфир R-O-R $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{OC}_n\text{H}_{2n+1}$	Метил-этиловый эфир	$-\text{O}-$	$\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{C}$ H_3	CH_3OCH_3 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{C}$ H_3
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COO}$ H	Кислота RCOOH $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{COOH}$	Пропановая (пропионовая) кислота	$-\text{C}(\text{O})\text{OH}$	$\text{H}(\text{O})\text{COC}_2\text{H}_5$	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CO}$ OH
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CO}$ OH	Кислота RCOOH $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{COOH}$	Бутановая (масляная) кислота	$-\text{C}(\text{O})\text{OH}$	—	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$
$\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{O}$ H	Спирт двухатомный HO-R-OH $\text{C}_n\text{H}_{2n}(\text{OH})_2$	Этандиол-1,2 или (этиленгликоль)	$-\text{OH}$	—	$\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2$ OH
$\text{HO}(\text{CH}_2)_3\text{OH}$	Спирт двухатомный HO-R-OH $\text{C}_n\text{H}_{2n}(\text{OH})_2$	Пропандиол-1,3 (триметиленгликоль)	$-\text{OH}$	—	$\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{O}$ H	Спирт, R-O-H $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{OH}$	Бутанол-1 (бутиловый)	$-\text{OH}$	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OCH}_2$ CH_3	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{C}$ H_3
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5$	Простой эфир R-O-R $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{OC}_n\text{H}_{2n+1}$	Диэтиловый эфир	$-\text{O}-$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{OH}$	CH_3OCH_3 $\text{CH}_3\text{OCH}_2\text{CH}_3$

3.9.8. а) $\text{HC}(\text{O})\text{OH}$, б) $\text{H}_3\text{C}-\text{C}(\text{O})\text{OH}$, в) $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}(\text{O})\text{OH}$,

г) $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{C}(\text{O})\text{OH}$, д) $\text{HC}\equiv\text{C}-\text{C}(\text{O})\text{OH}$, е) $\text{C}_6\text{H}_5-\text{C}(\text{O})\text{OH}$, ж) $\text{HO}(\text{O})\text{C}-\text{C}(\text{O})\text{OH}$, з) $\text{HO}(\text{O})\text{C}-(\text{CH}_2)_4-\text{C}(\text{O})\text{OH}$, и) $\text{HO}(\text{O})\text{C}-(\text{CH}_2)_2-\text{C}(\text{O})\text{OH}$, к) *орто*- $\text{HO}(\text{O})\text{C}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}(\text{O})\text{OH}$, л) *пара*- $\text{HO}(\text{O})\text{C}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}(\text{O})\text{OH}$, м) $\text{H}_3\text{C}-(\text{CH}_2)_{16}-\text{C}(\text{O})\text{OH}$, н) $\text{H}_3\text{C}(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7-\text{C}(\text{O})\text{OH}$, о) $\text{H}_3\text{C}-(\text{CH}_2)_{14}-\text{C}(\text{O})\text{OH}$.

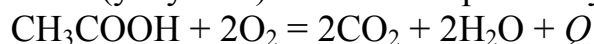
3.9.9. а) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{C}(\text{O})\text{ONH}_4$ пропионово-кислый аммоний (пропионат аммония)

б) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{C}(\text{O})\text{N}(\text{CH}_3)_2$ диметиламид пропионовой кислоты

в) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{C}(\text{O})\text{OCH}_2\text{C}_6\text{H}_5$ бензилпропионат (сложный эфир)

г) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{C}(\text{O})\text{Cl}$ хлористый пропионил (хлорангидрид)

3.9.10. Решение. Этановая (уксусная) кислота сгорает по уравнению



По закону Гесса,

$$Q = 2Q_{\text{обр}}(\text{CO}_2) + 2Q_{\text{обр}}(\text{H}_2\text{O}) - Q_{\text{обр}}(\text{CH}_3\text{COOH}) = 2 \cdot 393,5 + 2 \cdot 241,8 - 484,2 = 786,4 \text{ кДж/моль.}$$

При сгорании одного моля уксусной кислоты выделяется 786,4 кДж, а по условию выделилось 235,9 кДж, следовательно, в реакцию вступило $235,9/786,4 = 0,3$ моль уксусной кислоты. Таким образом, 0,3 моль CH_3COOH реагируют с 0,6 моль O_2 , и в избытке остается $\nu = PV/RT = 104,1 \cdot 10,0 / (8,31 \cdot 313) = 0,4$ моль O_2 . В исходной смеси содержалось 0,3 моль CH_3COOH (массой $0,3 \cdot 60 = 18$ г) и 1 моль O_2 (массой 32 г). Массовые доли веществ в исходной смеси равны:

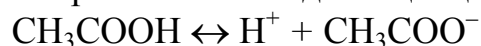
$$\omega(\text{CH}_3\text{COOH}) = 18 / (18 + 32) = 0,36, \text{ или } 36\%,$$

$$\omega(\text{O}_2) = 32 / (18 + 32) = 0,64, \text{ или } 64\%.$$

Ответ. 36% CH_3COOH , 64% O_2 .

3.9.11. Решение.

1. Запишем уравнение электролитической диссоциации уксусной кислоты:



По этому уравнению видно, что концентрации диссоциированной части уксусной кислоты $C(\text{H}^+) = C(\text{CH}_3\text{COO}^-)$. Степень диссоциации α показывает, какая часть от общей концентрации исходного электролита продиссоциировала, и обычно выражается в долях единицы (максимальная степень диссоциации равна 1 при 100%-ной диссоциации). В нашем случае $\alpha = 1,3\%$, или 0,013. Следовательно, концентрация диссоциированной части равна $C_o \cdot \alpha$, где C_o – исходная концентрация уксусной кислоты, в нашем случае 0,1 (моль/л).

2. Находим молярные равновесные концентрации ионов:

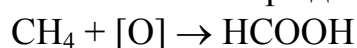
$$C(\text{H}^+) = C(\text{CH}_3\text{COO}^-) = C_o \cdot \alpha = 0,1 \cdot 0,013 = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ (моль/л)}$$

3. Находим массу водорода количеством вещества $1,3 \cdot 10^{-3}$ моль в 1 л раствора: $m(\text{H}) = M(\text{H}^+) \cdot \nu(\text{H}^+) = 1 \text{ г/моль} \cdot 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ моль} = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ г.}$

Ответ. $1,3 \cdot 10^{-3} \text{ г.}$

3.9.12. Решение. Найдем объём метана в 420 л природного газа: $420 \cdot 0,96 = 403,2 \text{ л.}$

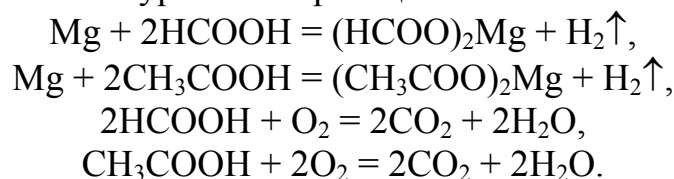
Метан окисляется в присутствии катализатора до муравьиной кислоты :



Из уравнения видно, что $\nu\text{CH}_4 = \nu\text{HCOOH} = 403,2/22,4 = 18$ моль. Поскольку выход кислоты составляет 70%, реально получилось $18 \cdot 0,7 = 12,6$ моль кислоты. Масса выделившейся кислоты ($M = 46$ г/моль) равна: $12,6 \cdot 46 = 579,6$ г.

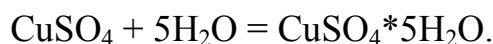
Ответ. 579,6 г.

3.9.13. Решение. Запишем уравнения реакций:



Поскольку в задаче требуется найти состав смеси, задача сводится к уравнениям с двумя неизвестными. Пусть в растворе было x моль HCOOH и y моль CH_3COOH , тогда в реакции с кислотами вступило $x/2 + y/2$ моль Mg : $x/2 + y/2 = 0,77/24 = 0,032$. Первое уравнение для системы будет: $x/2 + y/2 = 0,032$

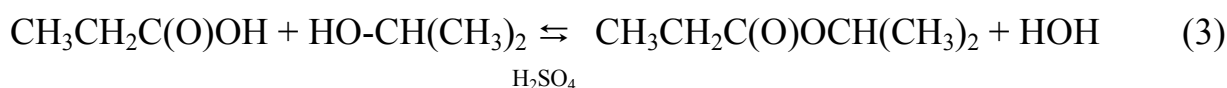
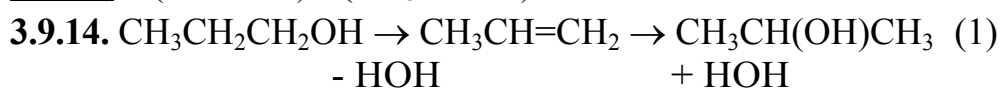
В реакциях сгорания образовалось $x+2y$ моль воды, которая поглотилась безводным CuSO_4 :



Число молей воды равно: $x+2y = 1,8/18 = 0,1$. Второе уравнение для системы: $x+2y = 0,1$

Решая систему двух уравнений для x и y , находим: $x = 0,028$, $y = 0,036$. Молярное соотношение кислот в растворе равно: $\nu(\text{HCOOH}) : \nu(\text{CH}_3\text{COOH}) = x : y = 0,028 : 0,036 = 7 : 9$.

Ответ. $\nu(\text{HCOOH}) : \nu(\text{CH}_3\text{COOH}) = 7 : 9$.

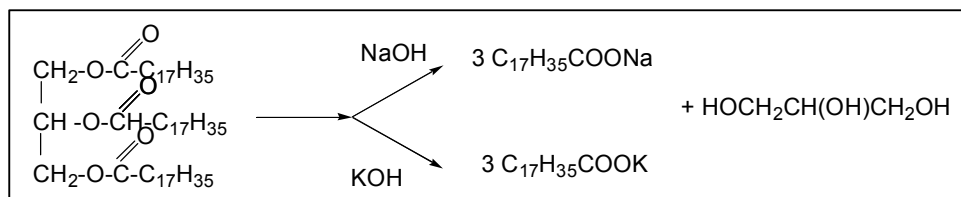


Для синтеза пропионовой кислоты и пропанола-2 взяли по 30 г (0,5 моль) пропанола-1 ($M = 60$). Поскольку выход 80 %, пропионовой кислоты (уравнение 2) получили $0,5 \cdot 80/100 = 0,4$ моль. Пропанол-2 синтезировали в 2 стадии (уравнение 1). Пропилен (выход 80 %) получен в количестве $0,5 \cdot 80/100 = 0,4$ моль, а изопропиловый спирт – $0,4 \cdot 80/100 = 0,32$ моль. Из 0,32 моль спирта и 0,4 моль кислоты с выходом 80 % (уравнение 3) получили (расчет ведут по реагенту, которого меньше) $0,32 \cdot 80/100 = 0,256$ моль (29,7 г) изопропилпропионата ($M = 116$).

3.10. Жиры

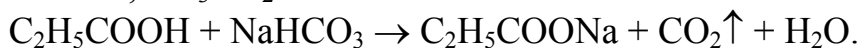
3.10.1. Реакцию гидрирования (гидрогенизации) – подействовать водородом (при нагревании, давлении, в присутствии катализатора).

3.10.2.



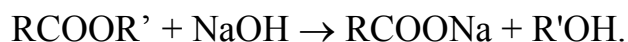
3.10.3. В состав *твёрдых жиров* входят насыщенные (предельные) кислоты $\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COOH}$ – стеариновая (октадекановая) кислота, $\text{C}_{15}\text{H}_{31}\text{COOH}$ – пальмитиновая (гексадекановая) кислота. В состав *жидких жиров* входят ненасыщенные (непредельные) кислоты $\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH}$ – олеиновая (октадеценевая) кислота, $\text{C}_{17}\text{H}_{29}\text{COOH}$ – линолевая (октадекадиеновая) кислота. (Обратите внимание, что в названии углеводородного радикала олеиновой кислоты говорят не **декен**, а **децен**).

3.10.4. Решение. Известно, что оксид углерода (IV) выделяется при взаимодействии карбоната натрия с кислотой. Кислота состава $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$ может быть только одна – пропионовая, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$.



По условию, выделилось 22,4 л CO_2 , что составляет 1 моль, значит кислоты в смеси также было 1 моль. Молярная масса исходных органических соединений равна: $M(\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2) = 74$ г/моль, следовательно, 148 г составляют 2 моль.

Второе соединение при гидролизе образует спирт и соль кислоты, значит это – сложный эфир:



Составу $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$ отвечают два сложных эфира: этилформиат HCOOC_2H_5 и метилацетат $\text{CH}_3\text{COOCH}_3$. Эфиры муравьиной кислоты, реагируют с аммиачным раствором оксида серебра, поэтому первый эфир не удовлетворяет условию задачи. Следовательно, второе вещество в смеси — метилацетат.

Поскольку в смеси было по одному молю соединений с одинаковой молярной массой, то их массовые доли равны и составляют 50%.

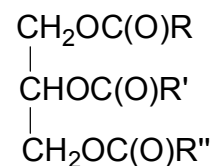
Ответ. 50% $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$, 50% $\text{CH}_3\text{COOCH}_3$.

3.10.5. Решение. Общая формула сложных эфиров, образованных предельными спиртами и кислотами, — $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_2$. Значение n можно определить из плотности по водороду: $M(\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_2) = 14n + 32 = 44 \cdot 2 = 88$ г/моль, откуда $n = 4$, то есть эфир содержит 4 атома углерода. Поскольку при сгорании спирта и кислоты, образующихся при гидролизе эфира, выделяются равные объемы углекислого газа, то кислота и спирт содержат одинаковое число атомов углерода, по два. Таким образом, искомым эфиром образован уксусной кислотой и этанолом и называется этилацетат:

Ответ. Этилацетат, $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$.

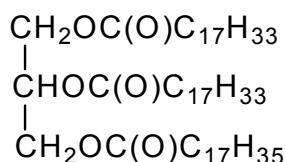
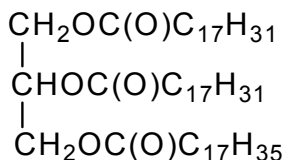
3.10.6. Решение. Общая формула жиров:

где R, R', R'' — углеводородные радикалы, содержащие нечетное число атомов углерода (еще один атом из кислотного остатка входит в состав группы $-\text{CO}-$). На долю трех углеводородных радикалов приходится $57 - 6 = 51$ атом углерода. Можно предполо-

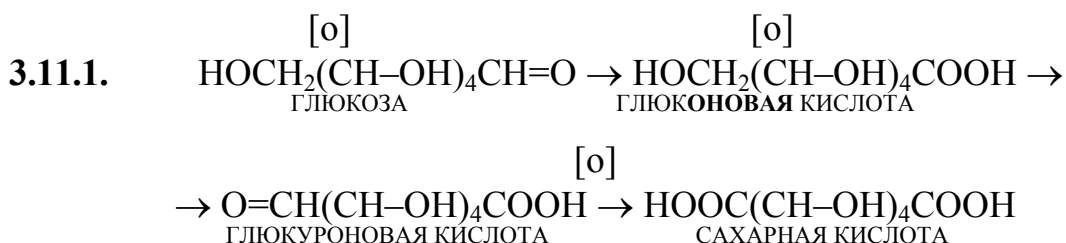


жить, что каждый из радикалов содержит по 17 атомов углерода.

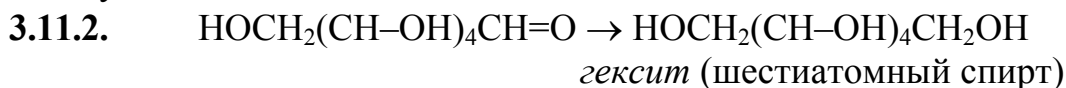
Поскольку одна молекула жира может присоединить две молекулы йода, то на три радикала приходится две двойные связи или одна тройная. Если две двойные связи – в одном радикале, то в состав жира входят остаток линолевой кислоты ($R = C_{17}H_{31}$) и два остатка стеариновой кислоты ($R' = R'' = C_{17}H_{35}$). Если две двойные связи находятся в разных радикалах, то в состав жира входят два остатка олеиновой кислоты ($R = R' = C_{17}H_{33}$) и остаток стеариновой кислоты ($R'' = C_{17}H_{35}$). Возможные формулы жира:



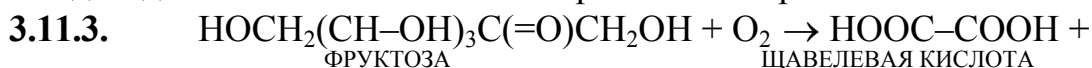
3.11. Углеводы



Первоначально альдегидная группа окисляется до карбоксильной, затем первичная спиртовая – превращается в альдегидную, и последняя – вновь в кислотную.

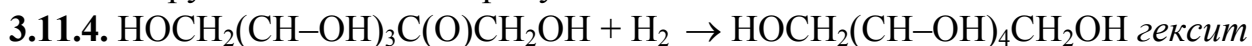


Альдегиды восстанавливаются в первичные спирты.



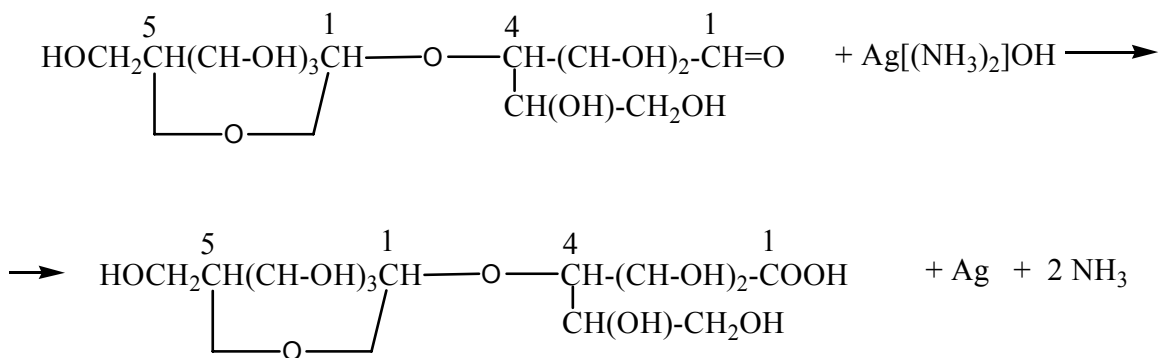
+ $\text{НООС-СН(ОН)-СН(ОН)-СООН}$ (мезовинная кислота)

Кетоны окисляются в жестких условиях с разрывом связи С-С около карбонильной группы. Конечный продукт окисления – кислоты.

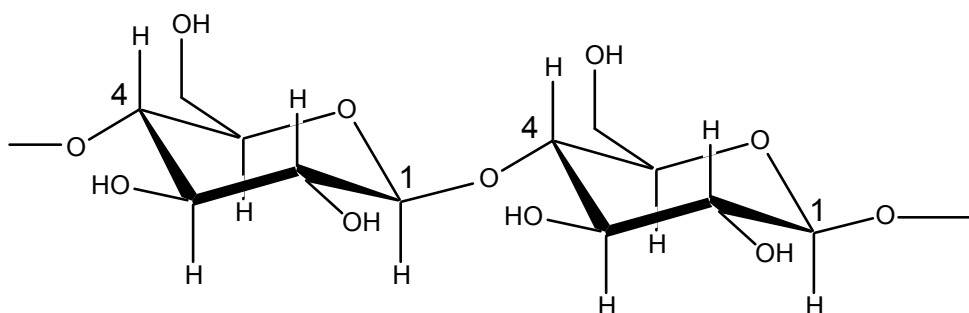


Кетоны восстанавливаются во вторичные спирты.

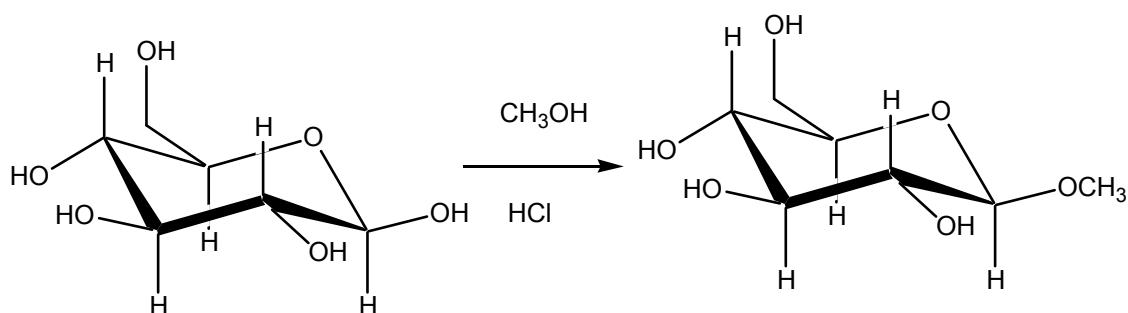
3.11.5. Мальтоза – восстанавливающий дисахарид, поскольку в растворах устанавливается динамическое равновесие между циклической и открытой формой, где есть альдегидная группа; последняя легко окисляется (например, вступает в реакцию «серебряного зеркала»), восстанавливая реагент, с которым проходило взаимодействие.



3.11.6.



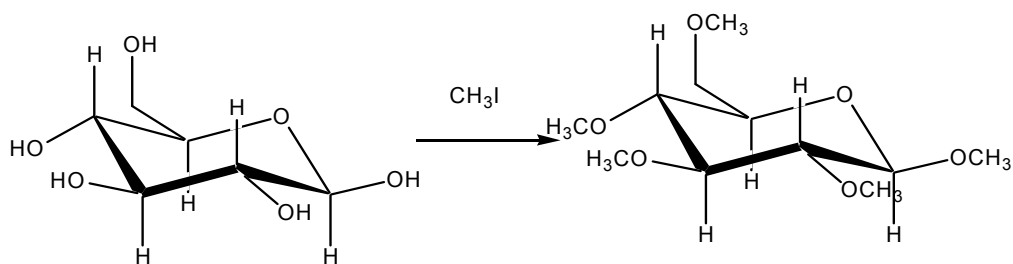
3.11.7.



D-глюкопираноза

метилгликозид D-глюкопиранозы

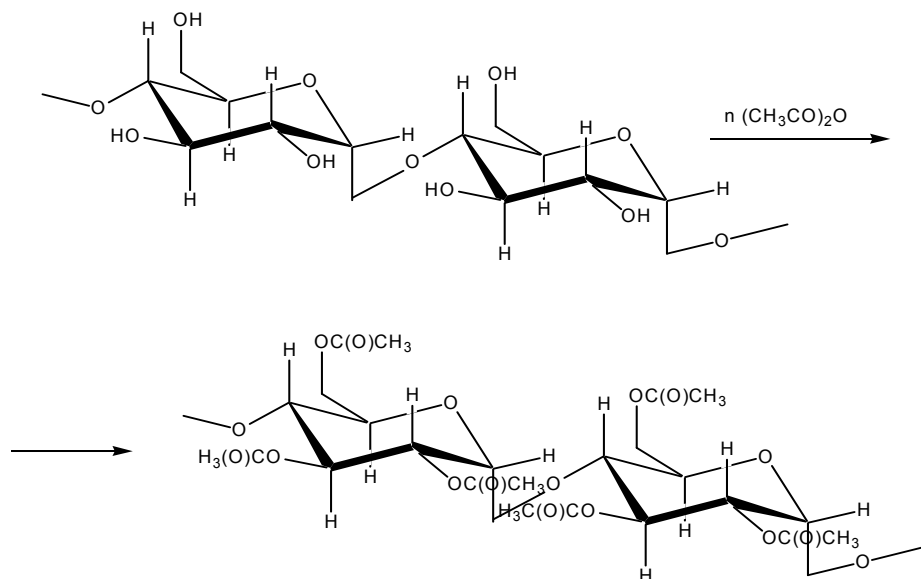
3.11.8.



D-глюкопираноза

пентаметилгликозид D-глюкопиранозы

3.11.9.



3.11.10. Решение. Молекулы глюкозы способны к расщеплению под действием различных микроорганизмов. Эта реакция называется *брожением*. Спиртовое брожение (протекает при действии ферментов):



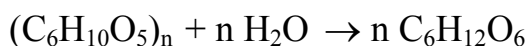
Спирт дегидратируется (отщепляет воду) в присутствии водоотнимающих средств (например, концентрированной серной кислоты при температуре выше 140°C):



Требуется получить 11,2 л (н.у.) этилена, что составляет $11,2/22,4 = 0,5$ моль. Выход реакции (2) 50%, следовательно, спирта надо получить $0,5 \cdot 2 = 1$ моль. По реакции (1) ν (глюкозы) составляет $\frac{1}{2} \nu$ спирта, т.е. 0,5 моль. Масса глюкозы ($M = 180$ г/моль) равна: $0,5 \cdot 180 = 90$ г.

Ответ: 90 г.

3.11.11. Решение. Крахмал – это природный полимер, образованный остатками α -глюкозы. При нагревании в кислой среде крахмал гидролизуется с разрывом связей между остатками α -глюкозы. Конечным продуктом гидролиза является глюкоза:



Масса картофеля в условии задачи дана в килограммах, расчёт будем проводить с использованием киломолей. Масса крахмала (M (одного фрагмента) = 162 г/моль, или 162 кг/киломоль) равна: $1620 \cdot 0,2 = 324$ кг. ν (киломолей крахмала) = $324/162 = 2$ к/моль.

Выход глюкозы составляет 75%, значит получится: $2 \cdot 0,75 = 1,5$ к/моль глюкозы ($M = 180$ кг/к.моль). Откуда $m(\text{глюкозы}) = 1,5 \cdot 180 = 270$ кг.

Ответ: 270 кг.

3.12. Нитропроизводные

3.12.1. а) $\text{H}_2\text{C}=\text{O} + \text{CH}_3-\text{NO}_2 \rightarrow \text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{NO}_2$ 2-нитроэтанол-1

б) $\text{CH}_3\text{HC}=\text{O} + \text{CH}_3-\text{NO}_2 \rightarrow \text{HOCH}(\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{NO}_2$ 1-нитро-пропанол-2

в) $(\text{CH}_3)_2\text{C}=\text{O} + \text{CH}_3-\text{NO}_2 \rightarrow (\text{H}_3\text{C})_2\text{C}(\text{OH})\text{CH}_2\text{NO}_2$ 1-нитро-2-метилпропанол-2

3.12.2. а) в феноле гидроксильная группа – электронодонор – облегчает реакцию электрофильного замещения и направляет электрофил – катион нитрония – в орто- и пара- положения (образуются, соответственно, орто- и пара-нитрофенолы);

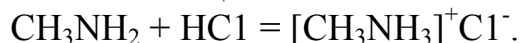
б) в нитробензоле нитрогруппа – электроноацепторный заместитель – затрудняет введение электрофила в ядро, направляет вторую нитрогруппу в мета-положение; образуется 1,3-динитробензол;

в) в этилбензоле радикал этил – электронодонор и ведет себя аналогично случаю а) образуется 2- и 4-нитроэтилбензол.

Схемы реакций запишите самостоятельно.

3.13. Аминопроизводные

3.13.1. Решение. Метиламин поглощается соляной кислотой:

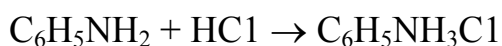


7,75 г – это масса поглощенного метиламина. $\nu(\text{CH}_3\text{NH}_2) = 7,75/31 = 0,25$ моль, $\nu(\text{CH}_3\text{NH}_2) = 0,25 \cdot 22,4 = 5,6$ л.

По условию, масса бутана в смеси в три раза меньше, чем масса метиламина (25% и 75%, соответственно): $m(\text{C}_4\text{H}_{10}) = 7,75/3 = 2,58$ г, $\nu(\text{C}_4\text{H}_{10}) = 2,58/58 = 0,0445$ моль, $\nu(\text{C}_4\text{H}_{10}) = 0,0445 \cdot 22,4 = 1,0$ л. Общий объем смеси равен $\nu = 5,6 + 1,0 = 6,6$ л

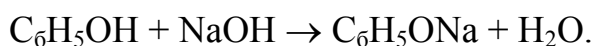
Ответ. 6,6 л.

3.13.2. Решение. При пропускании через смесь сухого хлороводорода выпадает осадок хлорида фениламмония, который нерастворим в органических растворителях:



$\nu(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_3\text{Cl}) = 2,59/129,5 = 0,02$ моль, следовательно $\nu(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2) = 0,02$ моль, $m(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2) = 0,02 \cdot 93 = 1,86$ г.

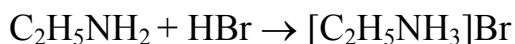
В органическом слое остались бензол и фенол. При обработке органического слоя водным раствором гидроксида натрия образовался фенолят натрия:



Уменьшение массы органического слоя на 4,7 г произошло за счёт перехода в водный раствор растворимого в воде фенолята натрия. $m(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) = 4,7$ г. Масса бензола в смеси составляет $10 - 4,7 - 1,86 = 3,44$ г.

Ответ. 1,86 г анилина, 4,7 г фенола, 3,44 г бензола.

3.13.3. Решение. Пусть в исходной смеси содержалось x л Ar и y л $C_2H_5NH_2$ тогда $x + y = 30$. При добавлении бромоводорода происходит его реакция с этиламиноом, и образуется твердое вещество – бромид этиламмония, $[C_2H_5NH_3]Br$.



Средняя масса оставшейся газовой смеси равна $1,814 \cdot 29 = 52,6$ г/моль. Это означает, что в газовой смеси находятся Ar и HBr (если бы в смеси остались Ar и $C_2H_5NH_2$, то $40 < M_{cp} < 45$). $V(Ar) = x$, $V(HBr) = 20 - y$.

$$M_{cp} = (40x + 81,8(20 - y)) / (x + 20 - y) = 52,6. \quad V = x + y = 30.$$

Решая систему, находим: $x = 18$, $y = 12$. Объемные доли равны: $\varphi(Ar) = (18/30) \cdot 100\% = 60\%$; $\varphi(C_2H_5NH_2) = (12/30) \cdot 100\% = 40\%$.

Ответ: 60% Ar, 40% $C_2H_5NH_2$.

3.14. Аминокислоты

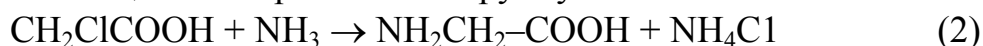
8.14.1. Решение. Основной способ получения аминокислот – замещение атома галогена на аминогруппу в галогенозамещенных кислотах.

Первая стадия синтеза – хлорирование уксусной кислоты. Уксусная кислота на свету реагирует с хлором:



$\nu(CH_3COOH) = m(CH_3COOH) / M(CH_3COOH) = 15/60 = 0,25$ моль. С учётом выхода хлоруксусной кислоты 75%, $\nu(CH_2ClCOOH) = 0,25 \cdot 0,75 = 0,1875$ моль.

Вторая стадия – замещение хлора на аминогруппу:



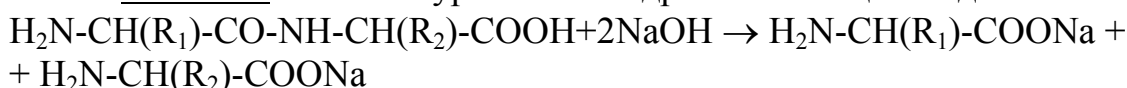
На этой стадии выход аминоксусной кислоты также 75%, значит $\nu(NH_2CH_2COOH) = 0,1875 \cdot 0,75 = 0,140625$ моль. Вычислим массу 100%-ной аминоксусной кислоты ($M(NH_2CH_2COOH) = 75$ г/моль):

$$m(NH_2CH_2COOH) = 75 \cdot 0,140625 = 10,547 \text{ г.}$$

Масса 15%-ного раствора аминоксусной кислоты равна: $10,547/0,15 = 70,3$ г

Ответ: 70,3 г

3.14.2. Решение. Запишем уравнение гидролиза в общем виде:



Одна из солей содержит 20,72% Na, следовательно, ее молярная масса равна $23/0,2072 = 111$ г/моль, и ее количество составляет $11,1/111 = 0,1$ моль.

Молярная масса углеводородного радикала, входящего в состав этой соли (это может быть как R_1 , так и R_2), равна:

$$M(R) = 111 - M(H_2N) - M(CH) - M(COONa) = 111 - 16 - 13 - 67 = 15.$$

Этот радикал — CH_3 . (В этом вычислении из молярной массы соли вычитаем массы всех групп, составляющих молекулу соли, кроме массы неизвестного радикала).

Найдем другой радикал. Количество дипептида равно 0,1 моль, следовательно, его молярная масса равна $14,6/0,1 = 146$ г/моль. Молярная масса второго радикала равна:

$146 - M(\text{H}_2\text{N}) - M(\text{CH}(\text{CH}_3)) - M(\text{CONH}) - M(\text{CH}) - M(\text{COOH}) = 146 - 16 - 28 - 43 - 13 - 45 = 1$, этот радикал — H. (В этом вычислении, подставив в молекулу дипептида вместо R₁ или R₂ радикал — CH₃, из молярной массы дипептида вычитаем массы составляющих эту молекулу групп, кроме неизвестного радикала)

Таким образом, одна из кислот, образовавших дипептид, — аминпропионовая, а другая — аминокусусная. Каждая из этих аминокислот может находиться либо в "голове" дипептида (со стороны группы COOH), либо в "хвосте" (со стороны группы NH₂), поэтому для пептида возможны две формулы: 1) H₂N-CH(CH₃)-CO-NH-CH₂-COOH (аланил-глицин);

2) H₂N-CH₂-CO-NH-CH(CH₃)-COOH (глицил-аланин).

Ответ. Аланил-глицин или глицил-аланин.

3.15. Цепочки превращений - решение

3.15.1. «А» — $2\text{CH}_4 \rightarrow \text{HC}\equiv\text{CH} + 3\text{H}_2$; при *пиролизе* ($t > 750^\circ$) метана образуется *этин* (*ацетилен*) — это один из промышленных способов его получения;

«В» — $\text{HC}\equiv\text{CH} + \text{NaNH}_2 \rightarrow \text{HC}\equiv\text{CNa} + \text{NH}_3$; в этине атом H-C≡ подвижен (С-Н кислотность) и замещается на металл, образуя *ацетиленид натрия*;

«С» — $\text{HC}\equiv\text{CNa} + \text{I-CH}_3 \rightarrow \text{CH}_3\text{C}\equiv\text{CH} + \text{NaI}$; связь Na-C (металл-углерод) непрочная, легко разрывается и металл замещается на группу CH₃ с образованием *пропина*;

«D» — $\text{CH}_3\text{C}\equiv\text{CH} + \text{HOH} \rightarrow [\text{CH}_3\text{C}(\text{OH})=\text{CH}_2] \rightarrow \text{CH}_3\text{C}(\text{O})-\text{CH}_3$; гидратация пропина (*реакция Кучерова*) протекает через промежуточное образование пропенола-2 (*правило Марковникова*), который неустойчив и перегруппировывается в *пропанон* (*ацетон*);

«E» — $\text{CH}_3\text{C}(\text{O})-\text{CH}_3 + \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}_3$ восстановление кетона приводит к вторичному спирту — *пропанолу-2*;

«F» — $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}_3 \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2 + \text{H}_2\text{O}$ — продукт *внутримолекулярной дегидратации* пропанола — *пропен*.

3.15.2. «А» — $\text{CH}_4 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{Cl} + \text{HCl}$; при радикальном хлорировании (*hν, t*) метана образуется *хлорометан*;

«В» — $2\text{CH}_3\text{Cl} + 2\text{Na} \rightarrow \text{CH}_3-\text{CH}_3 + 2\text{NaCl}$ — реакция *Вюрца* — *этан*;

«С» — $\text{CH}_3-\text{CH}_3 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}_2\text{Cl} + \text{HCl}$ — радикальное хлорирование этана приводит к *хлорэтану*;

«D» — $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Cl} + \text{KOH}$ (спирт) $\rightarrow \text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$ дегидрохлорированием получают — *этен*;

«E» — $\text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH}_2 \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{O} \end{array}$ окислением этилена на серебряном катализаторе получают (*эп*)*окись*;

«F» — $\text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$ — продукт гидратации (*эп*)окиси — *этандиол-1,2* (*этиленгликоль*);

«G» — $\text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH} + 2\text{HONO}_2 \rightarrow \text{O}_2\text{NO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{ONO}_2$ — *динитрат этиленгликоля* — сложный эфир.

8.15.3. «А» – $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3 + \text{Br}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}(\text{Br})\text{CH}_3 + \text{HBr}$ – при радикальном бромировании ($h\nu$, t) замещение в пропане в первую очередь протекает по вторичному углероду с образованием – 2-бромпропана;

«В» – $\text{CH}_3\text{CH}(\text{Br})\text{CH}_3 + \text{KOH}$ (спирт) $\rightarrow \text{CH}_2=\text{CHCH}_3 + \text{KBr} + \text{H}_2\text{O}$ дегидрогалогенирование приводит к пропену;

«С» – $\text{CH}_2=\text{CHCH}_3 + \text{HBr}$ (H_2O_2) $\rightarrow \text{BrCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ – гидробромирование пропена по радикальному механизму идет против *правила Марковникова*, приводя к 1-бромпропану;

«D» – $\text{BrCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3 + \text{KOH}$ (H_2O) $\rightarrow \text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH} + \text{KBr}$ – продукт нуклеофильного замещения брома на гидроксильную группу *пропанол-1*;

«E» – $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHO}$ – при окислении первичного спирта образуется альдегид – *пропаналь (пропионовый альдегид)*;

«F» – $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHO} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}_2\text{C}(\text{O})\text{OH}$ – окисление альдегида протекает в мягких условиях, приводя к кислоте с тем же числом атомов углерода – *пропановая (пропионовая) кислота*.

3.15.4. «А» – $\text{Al}_4\text{C}_3 + 12\text{HOH} \rightarrow 3\text{CH}_4 + 4\text{Al}(\text{OH})_3$ – гидролизом карбида алюминия получают *метан* (практического значения способ не имеет);

«В» – $2 \text{CH}_4 \rightarrow \text{HC}\equiv\text{CH} + 3\text{H}_2$; при *пиролизе* ($t > 750^\circ$) метана образуется *этин (ацетилен)* – это один из промышленных способов его получения;

«С» – $2\text{HC}\equiv\text{CH} \rightarrow \text{CH}_2=\text{CH}-\text{C}\equiv\text{CH}$ – димеризация ацетилена – *винилацетилен (бутен-1-ин-3)*;

«D» – $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{C}\equiv\text{CH} + \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$ – гидрирование протекает по тройной связи, как менее прочной; образуется *бутадиен-1,3*;

«E» – $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2 + \text{Br}_2 \rightarrow \text{BrCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{Br}$ – при бромировании по схеме 1-4 электрофильного присоединения получают – *1,4-дибромобутен-2*;

«F» – $\text{BrCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{Br} + \text{H}_2 \rightarrow \text{BrCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Br}$ – гидрирование приводит к *1,4-дибромобутану*;

«G» – $\text{BrCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Br} + \text{HOH} \rightarrow \text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ *бутандиол-1,4*.

3.15.5. «А» – $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2\uparrow$ – прокалывание карбоната кальция приводит к *оксиду кальция (негашенная известь)*;

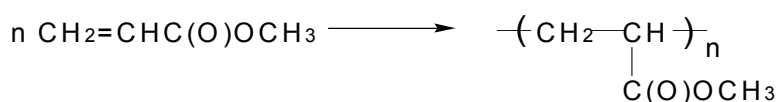
«В» – $\text{CaO} + 3\text{C} \rightarrow \text{CaC}_2 + \text{CO}$; сплавлением с углеродом получают *карбид кальция* CaC_2 ;

«С» – $\text{CaC}_2 + 2\text{HOH} \rightarrow \text{HC}\equiv\text{CH} + \text{Ca}(\text{OH})_2$; при действии на *карбид кальция* водой образуется *ацетилен* (промышленный способ);

«D» – $\text{HC}\equiv\text{CH} + \text{HCN} \rightarrow \text{CH}_2=\text{CH}-\text{C}\equiv\text{N}$; (катализ CuCl) содействует образованию *нитрила акриловой кислоты*;

«E» – $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{C}\equiv\text{N} + 2\text{HOH}$ (H^+) $\rightarrow \text{CH}_2=\text{CH}-\text{C}(\text{O})\text{OH}$; нитрил – производное кислоты – при гидролизе (в присутствии минеральной кислоты для связывания выделяющегося аммиака) превращается в *акриловую (пропеновую) кислоту*;

«F» – $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{C}(\text{O})\text{OH} + \text{HOCH}_3 \rightleftharpoons \text{CH}_2=\text{CH}-\text{C}(\text{O})\text{OCH}_3 + \text{HOH}$; этерификацией получают *сложный эфир – метилакрилат*;



Полимер – *полиметилакрилат (органическое стекло)*.

3.15.6. «А» – $\text{CH}_2=\text{CHCH}_3 + \text{HOH} \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$; Электрофильная гидратация пропена протекает по *правилу Марковникова* – получают *пропанол-2*;

«В» – $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{CH}_3$; окисление вторичного спирта приводит к кетону – *пропанон (ацетон)*;

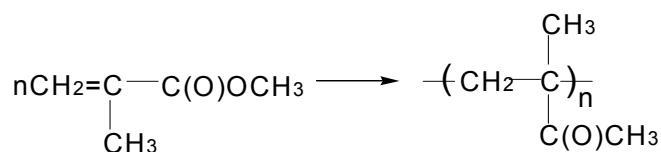
«С» – $\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{CH}_3 + \text{HCN} \rightarrow \text{CH}_3\text{C}(\text{OH})(\text{CH}_3)\text{C}\equiv\text{N}$; при нуклеофильном присоединении образуется – *нитрил 2-гидрокси-2-метилпропановой кислоты*;

«D» – $\text{CH}_3\text{C}(\text{OH})(\text{CH}_3)\text{C}\equiv\text{N} + 2\text{HOH} \rightarrow \text{CH}_3\text{C}(\text{OH})(\text{CH}_3)\text{C}(\text{O})\text{OH}$; нитрил – производное кислоты – при гидролизе (в присутствии минеральной кислоты для связывания выделяющегося аммиака) превращается в *2-гидрокси-2-метилпропановую кислоту*;

«E» – $\text{CH}_3\text{C}(\text{OH})(\text{CH}_3)\text{C}(\text{O})\text{OH} - \text{HOH} \rightarrow \text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{C}(\text{O})\text{OH}$; дегидратация приводит к *метакриловой кислоте (2-метилпропеновой)*;

«F» – $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{C}(\text{O})\text{OH} + \text{HOCH}_3 \rightleftharpoons \text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)-\text{C}(\text{O})\text{OCH}_3$; этерификацией получают *сложный эфир – метилметакрилат*;

полимеризацией синтезируют *полиметилметакрилат – органическое стекло*:



3.15.7. «А» – $\text{H}_3\text{CCH}(\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH} \rightarrow \text{H}_3\text{CCH}(\text{CH}_3)\text{CH}=\text{CH}_2 + \text{HOH}$; дегидратацией получают *3-метилбутен-1*

«В» – $\text{H}_3\text{CCH}(\text{CH}_3)\text{CH}=\text{CH}_2 + \text{Br}_2 \rightarrow \text{BrCH}_2\text{CHBrCH}(\text{CH}_3)\text{CH}_3$; при электрофильным присоединением (качественная реакция на кратную связь) синтезируют *1,2-дибромо-3-метилбутан*;

«С» – $\text{BrCH}_2\text{CHBrCH}(\text{CH}_3)\text{CH}_3 + 2\text{KOH} \rightarrow \text{CH}\equiv\text{CCH}(\text{CH}_3)\text{CH}_3 + 2\text{KCl} + 2\text{HOH}$; дегидробромирование приводит к соединению с тройной связью. – *3-метилбутину-1*;

«D» – $\text{CH}\equiv\text{CCH}(\text{CH}_3)\text{CH}_3 + \text{NaNH}_2 \rightarrow \text{NaC}\equiv\text{CCH}(\text{CH}_3)\text{CH}_3 + \text{NH}_3$; подвижный атом водорода в алкине замещается на металл (С–Н кислотность); – *ацетиленид 3-метилбутина-1*;

«E» – $(\text{CH}_3)_2\text{CHBr} + \text{NaC}\equiv\text{CCH}(\text{CH}_3)\text{CH}_3 \rightarrow (\text{CH}_3)_2\text{CHC}\equiv\text{CCH}(\text{CH}_3)_2 + \text{NaBr}$; связь металл-углерод непрочная и натрий легко замещается на радикал, образуя – *2,5-диметилгексин-3*;

«F» – $(\text{CH}_3)_2\text{CHC}\equiv\text{CCH}(\text{CH}_3)_2 + \text{HOH} \rightarrow [(\text{CH}_3)_2\text{CHC}(\text{OH})=\text{CHCH}(\text{CH}_3)_2] \rightarrow (\text{CH}_3)_2\text{CHC}(\text{O})-\text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)_2$; при гидратации алкинов (*реакция Кучерова*) образуется неустойчивый непредельный спирт (*2,5-диметилгексен-3-ол-3*), который перегруппировывается в *2,5-диметилгексанон-3*.

3.15.8. «А» – $\text{CH}_2=\text{CHCH}_3 + \text{HCl} \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}(\text{Cl})\text{CH}_3$; электрофильное присоединение HCl идет по *правилу Марковникова* с образованием *2-хлорпропана*;

«В» – $\text{CH}_3\text{CH}(\text{Cl})\text{CH}_3 + \text{KCN} \rightarrow \text{H}_3\text{C}-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{C}\equiv\text{N} + \text{KCl}$; нуклеофильное замещение хлора на группу CN^- приводит к нитрилу 2-метилпропановой (изомасляной) кислоты;

«С» – $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{C}\equiv\text{N} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{H}_3\text{C}-\text{CCl}(\text{CH}_3)-\text{C}\equiv\text{N} + \text{RCl}$; при хлорировании образуется нитрил 2-метил-2-хлоропропановой кислоты;

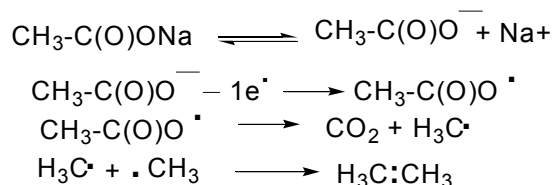
«D» – $\text{H}_3\text{C}-\text{CCl}(\text{CH}_3)-\text{C}\equiv\text{N} + 2\text{HOH} \rightarrow \text{H}_3\text{C}-\text{CCl}(\text{CH}_3)-\text{C}(\text{O})\text{OH}$; гидролизом нитрила (в присутствии кислоты для связывания образующегося побочно аммиака) получают 2-метил-2-хлоропропановую кислоту;

«E» – $\text{H}_3\text{C}-\text{CCl}(\text{CH}_3)-\text{C}(\text{O})\text{OH} + \text{NaOH} \rightarrow \text{H}_3\text{C}-\text{C}(\text{OH})(\text{CH}_3)-\text{C}(\text{O})\text{ONa} + \text{NaCl}$; щелочной гидролиз кислоты приводит к натриевой соли 2-гидрокси-2-метилпропановой кислоты;

«F» – $\text{H}_3\text{C}-\text{C}(\text{OH})(\text{CH}_3)-\text{C}(\text{O})\text{ONa} \rightarrow \text{H}_2\text{C}=\text{C}(\text{CH}_3)-\text{C}(\text{O})\text{OH} + \text{HOH}$; дегидратация сопровождается превращением соли в 2-метилпропеную (метакриловую) кислоту;

«G» – $\text{H}_2\text{C}=\text{C}(\text{CH}_3)-\text{C}(\text{O})\text{OH} + \text{HCl} \rightarrow \text{ClCH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)\text{C}(\text{O})\text{OH}$; наличие электроноакцепторной карбоксильной группы по соседству с кратной связью способствует электрофильному присоединению HCl против правила Марковникова – получается 2-метил-3-хлоропропановая кислота.

3.15.9. X₁ – при электролизе ацетата натрия, вначале соль диссоциирует на анион кислоты и катион натрия; анион на аноде теряет 1 электрон, превращаясь в свободный радикал; свободный радикал распадается по β-связи с образованием CO_2 и радикала метила; два радикала объединяются с обобществлением пары электронов, образуя этан:



X₂ – $\text{CH}_3-\text{CH}_3 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{CH}_3-\text{CH}_2\text{Cl} + \text{HCl}$; при радикальном хлорировании этана получают хлорэтан;

X₃ – $2\text{CH}_3-\text{CH}_2\text{Cl} + 2\text{Na} \rightarrow \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3 + 2\text{NaCl}$; по реакции Вюрца образуется бутан;

X₄ – $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \rightarrow \text{CH}_3-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}_3$; каталитическая изомеризация превращает бутан в изобутан;

X₅ – $\text{CH}_3-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}_3 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{CH}_3-\text{CCl}(\text{CH}_3)-\text{CH}_3 + \text{HCl}$; радикальное замещение в первую очередь протекает по третичному атому углерода и приводит к 2-метил-2-хлоробутану;

X₆ – $\text{CH}_3-\text{CCl}(\text{CH}_3)-\text{CH}_3 + \text{KOH}$ (спирт) $\rightarrow \text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)-\text{CH}_3 + \text{KCl} + \text{HOH}$; дегидрогалогенирование спиртовым раствором щелочи приводит к изобутилену;

X₇ – $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)-\text{CH}_3 + \text{HBr}$ (H_2O_2) $\rightarrow \text{BrCH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}_3$; радикальное присоединение HBr проходит против правила Марковникова; образуется 1-бromo-2-метилпропан;

$X_8 - \text{BrCH}_2\text{-CH}(\text{CH}_3)\text{-CH}_3 + \text{KOH} (\text{HOH}) \rightarrow \text{HOCH}_2\text{-CH}(\text{CH}_3)\text{-CH}_3 + \text{KBr}$; при гидролизе водной щелочью галоген обменивается на гидроксил, превращаясь в *2-метилпропанол-1*.

3.15.10. $X_1 - \text{CH}_3\text{-CH}(\text{OH})\text{-CH}_3 \rightarrow \text{CH}_2=\text{CHCH}_3 + \text{HOH}$; внутримолекулярной дегидратацией пропанола-2 получают *пропен*;

$X_2 - \text{CH}_2=\text{CHCH}_3 + \text{HBr} (\text{H}_2\text{O}_2) \rightarrow \text{BrCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$; радикальное присоединение бромистого водорода протекает против правила Марковникова с образованием *1-бромпропана*;

$X_3 - \text{NaOH} + \text{BrCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3 \rightarrow \text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3 + \text{NaCl}$; гидролиз водной щелочью приводит к *пропанолу-1*;

$X_4 - \text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3 + [\text{O}] \rightarrow \text{O=CHCH}_2\text{CH}_3 + \text{HOH}$; окислением первичных спиртов синтезируют альдегиды – *пропаналь*;

$X_5 - \text{O=CHCH}_2\text{CH}_3 + [\text{O}] \rightarrow \text{HO}(\text{O})\text{CCH}_2\text{CH}_3$; альдегиды легко окисляются в кислоты с тем же числом атомов углерода – *пропановая (пропионовая) кислота*;

$X_6 - \text{HO}(\text{O})\text{CCH}_2\text{CH}_3 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{HO}(\text{O})\text{CCH}(\text{Cl})\text{CH}_3 + \text{HCl}$; галогенирование кислот протекает по атому, соседнему с карбоксильной группой, с образованием *2-хлорпропановой кислоты*;

$X_7 - \text{HO}(\text{O})\text{CCH}(\text{Cl})\text{CH}_3 + 2 \text{NH}_3 \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}(\text{NH}_2)\text{C}(\text{O})\text{OH} + \text{NH}_4\text{Cl}$; нуклеофильное замещение хлора приводит к *2-аминопропановой кислоте (аланин)*.

3.15.11. X_1 – исходя из общей формулы $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$ и указание на взаимодействие углеводорода с металлическим натрием, следует, что исходное соединение алкин – пропин: $2\text{HC}\equiv\text{C-CH}_3 + 2\text{Na} \rightarrow 2\text{NaC}\equiv\text{C-CH}_3 + \text{H}_2$; – ацетиленид;

$X_2 - \text{CH}_3\text{I} + \text{NaC}\equiv\text{C-CH}_3 \rightarrow \text{CH}_3\text{-C}\equiv\text{C-CH}_3 + \text{NaI}$; – *бутин-2*;

$X_3 - \text{CH}_3\text{-C}\equiv\text{C-CH}_3 + \text{HOH} \rightarrow [\text{CH}_3\text{-CH=C}(\text{OH})\text{-CH}_3]$ – образующийся *бутен-2-ол-2* неустойчив и сразу перегруппировывается (изомеризуется) в карбонильное производное; $X_3 - \text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-C}(\text{O})\text{-CH}_3$ – *бутанон*;

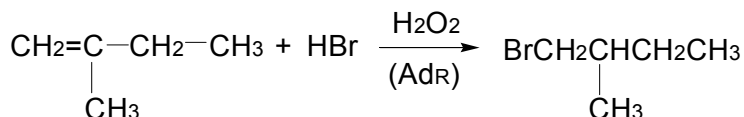
$X_4 - \text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-C}(\text{O})\text{-CH}_3 + \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}(\text{OH})\text{-CH}_3$ – при восстановлении кетонов образуются вторичные спирты; – *бутанол-2*;

$X_5 - 2\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}(\text{OH})\text{-CH}_3 + 2\text{Na} \rightarrow 2\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}(\text{ONa})\text{-CH}_3 + \text{H}_2$; спирты с металлами образуют *алкоголяты*;

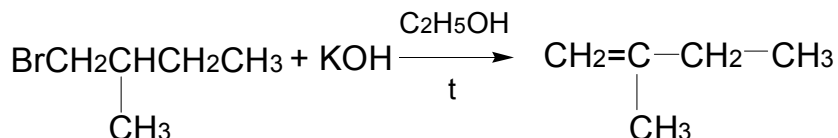
$X_6 - \text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}(\text{ONa})\text{-CH}_3 + \text{BrCH}_2\text{CH}_3 \rightarrow \text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}(\text{CH}_3)\text{OCH}_2\text{CH}_3 + \text{NaBr}$; – при нуклеофильном замещении галогена образовался *этил-втор.бутиловый эфир (простой)*.

3.15.12.

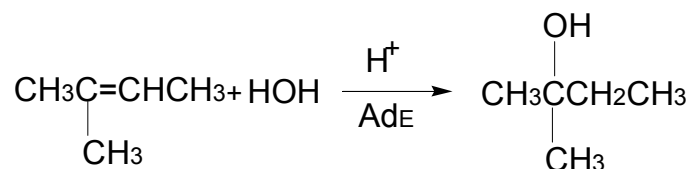
Радикальное присоединение против правила Марковникова.



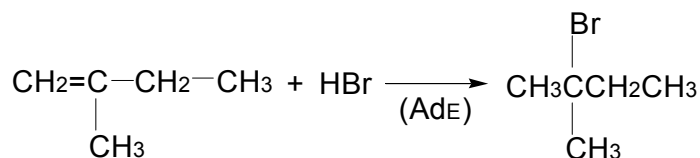
Дегидрогалогенирование по правилу Зайцева



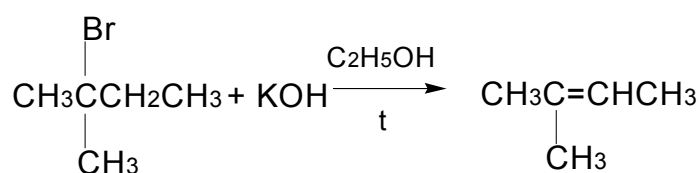
Электрофильное присоединение *по правилу Марковникова*



Дегидробромирование *по правилу Зайцева*.

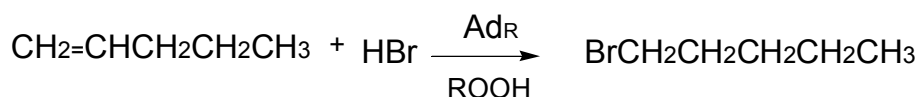


Электрофильное присоединение *по правилу Марковникова*.

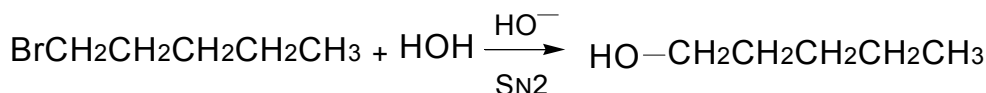


3.15.13.

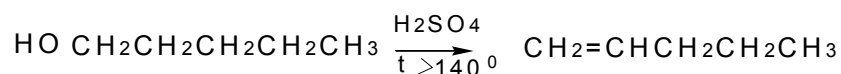
Радикальное присоединение против правила Марковникова



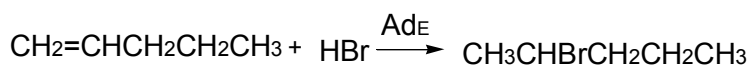
Нуклеофильное замещение галогена на гидроксильную группу.



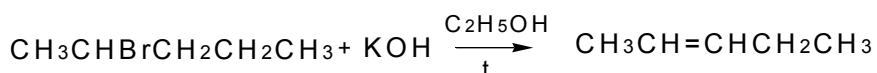
Дегидратация спирта *по правилу Зайцева*



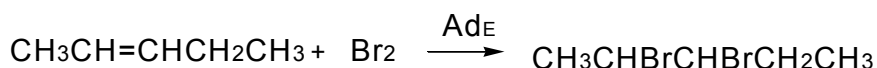
Электрофильное присоединение *по правилу Марковникова*



Дегидрогалогенирование *по правилу Зайцева*.



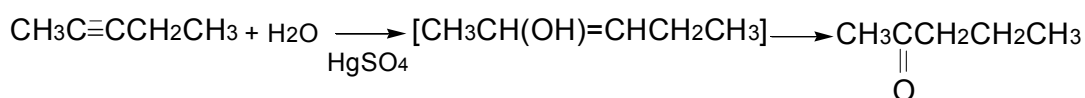
Электрофильное присоединение брома (качественная реакция на двойную связь)



Дегидробромирование избытком спиртового раствора KOH дигалогенопроизводных углеводородов приводит к образованию тройной связи



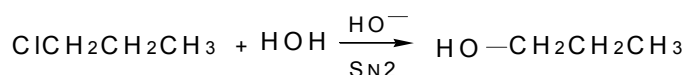
Гидратация пентина-2 (*реакция Кучерова*) приводит к неустойчивому непредельному спирту (*пентен-2-ол-2*), который перегруппировывается в кетон.



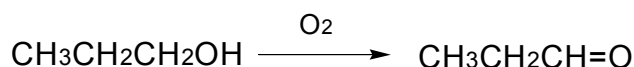
3.15.14. C_3H_6 не может быть пропеном, т.к. при действии на него HCl образуется 2-хлоропропан; следовательно, исходное соединение – циклопропан:



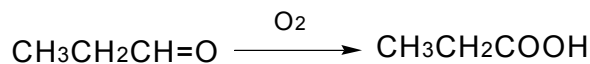
нуклеофильное замещение галогена на гидроксил;



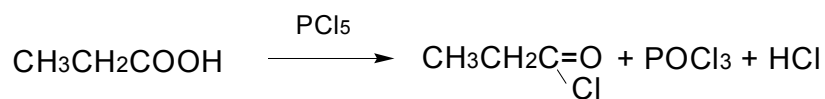
окисление первичного спирта приводит к альдегиду;



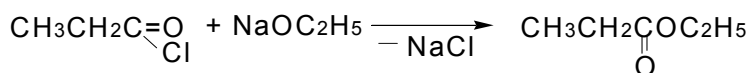
альдегиды окисляются в кислоты с тем же числом атомов углерода;



при действии на гидроксилсодержащие соединения PCl_5 группа $-\text{OH}$ замещается на Cl ;



нуклеофильное замещение хлора на этоксильную группу.



3.15.15. «А» – $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} \rightarrow \text{CH}_3\text{CHO} + \text{H}_2$; при дегидрировании спирта образуется альдегид – «этаналь (*уксусный альдегид*)»;

«В» – $\text{CH}_3\text{CHO} + \text{CH}_3\text{CHO} \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{CHO}$; – при взаимодействии в основной среде двух молей альдегида протекает *альдольная конденсация* (атом водорода от α -углеродного атома одной молекулы альдегида присоединяется по карбонильному кислороду второй молекулы, а между атомами углерода обеих молекул образуется связь) – *3-гидроксибутаналь (альдол)*;

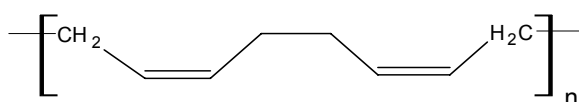
«С» – $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{CHO} \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}=\text{CHCHO} + \text{HOH}$; дегидратация альдола протекает с отщеплением атома водорода от α -углеродного атома; *бутен-2-аль (кротоновый альдегид)*;

«D» – $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CHCHO} + \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{OH}$; гидрирование протекает с восстановлением карбонильной группы (в зависимости от природы восстанавливающего агента); – *бутен-2-ол-1*;

«Е» – $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{OH} \rightarrow \text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2 + \text{HOH}$; – при дегидратации образуется *бутадиен-1,3*;

полимеризация бутадиена –1,3 приводит к *цис-* или *транс-полибутадиену*; лучшими эксплуатационными качествами при производстве резины обладает

цис-полимер (стереорегулярный), который получается при использовании катализатора Циглера-Натта



цис-полибутадиен

3.15.16. «А» – $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2\text{Cl} + \text{HCl}$; – условия проведения реакции хлорирования – высокая температура – позволяют предположить, что исходный углеводород пропен, который по схеме радикального замещения превращается в *3-хлоропропен-1* (аллил хлорид);

«В» – $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2\text{Cl} + \text{HOCl} \rightarrow \text{ClCH}_2\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{Cl} + \text{ClCH}_2\text{CHClCH}_2\text{OH}$; взаимодействие с хлорноватистой кислотой протекает как по правилу Марковникова – *1,3-дихлоропропанол-2*, так и против правила – *2,3-дихлоропропанол-1*;

«С» – $\text{ClCH}_2\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{Cl} + \text{ClCH}_2\text{CHClCH}_2\text{OH} + \text{HOH} \rightarrow \text{HOCH}_2\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{OH}$; гидролиз протекает по типу нуклеофильного замещения; – *пропантриол-1,2,3* (глицерин);

«D» – $\text{HOCH}_2\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{OH} \rightarrow [\text{CH}_2=\text{C}=\text{CH}-\text{OH}] + 2\text{HOH}$; при дегидратации глицерина образуется неустойчивый непредельный спирт – *пропадиенол*, который перегруппировывается в «D» – $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{O}$ – *пропеналь* (акролеин);

«E» – $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{O} + [\text{O}] \rightarrow \text{CH}_2=\text{CH}-\text{C}(\text{O})\text{OH}$; – при окислении альдегида образуется кислота с тем же числом атомов углерода, – *пропеновая* (акриловая) кислота;

«F» – $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{C}(\text{O})\text{OH} + \text{HOH} \rightarrow \text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{C}(\text{O})\text{OH}$; – гидратация акриловой кислоты проходит *против правила Марковникова*, т.к. карбоксильная группа – электроноакцептор; *3-гидроксипропановая кислота*.

3.15.17. «А» – $\text{HC}\equiv\text{CH} + \text{HCN} \rightarrow \text{CH}_2=\text{CH}-\text{CN}$; – присоединение к ацетилену HCN дает *нитрил акриловой кислоты*;

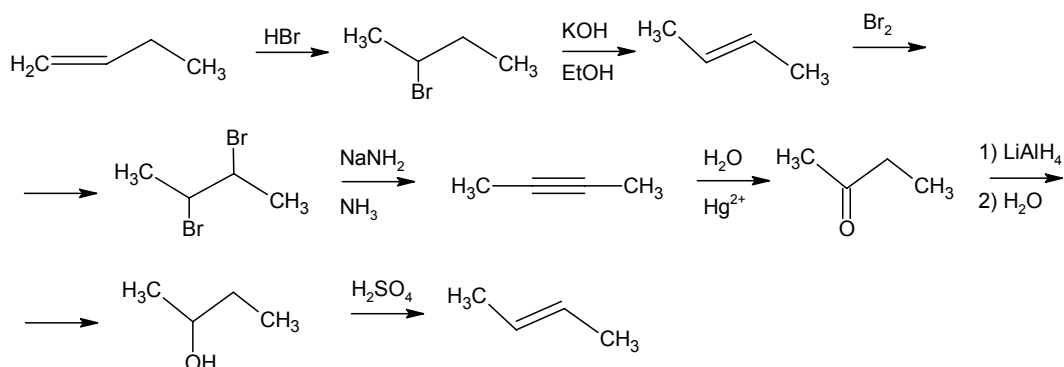
«В» – $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CN} + 2\text{HOH} \rightarrow \text{CH}_2=\text{CH}-\text{C}(\text{O})\text{OH}$; – кислотным гидролизом нитрила (кислота необходима для связывания образующегося аммиака) синтезируют *акриловую* (пропеновую) кислоту;

«С» – $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{C}(\text{O})\text{OH} + \text{HBr} \rightarrow \text{BrCH}_2\text{CH}_2\text{C}(\text{O})\text{OH}$; гидробромирование акриловой кислоты проходит *против правила Марковникова*, т.к. карбоксильная группа – электроноакцептор; – *3-бромпропановая кислота*;

«D» – $\text{BrCH}_2\text{CH}_2\text{C}(\text{O})\text{OH} + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{C}(\text{O})\text{ONa} + \text{NaBr} + \text{HOH}$; щелочным гидролизом бром замещается на гидроксил; *натриевая соль 3-гидроксипропановой кислоты*;

«E» – $\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{C}(\text{O})\text{ONa} + \text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{OH} (\text{H}^+) \rightarrow \text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{C}(\text{O})\text{OH}$; спиртовая группа этерифицируется уксусной кислотой с образованием сложного эфира – *уксуснокислый эфир 3-гидроксипропановой кислоты*.

3.15.18. Условия задачи можно выразить следующими схемами превращений:



«А» – $\text{CH}_2=\text{CHCH}_2\text{CH}_3 + \text{HBr} \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}(\text{Br})\text{CH}_2\text{CH}_3$; *бутен-1* – присоединяет галогеноводород *по правилу Марковникова* с образованием *2-бромобутана* «В»;

«С» – $\text{CH}_3\text{CH}(\text{Br})\text{CH}_2\text{CH}_3 + \text{KOH} \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}=\text{CHCH}_3 + \text{KBr} + \text{HOH}$; дегидробромирование протекает *по правилу Зайцева* до *бутена-2*;

«D» – $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CHCH}_3 + \text{Br}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}(\text{Br})\text{CH}(\text{Br})\text{CH}_3$; электрофильным галогенированием синтезируют *2,3-дибромобутан*;

«Е» – $\text{CH}_3\text{CH}(\text{Br})\text{CH}(\text{Br})\text{CH}_3 + 2\text{NaNH}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{C}\equiv\text{CCH}_3 + 2\text{NaBr} + 2\text{NH}_3$; дегидрогалогенирование с помощью амида натрия в жидком аммиаке приводит к *бутину-2*;

«G» – $\text{CH}_3\text{C}\equiv\text{CCH}_3 + \text{HOH} \rightarrow [\text{CH}_3\text{C}(\text{OH})=\text{CHCH}_3] \rightarrow \text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{CH}_2\text{CH}_3$; гидратацией тройной связи получают *бутанон*;

«H» – $\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{CH}_2\text{CH}_3 + \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{CH}_3$; при восстановлении кетонов получают вторичные спирты, – *бутанол-2*, который способен подвергаться внутримолекулярной дегидратации с образованием *бутена-2*.

3.15.19. «А» – $2\text{CH}_4 \rightarrow \text{HC}\equiv\text{CH} + 3\text{H}_2$; –при пиролизе метана образуется *ацетилен (этин)*;

«В» – $3\text{HC}\equiv\text{CH} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_6$; тримеризацией ацетилена синтезируют *бензол*;

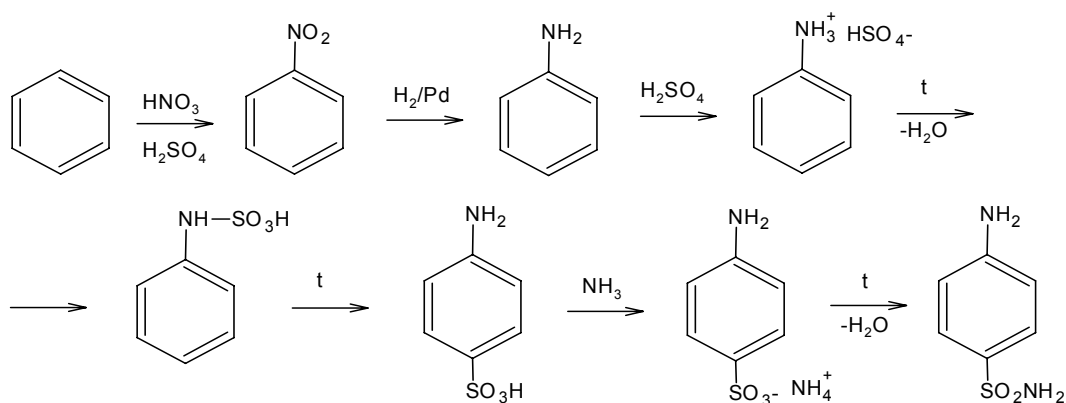
«С» – $\text{C}_6\text{H}_6 + \text{CH}_3\text{Cl} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3 + \text{HCl}$; при электрофильном замещении (*Фридель-Крафтс*) $[\text{AlCl}_4]^- \text{CH}_3^+$ из бензола получают *толуол*;

«D» – $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3 + [\text{O}] \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{C}(\text{O})\text{OH} + \text{HOH}$; окисление гомологов бензола (независимо от величины углеводородного радикала) приводит к *бензойной кислоте*;

«Е» – $\text{C}_6\text{H}_5\text{C}(\text{O})\text{OH} + \text{HNO}_3 \rightarrow m\text{-O}_2\text{NC}_6\text{H}_4\text{C}(\text{O})\text{OH} + \text{HOH}$; карбоксильная группа в бензойной кислоте – *электроноакцепторный заместитель* – направляет при электрофильном замещении катион *нитрония* (электрофил) в *мета*-положение; $\text{HNO}_3 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons \text{O}_2\text{N}^+ + \text{H}_3\text{O}^+ + 2\text{OSO}_3\text{H}^-$; –*мета-нитробензойная кислота*;

«F» – $m\text{-O}_2\text{NC}_6\text{H}_4\text{C}(\text{O})\text{OH} + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} \rightarrow m\text{-O}_2\text{NC}_6\text{H}_4\text{C}(\text{O})\text{OC}_2\text{H}_5 + \text{HOH}$; при взаимодействии кислоты со спиртом протекает реакция *этерификации* и образуется сложный эфир; – *этиловый эфир мета-нитробензойной кислоты*.

3.15.20. Решение задачи можно представить схемой:



«А» – $C_6H_6 + HNO_3 \rightarrow C_6H_5NO_2 + HOH$; при нитровании бензола катионом **нитрония** (электрофил) $HNO_3 + 2H_2SO_4 \rightleftharpoons O_2N^+ + H_3O^+ + 2^-OSO_3H$; (*электрофильное замещение*) образуется *нитробензол*;

«В» – $C_6H_5NO_2 + H_2 \rightarrow C_6H_5NH_2 + 2H_2O$; восстановлением нитробензола – *реакция Зинина* – синтезируют *аминобензол (анилин)*;

«С» – $C_6H_5NH_2 + H_2SO_4 \rightarrow C_6H_5NH_3^+ HSO_4^-$; анилин – органическое основание – с серной кислотой дает соль – *сернокислый анилин (сульфат фениламмония)*;

«D» – $C_6H_5NH_3^+ HSO_4^- \rightarrow C_6H_5NHSO_3H + HOH$; аммонийные соли кислородсодержащих кислот при нагревании отщепляют воду, переходя в амиды; – *фениламид серной кислоты*; ароматические амиды называют *анилидами*, поэтому «D» можно назвать *сульфоанилидом*;

«Е» – $C_6H_5NHSO_3H \rightarrow p-H_2NC_6H_4SO_3H$; при нагревании (около 180^0C) *сульфоанилид* перегруппировывается в *пара-аминобензолсульфокислоту (сульфаниловая кислота)*;

«F» – $p-H_2NC_6H_4SO_3H + NH_3 \rightarrow p-H_2NC_6H_4SO_3NH_4$; с аммиаком кислоты образуют аммонийные соли; – *аммонийная соль сульфаниловой кислоты*;

«G» – $p-H_2NC_6H_4SO_3NH_4 \rightarrow p-H_2NC_6H_4SO_2NH_2$; аммонийные соли кислородсодержащих кислот при нагревании отщепляют воду, переходя в амиды; – *амид сульфаниловой кислоты (пара-аминобензолсульфоамид)*.

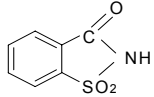
3.15.21. «А» – $C_6H_6 + CH_2=CH_2 \rightarrow C_6H_5CH_2CH_3$; алкилированием бензола этиленом (электрофильное замещение) синтезируют *этилбензол*;

«В», «В'» – $C_6H_5CH_2CH_3 + H_2SO_4 \rightarrow HO_3SC_6H_4CH_2CH_3$; этил – электронодонорный заместитель – при электрофильном замещении направляет электрофил в *орто*- и *пара*-положения; «В» – *орто-этилбензолсульфокислота*; «В'» – *пара-изомер*;

«С» – $o-C_2H_5C_6H_4SO_3H + [O] \rightarrow o-HO(O)C-C_6H_4-SO_3H$; по условиям задания окисляют «В», получая *орто-сульфобензойную кислоту*;

«D» – при взаимодействии аммиака с кислотой образуется аммонийная соль; – *диаммонийная соль орто-сульфобензойной кислоты* – $ortho-H_4N^+ O(O)C-C_6H_4-SO_2O^- NH_4$;

«Е» – при нагревании соли происходит дегидратация и отщепление молекулы

аммиака;  – *имид орто-сульфобензойной кислоты* (в имидах атом азота связан с двумя остатками кислот); это «сахарин» – используется как заменитель сахара;

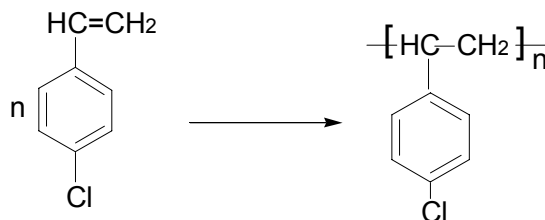
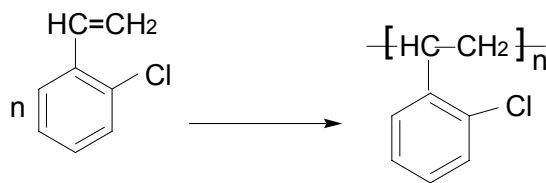
3.15.22. «А» – $C_6H_6 + CH_2=CH_2 \rightarrow C_6H_5CH_2CH_3$; алкилированием бензола этиленом (электрофильное замещение) синтезируют *этилбензол*;

«В» – $C_6H_5CH_2CH_3 + Cl_2 \rightarrow C_6H_5CH(Cl)CH_3 + HCl$; хлорирование гомологов бензола на свету (*радикальное замещение*) проходит в боковую цепь по атому углерода, соседнему с ароматическим ядром; – *1-фенил-1-хлороэтан*;

«С» – $C_6H_5CH(Cl)CH_3 + Cl_2 \rightarrow o-ClC_6H_4CH(Cl)CH_3 + HCl$; галогенирование «В» в присутствии катализатора ($FeCl_3$ – *кислота Льюиса*) – реакция *электрофильного замещения*; *1-орто-хлорофенил-1-хлороэтан*; «С'» – *пара-изомер*;

«D» – $o-ClC_6H_4CH(Cl)CH_3 \rightarrow o-ClC_6H_4CH=CH_2 + HCl$; дегидрохлорирование «С» приводит к *орто-хлоростиролу*, «D'» – *пара-изомер*;

полимеризацией синтезируют соответствующие полихлоростиролы:



3.15.23. «А» – $C_6H_6 + CH_3Cl \rightarrow C_6H_5CH_3 + HCl$; при электрофильном алкилировании бензола (*Фридель-Крафтс*) получают – *толуол*;

«В» – $C_6H_5CH_3 + H_2SO_4 \rightarrow o-HO_3SC_6H_4CH_3 + HON$; сульфирование толуола – электрофильное замещение; метил – электронодонор, направляет электрофил в *орто-* и *пара-*положения; *орто-толилсульфокислота*, «В'» – *пара-изомер*;

«С» – $o-HO_3SC_6H_4CH_3 + NaOH \rightarrow o-CH_3C_6H_4SO_3Na + HON$; при взаимодействии кислоты с водным раствором щелочи образуются соли; *натриевая соль орто-толилсульфокислоты* (или соль *пара-изомера*);

«D» – $o-CH_3C_6H_4SO_3Na + NaOH \rightarrow o-CH_3C_6H_4ONa + NaHSO_3$; при сплавлении солей сульфокислот со щелочами образуются феноляты; – *орто-толилфенолят* (*о-крезолят*), или *пара-изомер*;

«F» – $o-CH_3C_6H_4ONa + ICH_3 \rightarrow o-CH_3C_6H_4OCH_3 + NaI$; в фенолятах связь металл-кислород реакционно-способная; образуется простой эфир – *метил-орто-крезоловый эфир* $CH_3C_6H_4OCH_3$, или *пара-изомер*.

3.15.24. «А» – $C_6H_6 + H_2SO_4 \rightarrow o-HO_3SC_6H_5 + HOH$; при сульфировании бензола (электрофильное замещение) образуется *бензолсульфо́кислота*;

«В» – $HO_3SC_6H_5 + NaOH \rightarrow C_6H_5SO_2ONa + HOH$; кислота с основанием образует *натриевую соль бензолсульфо́кислоты*;

«С» – $C_6H_5SO_2ONa + NaC\equiv N \rightarrow C_6H_5C\equiv N + Na_2SO_3$; при сплавлении с цианистым натрием соли ароматической сульфо́кислоты происходит замещение сульфо́группы на нуклеофильную частичку $C\equiv N^-$; *нитрил бензойной кислоты*;

«D» – $C_6H_5C\equiv N + 2HOH (H^+) \rightarrow C_6H_5-C(O)OH + NH_4^+$; при кислотном гидролизе нитрила образуется органическая кислота; – *бензойная кислота*;

«E» – $C_6H_5-C(O)OH + Br_2 \rightarrow m-BrC_6H_4-C(O)OH + HBr$; электрофильное галогенирование бензойной кислоты протекает в *мета*-положение, поскольку карбоксильная группа – электроноакцептор; – *мета-бромобензойная кислота*;

«F» – $m-BrC_6H_4-C(O)OH + CH_3OH \rightarrow m-BrC_6H_4-C(O)OCH_3 + HOH$; при взаимодействии кислоты и спирта образуется сложный эфир (реакция этерификации); – *метилвый эфир мета-бромобензойной кислоты*.

3.15.25. «А» – $CH_3C_6H_5 + 3Cl_2 \rightarrow C_6H_5CCl_3 + 3HCl$; хлорирование алкилбензолов в условиях радикального замещения протекает в боковую цепь; – *бензотрихлорид (фенилтрихлорометан)*;

«В» – $C_6H_5CCl_3 + HONO_2 \rightarrow m-O_2N-C_6H_4-CCl_3 + HOH$; трихлорометильный заместитель – электроноакцептор, направляет электрофильную частичку – NO_2^+ – катион нитрония – в *мета*-положение; *мета-нитробензотрихлорид*;

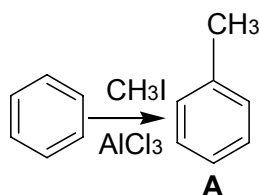
«С» – $m-O_2N-C_6H_4-CCl_3 + 3HOH \rightarrow [m-O_2N-C_6H_4-C(OH)_3] + 3HCl$; при гидролизе группы $-CCl_3$ образуется неустойчивый спирт-триол, у которого все гидроксильные группы при одном атоме углерода;

«D» – $[m-O_2N-C_6H_4-C(OH)_3] \rightarrow m-O_2N-C_6H_4-C(O)OH + HOH$; триол, отщепляя молекулу воды, превращается в кислоту; – *мета-нитробензойная кислота*;

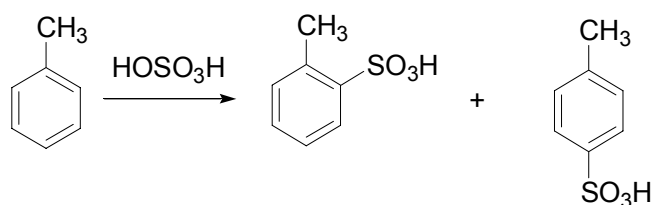
«E» – $m-O_2N-C_6H_4-C(O)OH + PCl_5 \rightarrow m-O_2N-C_6H_4-C(O)Cl + POCl_3 + HCl$; при действии на гидроксилсодержащие соединения PCl_5 гидроксил замещается на Cl ; – *хлорангидрид (м)-нитробензойной кислоты*;

«F» – $m-O_2N-C_6H_4-C(O)Cl + NaOC_2H_5 \rightarrow m-O_2N-C_6H_4-C(O)OC_2H_5 + NaCl$; в хлорангидриде галоген обладает высокой реакционной способностью и легко замещается на нуклеофильную частичку; – *этиловый эфир м-нитробензойной кислоты*.

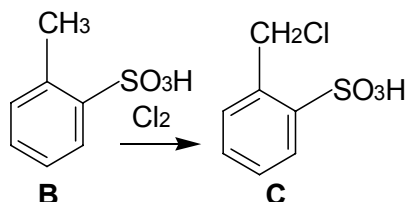
3.15.26. «А» – толуол получают из бензола алкилированием галогенопроизводным углеводов по реакции *Фриделя-Крафтса*:



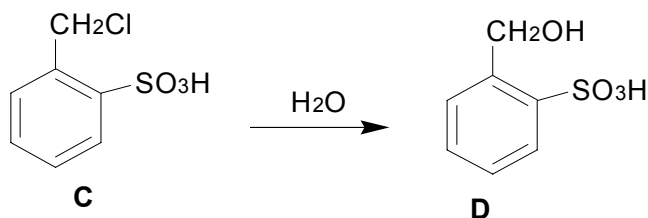
«В» – сульфирование толуола – реакция электрофильного замещения; поскольку метильная группа – электронодонор, образуются *орто*-«В» и *пара* «В'»-толуолсульфо́кислоты:



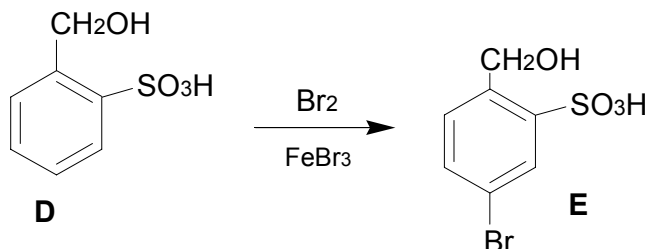
«С» – галогенирование алкилбензолов в боковую цепь – реакция радикального замещения, её проводят при нагревании, на свету, – *орто-сульфобензилхлорид*:



«D» – нуклеофильным замещением хлора на гидроксил получают – *орто-сульфобензиловый спирт*



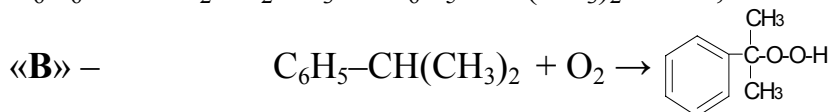
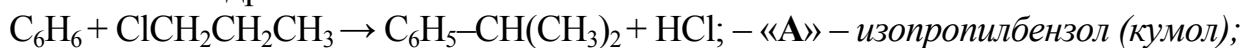
«E» – электрофильное бромирование «D» протекает преимущественно в положение 4, – *4-бromo-2-сульфобензиловый спирт* (вступление брома в положение 6 менее предпочтительно из-за объемной гидроксиметильной группы):



3.15.27.



Алкилирование бензола 1-хлорпропаном – электрофильное замещение. Однако первоначально образующийся *первичный* карбокатион быстро изомеризуется в более устойчивый *вторичный* катион, который и вступает в S_{E} реакцию с ароматическим ядром:



окисление изопропилбензола протекает по третичному атому углерода алкильного радикала с образованием – *гидроперекиси изопропилбензола (кумола)*;

«С», «D» – $C_6H_5-C(OOH)(CH_3)_2 + HOH \rightarrow C_6H_5OH\langle C \rangle + CH_3-C(O)-CH_3 \langle D \rangle$; при разложении гидроперекиси (HOH, H^+) образуются: *фенол* и *ацетон* (Сергеев-Удрис);

«E» – $C_6H_5OH + HONO_2 \rightarrow (o)-O_2N-C_6H_4-OH + HOH$; гидроксильная группа в феноле – сильный электронодонор – направляет электрофил – $^+NO_2$ – катион нитрония – в *орто*- и *пара*-положения; *орто*-нитрофенол – «E», «E'» – *пара*-изомер;

«F» – $(o)-O_2N-C_6H_4-OH + NaOH \rightarrow (o)-O_2N-C_6H_4-ONa + HOH$; фенолы обладают кислотными свойствами и при взаимодействии со щелочами образуют *феноляты*; – *(o)*-нитрофенолят натрия; *пара*-изомер напишите самостоятельно;

«G» – $(o)-O_2N-C_6H_4-ONa + BrC_2H_5 \rightarrow (o)-O_2N-C_6H_4-OC_2H_5 + NaBr$; металл в феноляте легко обменивается на углеводородный радикал при взаимодействии с галогеноалканами; – *(o)*-нитрофенилэтиловый эфир – (*простой эфир*); *пара*-изомер напишите самостоятельно.

3.15.28. «A» – $C_6H_6 + BrCH_2CH_3 \rightarrow C_6H_5C_2H_5 + HBr$; при алкилировании галогенопроизводными алканов (реакция *Фриделя-Крафтса*) образуются гомологи бензола; – *этилбензол*;

«B» – $C_6H_5C_2H_5 + HONO_2 \rightarrow (o)-O_2N-C_6H_4-C_2H_5 + HOH$; радикал этил – электронодонор и направляет электрофил в *орто*- и *пара*-положения; – *орто*-нитроэтилбензол – ; «B'» – *пара*-изомер – напишите сами;

«C» – $(o)-O_2N-C_6H_4-C_2H_5 + 3H_2 \rightarrow (o)-H_2N-C_6H_4-C_2H_5 + 2HOH$; – при восстановлении нитросоединений образуются амины (реакция *Зинина*); *орто*-аминоэтилбензол или *(o)*-этиланилин;

«D» – $(o)-H_2N-C_6H_4-C_2H_5 + CH_3C(O)OH \rightarrow CH_3COO^- +H_3N-C_6H_4-C_2H_5-(o)$; амины – органические основания – при взаимодействии с кислотами образуют соли; *уксуснокислый (o)*-этиланилин или *ацетат (o)*-этилфениламмония;

«E» – $CH_3COO^- +NH_3-C_6H_4-C_2H_5-(o) \rightarrow CH_3C(O)-HN-C_6H_4-C_2H_5-(o) + HOH$; аммонийные соли кислородсодержащих кислот при нагревании дегидратируются с образованием *амидов*; – *орто*-этилфениламид *уксусной кислоты*.

3.15.29. «A» – $C_6H_6 + Br_2 \rightarrow C_6H_5Br + HBr$; – электрофильным галогенированием бензола получают галогенопроизводные ароматических углеводородов; – *бромбензол*;

«B» – $C_6H_5Br + Mg \rightarrow C_6H_5MgBr$; – галогенопроизводные при взаимодействии с магнием в *абсолютном (безводном)* диэтиловом эфире образуют *магниорганические соединения* – *реактив Гриньяра*; *фенилмагниевый бромид*;

«C» – $C_6H_5MgBr + CO_2 \rightarrow C_6H_5-C(O)OMgBr$; связь металл–углерод непрочная и легко разрывается; CO_2 внедряется по этой связи с образованием *смешанной магниевой соли бензойной и бромистоводородной кислот*;

«D» – $C_6H_5-C(O)OMgBr + HBr \rightarrow C_6H_5-C(O)OH + MgBr_2$; – *бензойная кислота*;

«E» – $C_6H_5-C(O)OH + HONO_2 \rightarrow (m)-O_2N-C_6H_4-C(O)OH + HOH$; карбоксильная группа – электроноакцептор – направляет электрофил – $^+NO_2$ – катион нитрония – в *мета*-положение; *мета*-нитробензойная кислота;

«F» – $(m)\text{-O}_2\text{N-C}_6\text{H}_4\text{-C(O)OH} + [\text{H}] \rightarrow (m)\text{-H}_2\text{N-C}_6\text{H}_4\text{-C(O)OH}$; – при восстановлении нитрогруппы образуются амины (реакция *Зинина*); – *мета-аминобензойная кислота*.

3.15.30. «A» – $\text{C}_6\text{H}_{12} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_6 + 3\text{H}_2$; – дегидрированием циклогексана получают бензол;

«B» – $\text{C}_6\text{H}_6 + \text{HONO}_2 \rightarrow \text{O}_2\text{N-C}_6\text{H}_5$; электрофильное замещение в бензоле катионом нитрония $^+\text{NO}_2$ приводит к *нитробензолу*;

«C» – $\text{O}_2\text{N-C}_6\text{H}_5 + [\text{H}] \rightarrow \text{H}_2\text{N-C}_6\text{H}_5$; при восстановлении нитробензола получается *аминобензол*, или *анилин* (реакция *Зинина*);

«D» – $\text{H}_2\text{N-C}_6\text{H}_5 + \text{HCl} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{-NH}_3^+\text{Cl}^-$; анилин – органическое основание – с кислотами образует соли; – *гидрохлорид анилина?* или *хлорид фениламмония*;

«E» – $\text{C}_6\text{H}_5\text{-NH}_3^+\text{Cl}^- + \text{Cl}_2 \rightarrow (m)\text{-Cl-C}_6\text{H}_4\text{-NH}_3^+\text{Cl}^-$; аммонийная группа – электроноакцептор – при электрофильном замещении направляет электрофил Cl^+ в *мета-положение*; *мета-хлороанилин гидрохлорид*;

«F» – $(m)\text{-Cl-C}_6\text{H}_4\text{-NH}_3^+\text{Cl}^- + \text{NaOH} \rightarrow (m)\text{-Cl-C}_6\text{H}_4\text{-NH}_2 + \text{NaCl} + \text{HOH}$; – при действии на соль слабого основания более сильным – слабое вытесняется; – *мета-хлороанилин*.

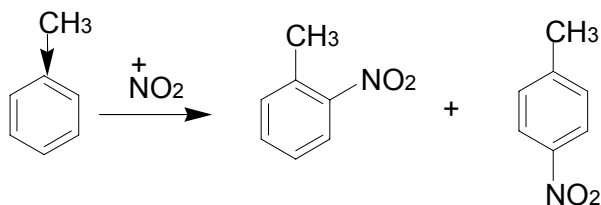
3.15.31. (вариант решения)

– $2\text{CH}_4 \rightarrow \text{HC}\equiv\text{CH} + 3\text{H}_2$; пиролизом ($t > 1000^\circ$) метана получают ацетилен;

– $3\text{C}_2\text{H}_2 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_6$; тримеризацией ацетилена ($p, t, C_{\text{акт.}}$) синтезируют бензол;

– $\text{C}_6\text{H}_6 + \text{CH}_3\text{Cl} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{-CH}_3$; алкилирование бензола (*Фридель-Крафтс*, катализатор AlCl_3) приводит к *толуолу*;

толуол нитруют смесью азотной и серной кислот (*нитрующая смесь*); образующийся *электрофильный реагент* – $^+\text{NO}_2$ – катион нитрония – направляется электронодонорным заместителем – группой CH_3 – в *орто-* и *пара-*положения:



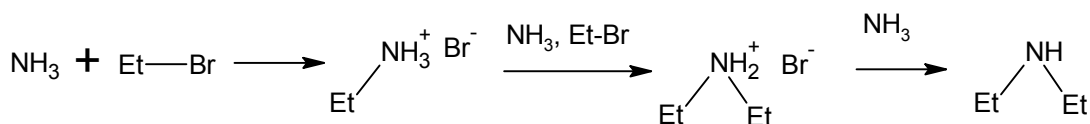
– *орто-*($t. \text{ кип. } 222\text{-}223^\circ\text{C}$) и *пара-*($t. \text{ кип. } 238^\circ\text{C}$) нитротолуолы разделяют перегонкой при пониженном давлении;

– $n\text{-O}_2\text{N-C}_6\text{H}_4\text{-CH}_3 + [\text{O}] \rightarrow n\text{-O}_2\text{N-C}_6\text{H}_4\text{-C(O)OH}$; *пара-*изомер окисляют в *пара-нитробензойную кислоту*;

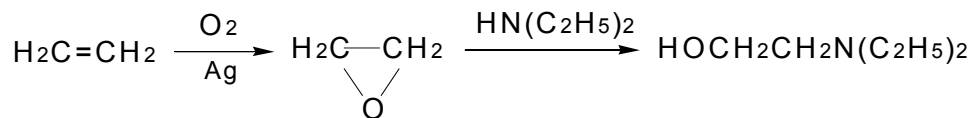
– $n\text{-O}_2\text{N-C}_6\text{H}_4\text{-C(O)OH} + [\text{H}] \rightarrow n\text{-H}_2\text{N-C}_6\text{H}_4\text{-C(O)OH}$; – восстановлением *n*-нитробензойную кислоту (*реакция Зинина*) переводят в *пара-амино бензойную*;

– $\text{HC}\equiv\text{CH} + \text{H}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$; $\text{H}_3\text{C-CH}_3 + \text{Br}_2 \rightarrow \text{H}_3\text{C-CH}_2\text{-Br} + \text{HBr}$; – гидрированием ацетилена синтезируют этан, а из него бромэтан;

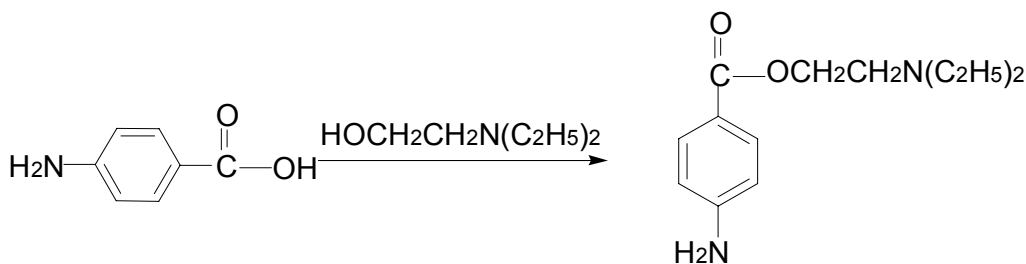
алкилированием аммиака галогеноалканами (*Гофман*; t, p) получают диэтиламин:



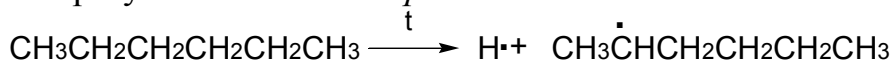
– окисление этилена кислородом воздуха (катализатор Ag) позволяет получить (эп)окись этилена, которая при взаимодействии с диэтиламино превращается в β-диэтиламиноэтиловый спирт, или 2-N,N-диэтиламиноэтанол-1:



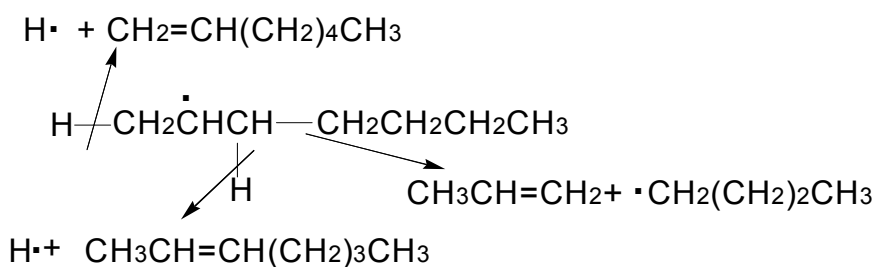
последняя стадия – синтез новокаина – реакция этерификации – взаимодействие п-аминобензойной кислоты с β-диэтиламиноэтиловым спиртом:



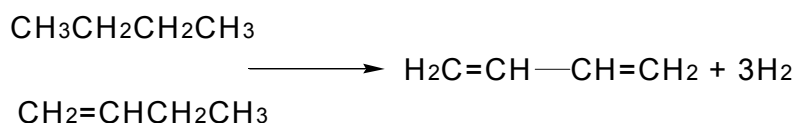
3.15.32. На первом этапе происходит гомолитический распад ковалентной связи и образуются свободные радикалы:



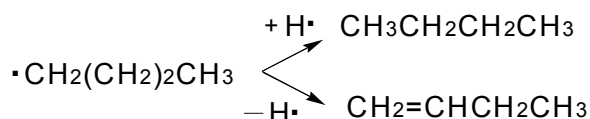
– углеводородный радикал распадается по β-связи (обозначены черточками):



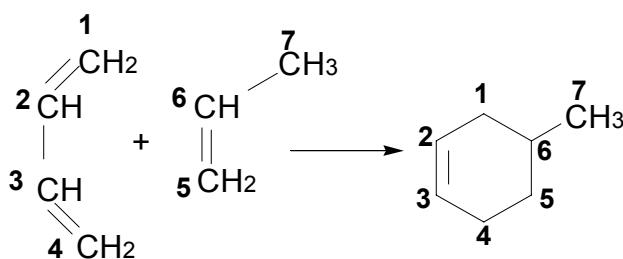
– радикал бутыл либо присоединяет атомарный водород с образованием бутана, либо теряет его, превращаясь в бутен-1:



– бутан и бутен при высокой температуре дегидрируются, превращаясь в бутадиен-1,3 (это обсуждалось при получении алкадиенов)

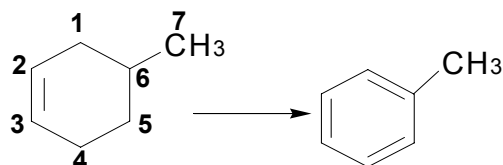


– далее происходит циклизация (диеновый синтез – реакция Дильса–Альдера); таким образом из бутадиена-1,3 и пропена образуется 4-метилциклогексен-1

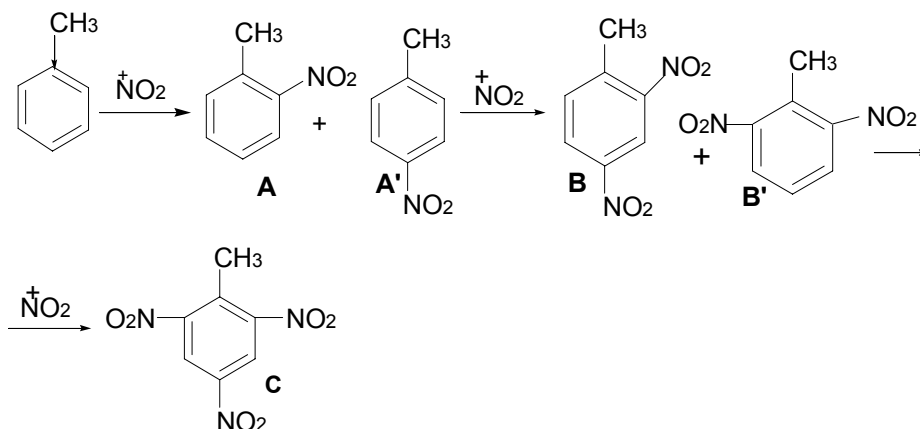


(цифры на схеме указывают номера атомов, вступающих в реакцию диенового синтеза);

– затем происходит дегидрирование метилциклогексена и получается толуол:



– нитрование толуола протекает по этапам; метильная группа – электронодонор и направляет – $^+NO_2$ – катион нитрония – электрофил – в орто- и пара- положения:



– образуются: «А» и «А'» – орто- и пара- нитролуолы; «В» и «В'» – 2,4- и 2,6- динитролуолы; «С» – 2,4,6-тринитролуол (тротил, тол).

3.15.33. (один из вариантов решения):

$2CH_4 \rightarrow HC\equiv CH + 3H_2$; пиролизом ($t > 1000^0$) метана получают ацетилен;

$3C_2H_2 \rightarrow C_6H_6$; тримеризацией ацетилена (р, т, $C_{акт.}$) синтезируют бензол;

$C_6H_6 + CH_3Cl \rightarrow C_6H_5-CH_3$; алкилирование бензола (Фридель-Крафтс, катализатор $AlCl_3$) приводит к толуолу;

$C_6H_5-CH_3 + Br_2 \rightarrow o-Br-C_6H_4-CH_3 + p-Br-C_6H_4-CH_3$; бромированием толуола (катализатор $FeBr_3$) получают орто- и пара-бромтолуол;

$p-Br-C_6H_4-CH_3 + O_2 \rightarrow p-Br-C_6H_4-C(O)OH$; пара-изомер окисляют (O_2 , катализатор – оксид металла, например, V_2O_5) до п-бромобензойной кислоты;

$p-Br-C_6H_4-C(O)OH + KCN \rightarrow p-N\equiv C-C_6H_4-C(O)OH + KBr$; взаимодействием п-бромбензойной кислоты с цианидом калия синтезируют нитрил п- (карбоксифенил)уксусной кислоты;

$p-N\equiv C-C_6H_4-C(O)OH + 2H_2 \rightarrow p-H_2NCH_2-C_6H_4-C(O)OH$; восстановлением нитрила получают п-аминометилбензойную кислоту.

3.15.34. «А» – $2\text{CH}_4 \rightarrow \text{HC}\equiv\text{CH} + 3\text{H}_2$; пиролизом ($t > 1000^0$) метана получают ацетилен;

«В» – $\text{HC}\equiv\text{CH} + \text{H}-\text{C}\equiv\text{N} \rightarrow \text{CH}_2=\text{CH}-\text{C}\equiv\text{N}$; – ацетилен присоединяет синильную кислоту с образованием нитрила акриловой кислоты;

«С» – $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{C}\equiv\text{N} + 3\text{HOH} (\text{H}^+) \rightarrow \text{CH}_2=\text{CH}-\text{C}(\text{O})\text{OH} + \text{NH}_4^+$; кислотным гидролизом синтезируют акриловую кислоту;

«D» – $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{C}(\text{O})\text{OH} + \text{HBr} \rightarrow \text{Br}-\text{H}_2\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}(\text{O})\text{OH}$; гидробромирование «С» протекает против правила Марковникова, поскольку карбоксильная группа электроноакцептор; – 3-бромпропановая кислота;

«Е» – $\text{Br}-\text{H}_2\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}(\text{O})\text{OH} + \text{KCN} \rightarrow \text{N}\equiv\text{C}-\text{H}_2\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}(\text{O})\text{OH} + \text{KBr}$; нуклеофильным замещением брома на цианид-анион синтезируют нитрил янтарной (бутандиовой) кислоты;

«F» – $\text{N}\equiv\text{C}-\text{H}_2\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}(\text{O})\text{OH} + [\text{H}] \rightarrow \text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}(\text{O})\text{OH}$; восстановление нитрильной группы позволяет получить 3-аминобутановую кислоту (γ -аминомасляную).

НЕКОТОРЫЕ ПОЛЕЗНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Природные источники углеводородов.

Природный газ – на 98% состоит из метана.

Попутный газ растворен в нефти и выделяется при её добыче; состоит из углеводородов $\text{C}_1 - \text{C}_4$ (метан, этан, пропан, бутан); содержание их колеблется в зависимости от месторождения нефти и глубины её залегания под землей.

Нефть – в основном смесь различных соединений углерода и водорода (углеводородов); в зависимости от месторождения углеводородный состав различен (преобладают те или иные классы углеводородов).

Церезин – смесь предельных углеводородов $\text{C}_{36} - \text{C}_{55}$; выделяют из озокерита (горный воск); используют: как компонент смазок, для изготовления свечей, пропитки упаковочных и изоляционных материалов, в парфюмерии.

Газы используют как топливо и как сырье для нефтехимии (производство мономеров и полимеров из них).

Уголь состоит из углерода и примесей. При нагревании угля без доступа воздуха происходит его термическое разложение и химические превращения. Образуются: кокс (используется в металлургии); горючий газ; каменно-угольная смола, в которой много различных углеводородов, в том числе бензол.

Нефть

Нефть называют «черным золотом», поскольку на сегодняшний день это основной источник топлива (бензин, керосин, дизельное и авиационное); смазочных масел; сырья для получения полимерных материалов. Залегает нефть на глубине 1-2 км и более. Нефть – маслянистая жидкость от светло-коричневого до темного цвета со специфическим запахом (в зависимости от месторождения). Это сложная смесь углеводородов – парафины (алканы), циклопарафины (нафтены – от слова «нафта» – нефть), ароматические (арены).

Считают, что нефть – продукт превращения останков простейших организмов, существовавших в теплых и мелководных бассейнах минувших геологических эпох.

Может возникнуть вопрос: как такие количества нефти образовались из простейших организмов? Для справки – зеленая диатомовая водоросль в наиболее благоприятных условиях развития может за месяц дать $2 \cdot 10^{19}$ тонн вещества, т.е. массу, равную весу всего поверхностного слоя Земли толщиной в 16 км.

Нефти различных месторождений сильно различаются по составу. Средний элементный состав нефти: С 82-87%, Н 11-14%, S 0,1-5,5%; содержание N и O обычно не превышает десятых долей процента.

Добывают нефть посредством буровых скважин. В начале от нефти отделяют *попутный газ*, затем пластовую воду с растворенными в ней минеральными солями. По трубопроводам нефть доставляют на нефтеперерабатывающие заводы.

На заводах нефть при повышенных температурах подвергают *прямой гонке*, собирая *фракции* (углеводороды, *выкипающие в определенном интервале температур*); высококипящий остаток (*мазут*) перегоняют при пониженном давлении (под вакуумом).

Некоторые продукты переработки нефти

Бензин – смесь углеводородов различного строения C_5-C_{12} , жидкость, плотность 0,70-0,78 г/см³. Получают перегонкой (*дистилляцией*) нефти – *прямогонный бензин*; содержит (в среднем): 3-10% ароматических, 12-30% циклопарафиновых, 60-80% парафиновых, 1-2% непредельных углеводородов и до 0,2% серы.

Бензин получают и при переработке продуктов *крекинга* (процесс, проводимый при температурах 400-550°C для разрушения больших углеродных цепочек, например, $C_{16}-C_{30}$).

Газовый бензин (имеет высокую летучесть) – углеводороды C_5-C_6 , используется как компонент для запуска двигателей в зимнее время.

Уайт-спирит – узкая фракция бензина применяют как растворитель красок.

Бензин «галоша» – фракция с т. кип. 80-120°C используют как растворитель в производстве резиновых клеев.

Керосин – смесь углеводородов C_9-C_{16} , жидкость, т. кип. 200-300°C, плотность 0,790-0,846 г/см³. Содержит: 23-60% алканов, 24-58% циклопарафинов, 6-15% аренов, до 1% алкенов. Сорты: авиационный, осветительный, растворитель, технический (для нефтеперерабатывающей промышленности).

Дизельное топливо – смесь жидких углеводородов; т. кип. 180-360°C, плотность 0,790-0,860 г/см³. Важные показатели: *цетановое число*, содержание серы – менее 0,2%.

Газойль – смесь углеводородов различного строения, $C_{15}-C_{20}$; жидкость, т. кип. 220-450°C, плотность 0,820-0,919 г/см³. Газойль с т. кип. до 400°C – компонент дизельных топлив (до 20%); применяют как сырье для *крекинга* и *пиролиза* (процесс при температурах выше 750°C).

Газотурбинное топливо – смесь углеводородов; жидкость; т. кип. 150-380⁰С, плотность $\leq 0,935$ г/см³.

Реактивное топливо – смесь алканов (20-60%), циклопарафинов (20-60%), аренов (18,5-20%), алкенов (0,3-1%); содержание: серы – 0,05-0,1%, соединений кислорода и азота 0,05-0,15%; жидкость, т. кип. 170-315⁰С, плотность 0,775-0,840 г/см³.

Нефтяные масла (минеральные масла) – жидкие смеси высококипящих углеводородов (т. кип. 300-600⁰С); по областям применения – *смазочные, электроизоляционные, консервационные масла*. Для придания маслам необходимых свойств вводят присадки.

Котельное топливо – смесь высококипящих углеводородов; используется в качестве топлива для судовых и стационарных паровых котлов, котельных установок, промышленных печей. Темно-коричневая жидкость; температура застывания от –5 до +25⁰С; плотность 0,940-1,010 г/см³; содержит до 20% примесей: сера-, азот-, кислород- содержащие производные углеводородов. Получают смешением остаточных продуктов нефтепереработки (например, мазута, остатка от крекинг-процесса, гудрона).

Гудрон – остаток, образующийся при дистилляции нефти после отгонки низко- и высококипящих фракций; черная вязкая масса, плотность 0,950-1,000 г/см³. Применяют: для получения смазочных масел, битумов (для изготовления асфальта), нефтяного кокса (металлургия); сырье для термического крекинга.

О ЦВЕТЕ

Человеческий глаз воспринимает вещества окрашенными, если они поглощают лучи света в видимой области спектра (400–760 нм); при этом глаз видит предмет, окрашенный в цвет, дополнительный к поглощаемому. *Красителями* называют вещества, которые приобретают цветность, видимую глазом, за счёт избирательного поглощения некоторых лучей света в видимой области спектра. Если краситель поглощает свет с *длиной волны 435-480 нм* (нанометров), то такое вещество обладает жёлтым цветом; если же оно поглощает лучи света с *длиной волны 480–500 нм*, то такой краситель является красным. Синие красители поглощают в области длин волн *580–595 нм*, а зелёные — в области *730-760 нм*. Чёрные красители поглощают лучи света во всём видимом диапазоне длин волн — от 400 до 760 нм, а бесцветным называют вещество неокрашенное, прозрачное, так как оно пропускает через себя все лучи без поглощения. Белым красителем является вещество, которое полностью отражает свет всех длин волн (Табл.).

Яркие окраски обусловлены поглощением света в узком диапазоне волн, неяркие (например, *коричневый, бордо, хаки*) – в широком; *серая* и *чёрная* – поглощением практически во всей видимой области спектра; непрозрачное тело, отражающее все лучи видимого спектра, *бесцветно*.

Зависимость цвета от длины волны

Длина волны, <i>нм</i>	Спектральный цвет (поглощенное излучение)	Дополнительный цвет (цвет окраски предмета)	От зеленовато-жёлтого к зелёному (сверху↓ вниз) – углубление цвета – (<u>батохромный сдвиг</u>). От зелёного к зеленовато-желтому (снизу ↑ вверх) – повышение цвета – (<u>гипсохромный сдвиг</u>).
400-435	Фиолетовый	Зеленовато-жёлтый	
435-480	Синий	Жёлтый	
480-490	Зеленовато-синий	Оранжевый	
490-500	Синевато-зелёный	Красный	
500-560	Зелёный	Пурпурный	
560-580	Желтовато-зелёный	Фиолетовый	
580-595	Жёлтый	Синий	
595-605	Оранжевый	Зеленовато-синий	
605-730	Красный	Синевато-зелёный	
730-760	Пурпурный	Зелёный	

Учебное издание

Гуревич Пётр Аркадьевич
доктор химических наук, профессор КНИТУ

Сафиуллина Татьяна Рустамовна
кандидат химических наук, доцент, декан технологического факультета НХТИ

Хусаинов Михаил Авзалович
кандидат химических наук, профессор КНИТУ

Нуртдинов Рушан Хамитович
учитель химии лицея-интерната № 7 (г. Казань)

ХИМИЯ В ЗАДАЧАХ
(с решениями и объяснениями)
УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

Корректор Габдурахимова Т.М.
Худ.редактор Федорова Л.Г.

Сдано в набор 25.06.2012
Подписано в печать 26.06.2012.
Бумага писчая. Гарнитура Таймс.
Усл.печ.л. 8,25. Тираж 100.
Заказ №36.

НХТИ (филиал) ФГОУ ВПО «КНИТУ»,
г.Нижнекамск, 423570, ул.30 лет Победы, д.5а.

