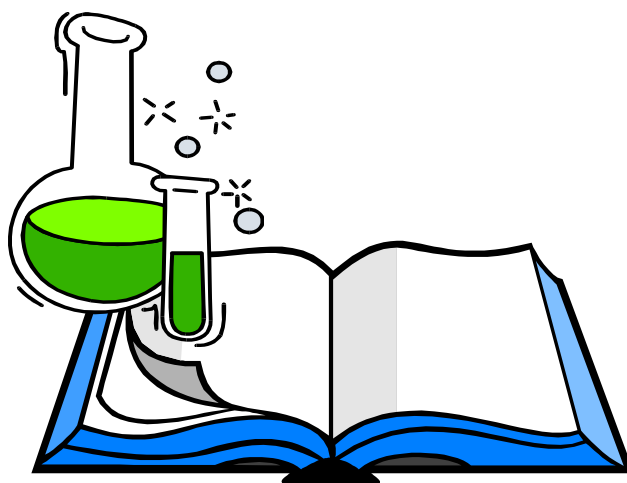


ДЕПАРТАМЕНТ ОБРАЗОВАНИЯ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ
ЦЕНТР ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ДЕТЕЙ
«ОДАРЕННЫЙ ШКОЛЬНИК»

ХИМИЧЕСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ



О. В. Навалихина

КАЧЕСТВЕННЫЕ РЕАКЦИИ органических соединений

Учебное пособие

Киров
2010

ББК 74.26
Н-15

Рецензент: **Л. А. Храмова**, педагог дополнительного образования ЦДООШ.

Н-15 Навалихина О. В. Качественные реакции органических соединений. Учебное пособие. Для учащихся КЦДООШ. – Киров: КЦДООШ, 2010. – 38 с.

Учебное пособие посвящено качественному определению органических соединений различных классов. Пособие будет полезно не только учащимся заочного химического отделения КЦДООШ, но и абитуриентам при подготовке к вступительным экзаменам, студентам вузов, изучающим химию, и учителям средних школ. Можно использовать данное пособие и при подготовке к олимпиаде школьников по химии.

© КЦДООШ, 2010
© О. В. Навалихина, 2010

Качественный элементный анализ органических веществ

Элементный анализ предполагает обнаружение в органических соединениях наиболее часто встречающихся химических элементов: углерода, водорода, кислорода, азота, серы, фосфора и галогенов.

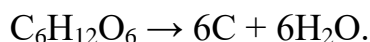
Так как атомы химических элементов в органическом веществе обычно связаны между собой прочными ковалентными связями, обнаружить их обычными методами химического анализа невозможно. Поэтому для доказательства наличия того или иного химического элемента вещество сначала разрушают (минерализуют). При этом атомы исследуемых элементов переходят в неорганические вещества углерод – в оксид углерода (IV), водород – в воду, азот – в цианид-ион, сера – в сульфид-ион, атомы галогенов – в соответствующие галогенид-ионы.

Обнаружение углерода

1. Проба на обугливание

Обугливание – самая простая проба на обнаружение углерода в органических веществах. Некоторые органические вещества обугливаются, т. е. превращаются в сажу и чернеют при прокаливании (нагревании при высокой температуре без доступа воздуха, чтобы предотвратить горение), в других случаях используют сильные водоотнимающие средства, чаще всего концентрированную серную кислоту.

Например, на глюкозу можно подействовать концентрированной серной кислотой, она обуглится:



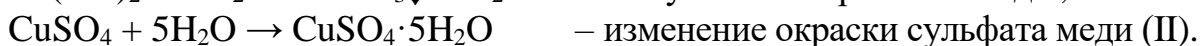
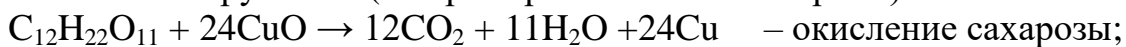
2. Окисление оксидом меди (II)

Данная реакция позволяет одновременно открыть в органическом веществе и углерод, и водород. Это наиболее универсальный метод, при котором углерод превращается в оксид углерода (IV), водород – в воду.

Реакцию проводят в сухой пробирке, в которую помещают смесь твердого органического вещества с черным порошком оксида меди (II). В пробирку также помещают ватку с насыпанным на нее порошком прокаленного сульфата меди (II) белого цвета. Пробирку закрывают пробкой с газоотводной трубкой, конец которой помещают в пробирку с известковой (или баритовой) водой. Реакционную пробирку нагревают.

В процессе окисления органического вещества образуется углекислый газ, вызывающий помутнение известковой (баритовой) воды. Выделяющийся водяной пар связывается безводным сульфатом меди (II) в кристаллогидрат, имеющий ярко-голубую окраску.

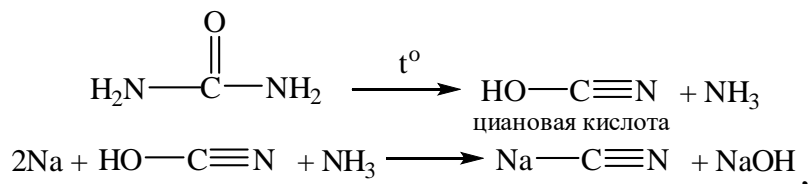
Химизм обнаружения (на примере окисления сахарозы):



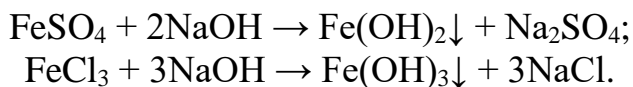
Обнаружение азота сплавлением органического вещества с металлическим натрием

Принцип данного метода состоит в том, что при сплавлении вещества с металлическим натрием органическое соединение разрушается, а содержащийся в нем азот образует с углеродом и натрием цианид натрия. Последний обнаруживают, переводя его в берлинскую лазурь.

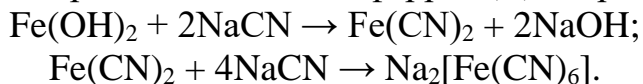
В сухую пробирку помещают органическое азотсодержащее вещество (например, мочевины $\text{H}_2\text{N}-\text{CO}-\text{NH}_2$) и небольшой кусочек металлического натрия, очищенного от оксидной пленки. Осторожно нагревают пробирку в пламени горелки. Через некоторое время происходит вспышка, пробирку нагревают до красного каления еще несколько минут. Натрий и азотсодержащее вещество одновременно плавятся. Затем пробирку охлаждают, а получившийся плав растворяют в воде. К раствору добавляют раствор сульфата железа (II) и раствор хлорида железа (III). Так как среда в растворе цианида натрия щелочная



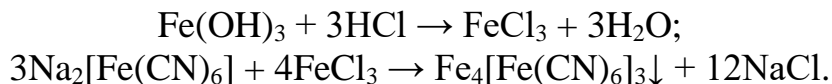
то выпадают осадки гидроксидов железа (II) зеленоватого цвета и железа (III) бурого цвета:



Содержимое пробирки перемешивают. Цианид натрия с гидроксидом железа (II) образует растворимый гексацианоферрат (II) натрия:



Затем содержимое пробирки подкисляют раствором соляной кислоты. Осадок смеси гидроксидом железа (II) и (III) растворяется, и появляется синяя окраска (берлинская лазурь). Через некоторое время в пробирке выпадает синий осадок. Берлинская лазурь образуется при взаимодействии гексацианоферрата (II) натрия с ионами Fe^{3+} :

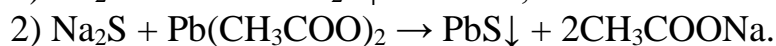
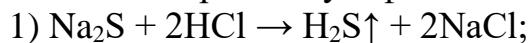


Обнаружение серы сплавлением органического вещества с металлическим натрием

Обнаружение серы также начинается с разрушения органического соединения сплавлением с металлическим натрием. При этом сера переходит в сульфид натрия, а сульфид-ион далее открывают обычными качественными реакциями: выделение сероводорода – газа со специфическим запахом тухлых яиц при добавлении сильной кислоты, а также по образованию черного осадка сульфида свинца (II) при добавлении раствора соли Pb^{2+} к раствору плава.

Опыт проводят аналогично предыдущему.

Химизм открытия сульфид-иона:



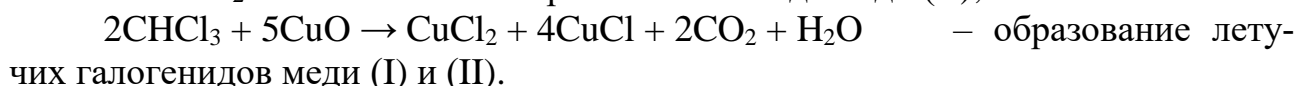
Обнаружение галогенов

Проба Бейльштейна

При прокаливании органического вещества с оксидом меди (II) происходит его окисление. При этом галогены (кроме фтора) образуют с медью летучие галогениды, которые окрашивают пламя в ярко-зеленый цвет. Реакция очень чувствительна, однако следует иметь в виду, что и некоторые другие соли меди (например, цианиды) также окрашивают пламя.

Опыт проводят следующим образом. Петлю из медной проволоки прокаливают в пламени горелки до прекращения окрашивания пламени и образования на поверхности черного налета оксида меди (II). Затем остывшую петлю смачивают органическим галогенсодержащим веществом (например, хлороформом CHCl_3) и снова вносят в пламя горелки. Сначала пламя становится светящимся (сгорает углерод), затем появляется зеленое окрашивание.

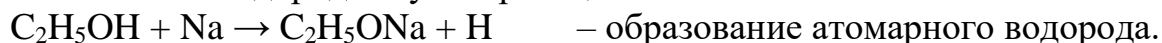
Химизм определения:



Проба Степанова

К сожалению, проба Бейльштейна не позволяет определить, атомы какого галогена входят в состав органического вещества. Поэтому дополнительно можно провести реакцию с нитратом серебра после восстановления галогена водородом в момент выделения. Галоген при этом отщепляется в виде галогенид-иона, который можно открыть обычными качественными реакциями.

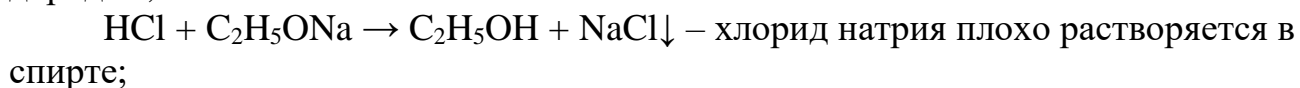
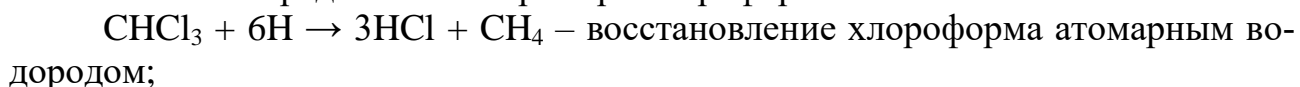
Источником водорода служит реакция:



Для реакции берут спиртовой раствор галогенсодержащего органического вещества, добавляют небольшой кусочек очищенного от оксидной пленки металлического натрия. Начинается энергичная реакция с выделением водорода, пробирка разогревается. Ее закрывают пробкой с газоотводной трубкой и поджигают выделяющийся водород.

Когда выделение водорода закончится, а натрий полностью растворится, к реакционной смеси добавляют небольшое количество воды. Щелочной раствор подкисляют несколькими каплями азотной кислоты, а затем добавляют раствор нитрата серебра. Выпадет осадок, по цвету которого можно судить, какой галоген входил в состав молекулы органического соединения.

Химизм определения на примере хлороформа:



$C_2H_5ONa + H_2O \leftrightarrow C_2H_5OH + NaOH$ – гидролиз этилата натрия при добавлении воды;

$NaOH + HNO_3 \rightarrow NaNO_3 + H_2O$ – нейтрализация щелочного раствора;

$AgNO_3 + HCl \rightarrow AgCl \downarrow + HNO_3$ – образование осадка хлорида серебра.

Цвет осадка зависит от природы галогена: $AgCl$ – белый, $AgBr$ – желтоватый, AgI – желтый осадок.

Функциональный анализ органических соединений

В отличие от анализа неорганических веществ, в котором используются свойства образующих их ионов, основу анализа органических соединений составляют свойства функциональных групп.

Функциональные группы – это связанные с углеводородным радикалом отдельные атомы или групп атомов, которые вследствие своих характерных свойств могут быть использованы для цели идентификации и количественного определения органического соединения.

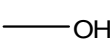
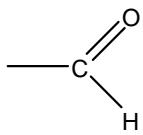
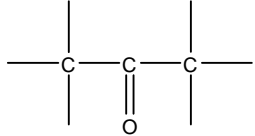
Знание свойств функциональных групп дает возможность предсказать способы испытаний любого органического вещества, т. к. реакции на их основе носят универсальный характер. Наличие нескольких функциональных групп оказывает влияние на эффекты некоторых общих реакций и на свойства продуктов, образующихся в результате их протекания. Это придает избирательность подобным реакциям, дает возможность обнаружить в смесях одним реактивом близкие по строению органические вещества.

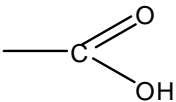
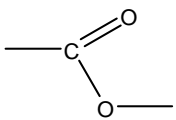
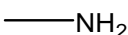
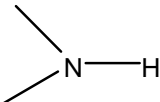
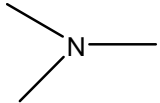
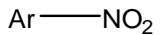
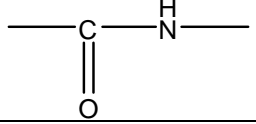
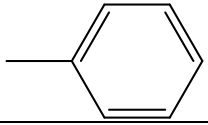
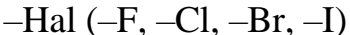
В настоящем пособии рассматриваются свойства функциональных групп, обуславливающие реакции, которые по условиям выполнения и сопровождающим их эффектам позволяют использовать их в обнаружении органических соединений разных классов. Многие реакции органических соединений протекают количественно и стехиометрично и могут быть использованы как в качественном, так и в количественном анализе.

Классификация функциональных групп основана на названиях входящих в них элементов. Она до некоторой степени условна, т. к. многие из них являются смешанными.

Таблица 1

Примеры функциональных групп

Функциональная группа	Название	Класс соединений
Кислородсодержащие функциональные группы		
	гидроксильная	спирты, фенолы
	карбонильная (альдегидная)	альдегиды
	карбонильная (кетонная)	кетоны

	карбоксильная	карбоновые кислоты
	сложноэфирная	сложные эфиры
Азотсодержащие функциональные группы		
	Первичная аминогруппа	Первичные амины
	Вторичная аминогруппа	Вторичные амины
	Третичная аминогруппа	Третичные амины
	Ароматическая нитрогруппа	Ароматические нитросоединения
	Амидная группа	Амиды
Прочие функциональные группы		
	Фенильный радикал	Арены
	Галоген	Галогенопроизводные

Качественные реакции углеводородных соединений с кратными связями

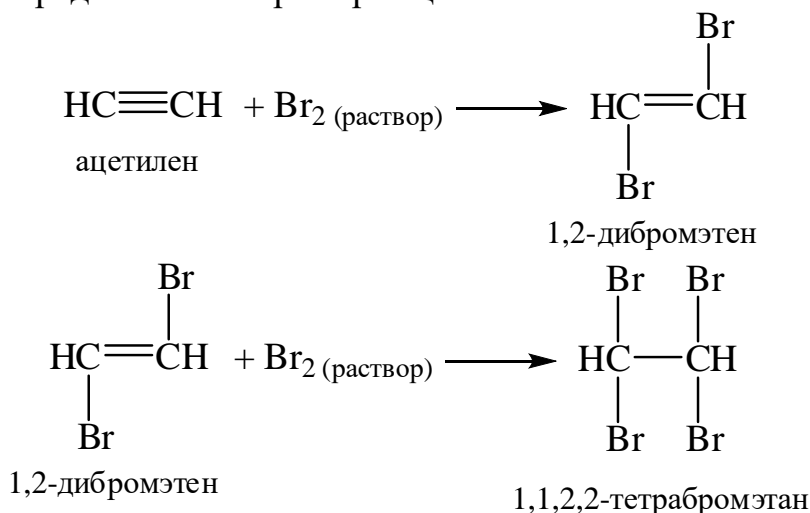
Вещества, содержащие в своем составе кратные связи, – непредельные соединения, склонные к реакциям присоединения, которые сопровождаются разрывом π -связей в молекулах.

1. Обесцвечивание бромной воды

Бромной водой называют раствор молекулярного брома в воде, в зависимости от концентрации он представляет собой жидкость от красно-коричневого до желто-оранжевого цвета со специфическим запахом.

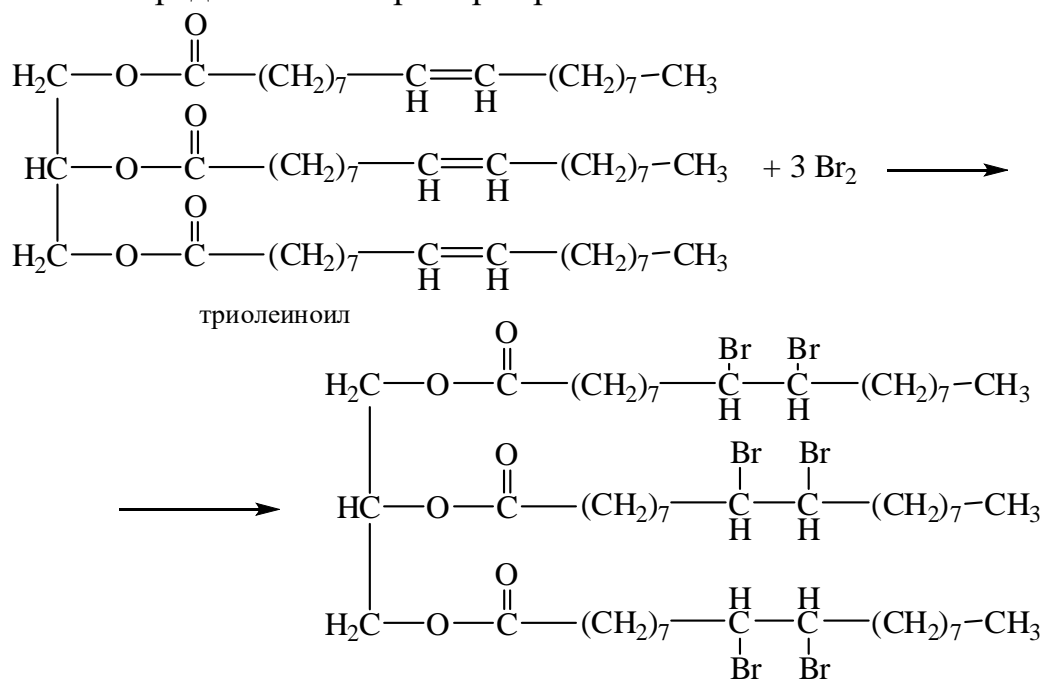
При взаимодействии непредельного соединения с бромной водой, происходит образование ди- или полибромпроизводных, которые, как правило, не имеют окраски, т. е. наблюдается обесцвечивание бромной воды.

Химизм определения на примере ацетилена:



Подобным образом с бромной водой реагируют алкены, алкины, алкадиены и другие соединения, содержащие кратные связи. Так, с помощью данной реакции можно доказать непредельный характер остатков высших жирных кислот, входящих в состав растительных масел.

Химизм определения на примере триолеиноила:



При этом наблюдается обесцвечивание бромной воды и частичное затвердевание жира.

2. Обесцвечивание раствора перманганата калия

При взаимодействии с раствором перманганат калия непредельное соединение подвергается окислению, а перманганат-ион восстанавливается до оксида марганца (IV) в нейтральной среде или до соли марганца (II) – в кислой. Реакция сопровождается изменением окраски от розово-фиолетовой (в зависимости от концентрации KMnO_4) до бесцветной, в нейтральной среде оксид марганца (IV) образует коричневый осадок.

Продуктом окисления алкенов в нейтральной среде является двухатомный спирт (диол), окисление алкинов идет глубже – до соответствующих ди-

карбоновых кислот, а также может сопровождаться разрывом не только π -, но и σ -связи. Конечным продуктом окисления в этом случае будет углекислый газ.

Химизм определения

– на примере этилена:



— на примере ацетилена:



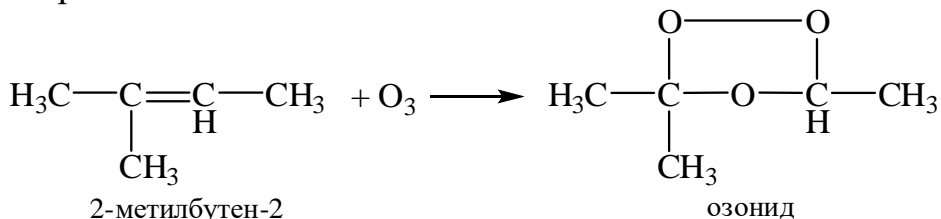
3. Озонолиз

Для алкенов и соединений, содержащих в своем составе двойную связь, характерной является реакция озонлиза, по продуктам которой можно установить строение исходного вещества.

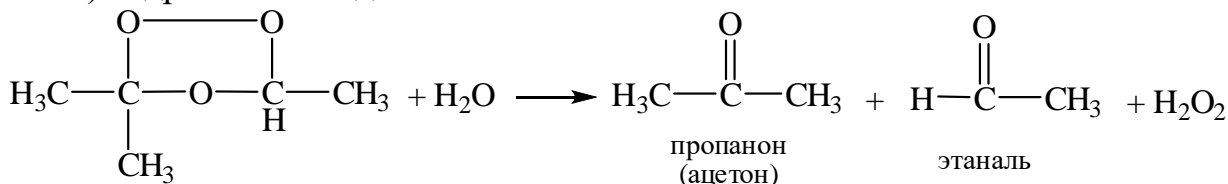
Реакция состоит из двух стадий. На первой стадии происходит разрыв σ - и π -связи и образование озонида – соединения, содержащего перекисную группу $-\text{O}-\text{O}-$. На второй стадии озонид гидролизуется с образованием смеси продуктов.

Химизм определения на примере 2-метилбутена-2:

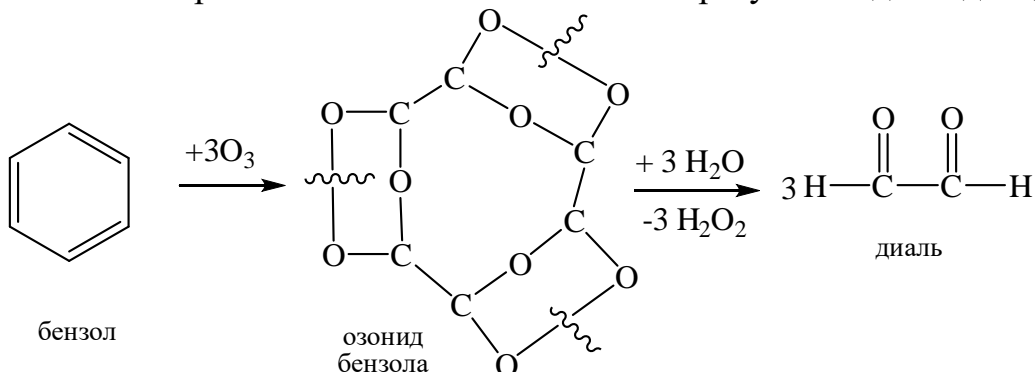
1) озонирование:



2) гидролиз озонида:



Аналогично при озоноллизе 1 моль бензола образуется 3 диальдегида:

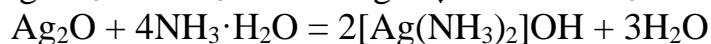


4. Образование ацетиленидов

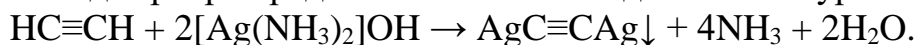
Соединения, содержащие тройную связь на конце молекулы (алкины-1, терминальные), способны проявлять кислотные свойства и образовывать соли с аммиачным раствором оксида серебра (I) или меди (I).

Аммиачный раствор оксида серебра получают прибавлением раствора аммиака к раствору нитрата серебра. При этом сначала образуется осадок окси-

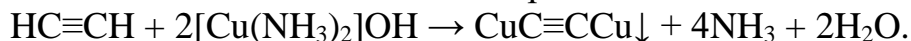
да серебра, который затем растворяется в избытке раствора аммиака с образованием комплексного гидроксида диамминсеребра:



Ацетиленид серебра представляет собой осадок желто-бурого цвета:

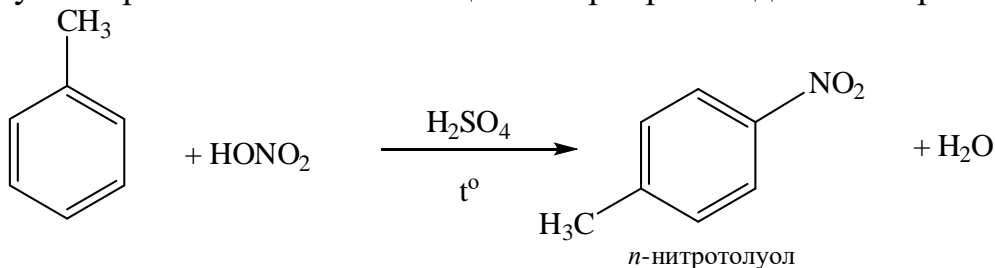


Аналогично идет реакция и с аммиачным раствором оксида меди (I) при этом образуется ацетиленид меди – осадок красного цвета:



Нетерминальные алкины, кислотными свойствами не обладают и солей серебра и меди не образуют.

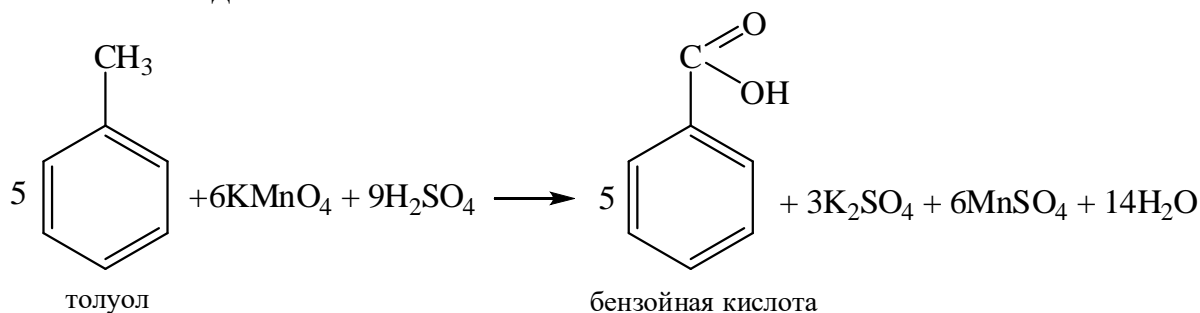
Для **аренов**, т. е. ароматических соединений, имеющих в молекуле общую π -электронную систему, качественных реакций не выявлено. Однако многие из них образуют окрашенные в желтый цвет нитропроизводные. Например:



Для того чтобы отличить бензол от его первого гомолога – толуола можно использовать следующие реакции.

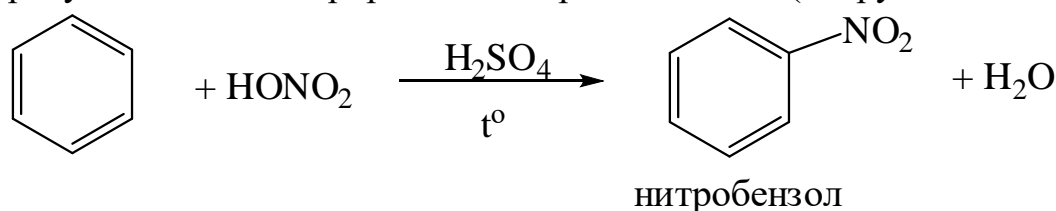
1. Отношение к раствору перманганата калия

Окисление толуола перманганатом калия лучше протекает в кислой среде, при этом толуол окисляется до бензойной кислоты, а перманганат-ион восстанавливается до Mn^{2+} :



2. Реакция нитрования

Бензол с трудом, но вступает в реакцию нитрования с образованием нитробензола, имеющего характерный запах *горького миндаля* и окрашенного в бледно-желтый цвет. Нитрование проводят концентрированной азотной кислотой в присутствии концентрированной серной кислоты (нитрующая смесь):



Качественные реакции веществ, содержащих спиртовую гидроксигруппу

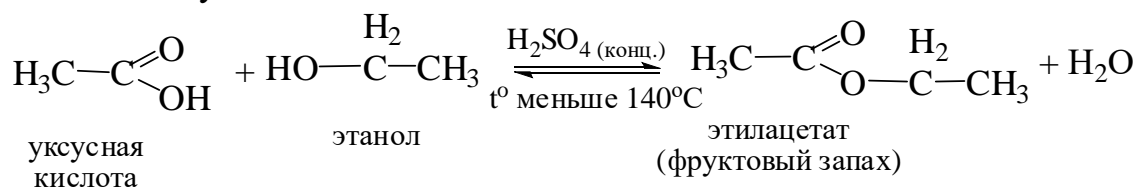
Спиртовый гидроксил -ОН – это гидроксил, связанный с алифатическим углеводородным радикалом. Его содержат соединения класса спиртов (одноатомных и многоатомных); карбоновых кислот, оксикарбоновых кислот (например, молочная кислота), терпенов (например, ментол), углеводов и некоторых других.

На основе свойств спиртового гидроксила в анализе содержащих его веществ используются следующие реакции.

1. Реакция этерификации – взаимодействие с карбоновыми кислотами или их ангидридами с образованием сложных эфиров.

В случае низкомолекулярных соединений эфиры обнаруживают по характерному запаху, при анализе спиртов с образованием сложных эфиров высокой молекулярной массы – по температуре плавления эфира.

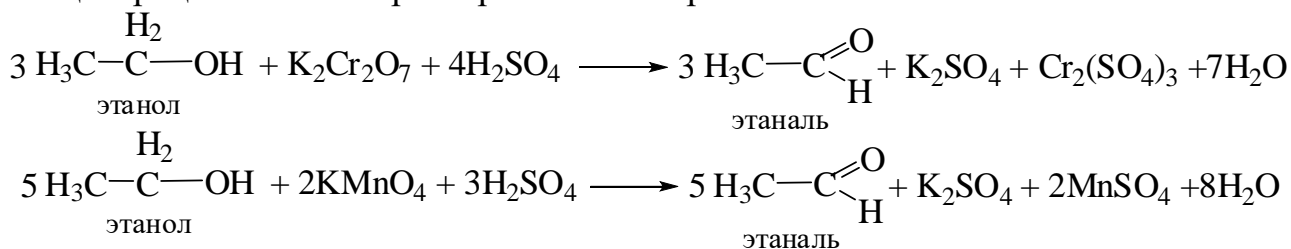
Реакция этерификации обратима, чаще всего протекает при нагревании с каталитическим участием ионов H^+ .

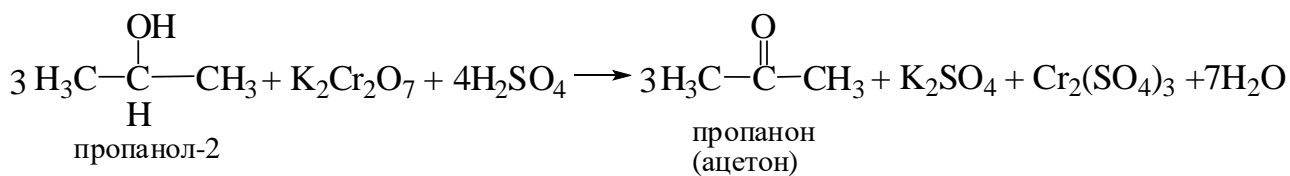


2. Реакция окисления

Она основана на свойстве спиртов окисляться до альдегидов, которые обнаруживают по запаху или качественными реакциями. В качестве реагентов используют различные окислители: перманганат калия, дихромат калия, гексоцианоферрат (III) калия и другие. Наибольшую аналитическую ценность имеет перманганат, который, восстанавливаясь, меняет степень окисления с Mn^{+7} до Mn^{+2} и обесцвечивается, т. е. обеспечивает визуальный эффект. Обычно окисление происходит до альдегидов и карбоновых кислот (в случае первичных спиртов) или кетонов (вторичные спирты. Третичные спирты устойчивы к действию окислителей.

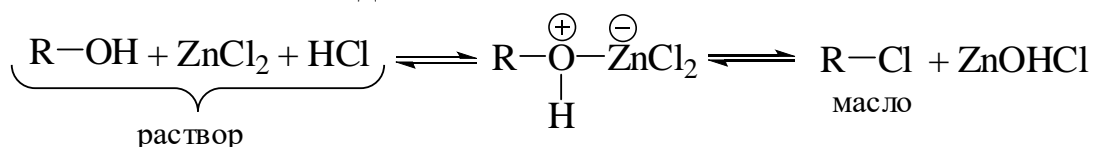
Типичными окислителями являются перманганат калия или дихромат калия в кислой среде. В ходе реакции происходит изменение окраски растворов: раствор перманганата калия обесцвечивается, а раствор дихромата меняет окраску с оранжевой на зеленую. Образующиеся альдегиды часто имеют запах, отличный от запаха исходного спирта; так, ацетальдегид (этаналь) в небольших концентрациях имеет характерный запах прелых яблок.





3. Проба Лукаса

Реактив Лукаса состоит из смеси концентрированной хлороводородной кислоты и хлорида цинка. При взаимодействии безводного спирта с реагентом Лукаса протекает реакция, приводящая к хлоралкану, который выделяется в виде тяжелой маслянистой жидкости:

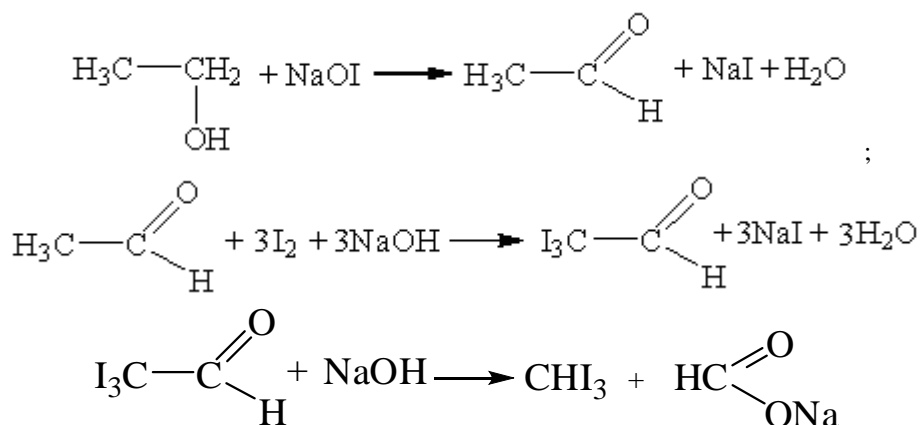


Эта реакция позволяет различить первичные, вторичные и третичные спирты. Третичные спирты реагируют с реактивом Лукаса почти мгновенно с выделением тепла и образованием маслянистого слоя хлоралкана. Вторичные спирты реагируют в течение 5 минут, при этом также образуется маслянистый слой. Первичные спирты при комнатной температуре не реагируют (даже при стоянии в течение 1 часа маслянистый слой не образуется), однако вступают в реакцию при нагревании.

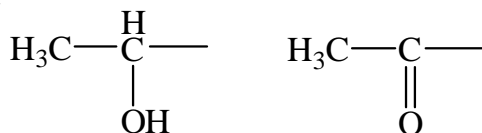
В реакции с реактивом Лукаса (с HCl) спирты проявляют основные свойства, которые наиболее характерны для третичных спиртов.

4. Иодоформная реакция

Этиловый спирт в щелочной среде может окисляться йодом до соли уксусной кислот, при этом выпадает мелкокристаллический осадок светло-желтого цвета – иодоформ (трийодметан) – со специфическим «аптечным» запахом. Процесс образования иодоформа можно представить следующими уравнениями реакций:

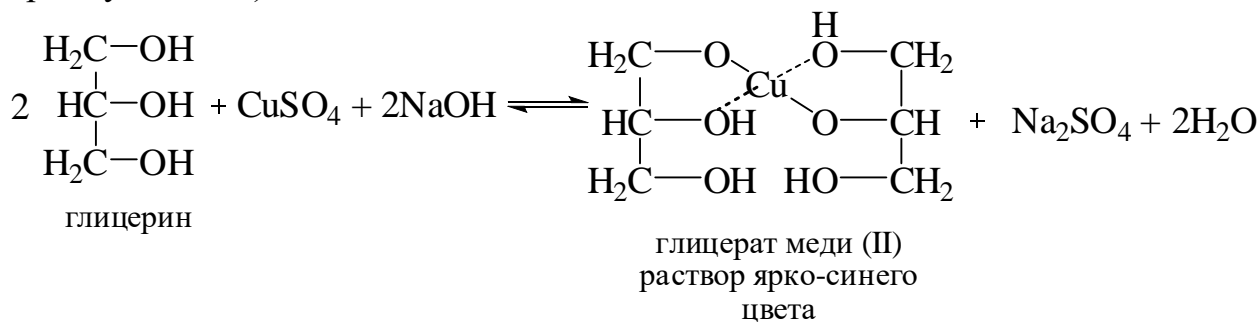


Аналогичную реакцию с образованием йодоформа дают соединения, содержащие следующие фрагменты:

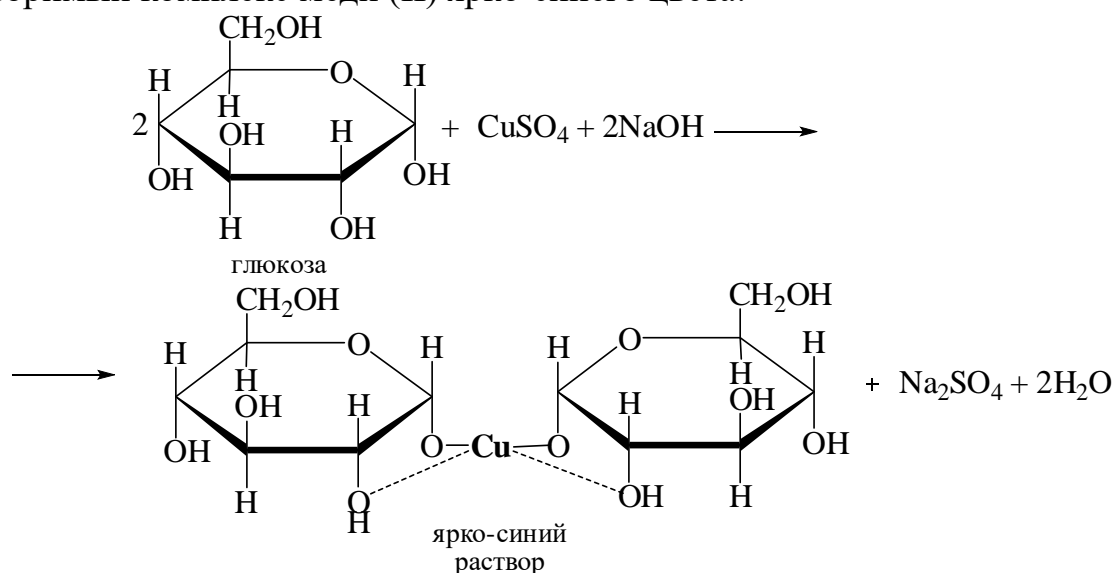


4. Реакция комплексообразования многоатомных спиртов с ионами меди (II) в щелочной среде

Реакция комплексообразования, основанная на свойстве спиртов образовывать окрашенные комплексные соединения с сульфатом меди (II) в щелочной среде используется для идентификации многоатомных спиртов, т. е. соединений, имеющих в своем составе 2 и более гидроксигруппы (этиленгликоль, глицерин, углеводы).

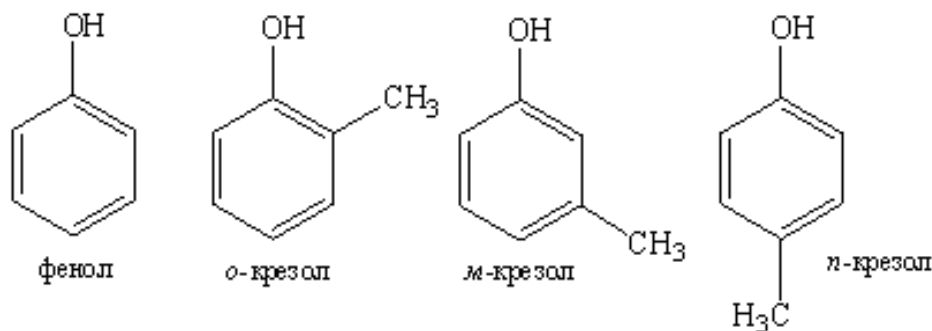


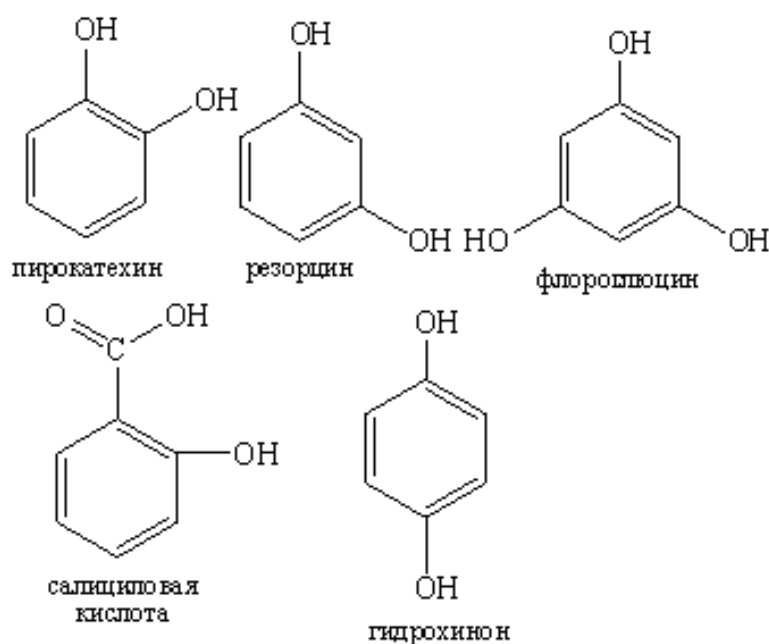
При взаимодействии с солями меди (II) в щелочной среде (т. е. со свежеосажденным гидроксидом меди (II)) глюкоза как многоатомный спирт образует растворимый комплекс меди (II) ярко-синего цвета:



Качественные реакции веществ, содержащих фенольную гидроксигруппу

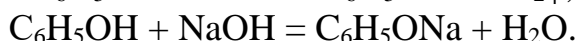
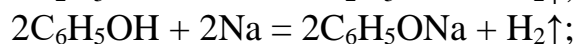
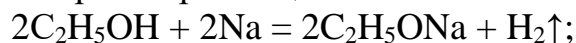
Фенольный гидроксил $-\text{OH}$ – это гидроксил, связанный с ароматическим радикалом. Его содержат соединения класса фенолов (фенол, резорцин), фенокислот и их производных (салициловая кислота).





Химические свойства соединений, содержащих фенольный гидроксил, обусловлены взаимным влиянием фенольной группы —OH и ароматического радикала. Это взаимодействие приводит к смещению электронной плотности с OH -группы на кольцо, нарушению в нем равномерности распределения электронной плотности, созданию избыточного отрицательного заряда в орто- и пара-положениях (2, 4 и 6 положения относительно гидроксогруппы). Атом водорода гидроксогруппы ионизирует и придает фенолам слабые кислотные свойства, которые позволяют отличить фенолы от спиртов.

В отличие от спиртов фенол может реагировать не только с металлическим натрием, но и с раствором гидроксида натрия, образуя соль – фенолят. Одноатомные спирты могут реагировать с металлическим натрием, но не вступают во взаимодействие с растворами щелочей.



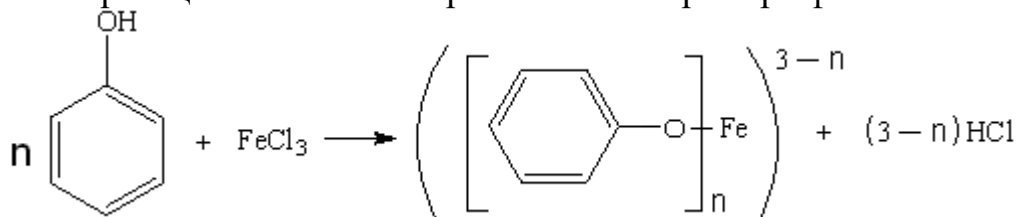
Для качественного определения фенолов используют следующие реакции.

1. Реакция комплексообразования фенолов с ионами железа (III)

Определение основано на способности фенольного гидроксила образовывать растворимые комплексные соединения:

- фиолетового цвета (фенол, резорцин, салициловая кислота);
- синего цвета (гидрохинон, *n*-крезол);
- красно-фиолетового цвета (*m*-крезол);
- красно-бурого цвета (пирогаллол);
- изумрудно-зеленого цвета (пирокатехин).

Химизм реакции комплексообразования на примере фенола:



где $n = 1 - 4$

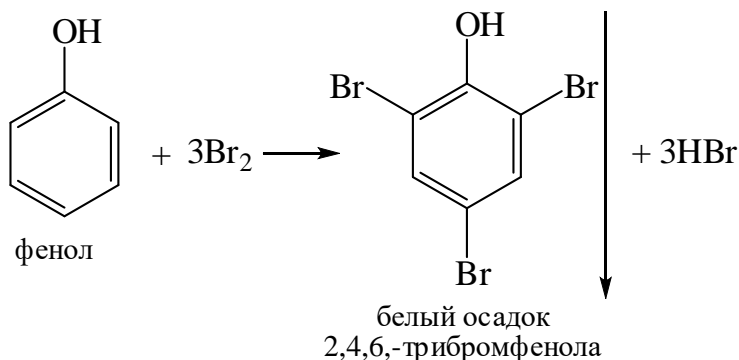
Состав комплексов, а, следовательно, и их окраска обусловлена количеством фенольных гидроксильных групп, влиянием других функциональных групп.

2. Реакция бромирования ароматического кольца

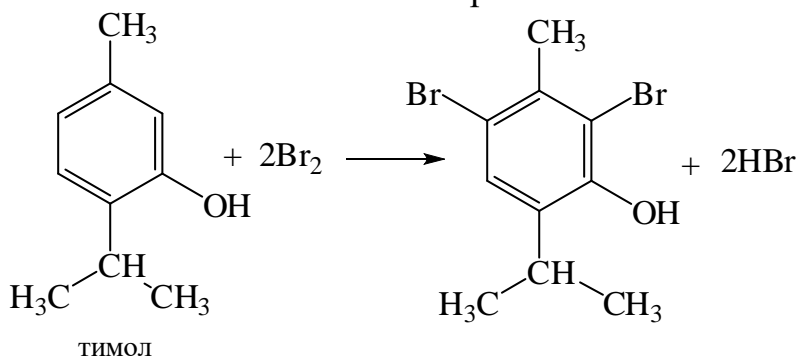
Основана на электрофильном замещении атомов водорода в орто- и пара-положениях на бром с образованием нерастворимого бромпроизводного.

Основные правила бромирования

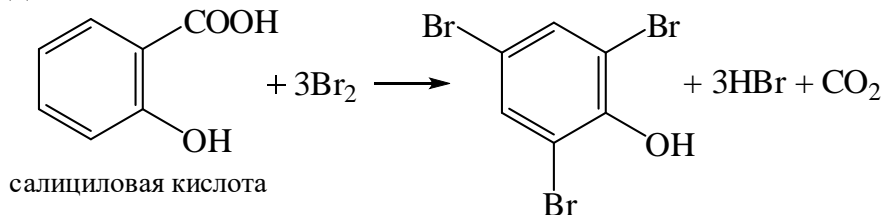
Атом брома замещает атом водорода в *о*- и *п*-положениях по отношению к фенольному гидроксилу, причем наиболее реакционноспособное *п*-положение:



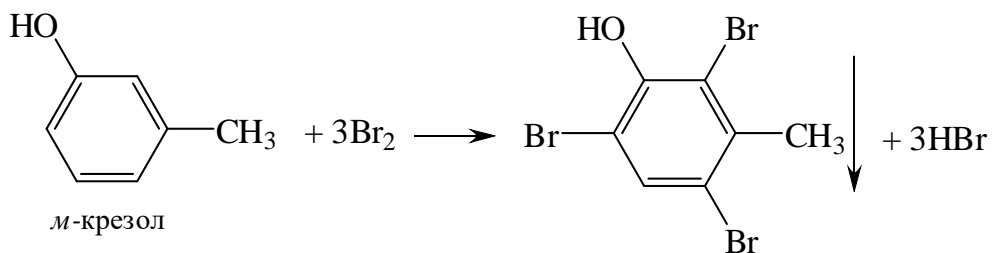
При наличии в *о*- или *п*-положениях ароматического кольца заместителей в реакцию вступает меньшее число атомов брома:



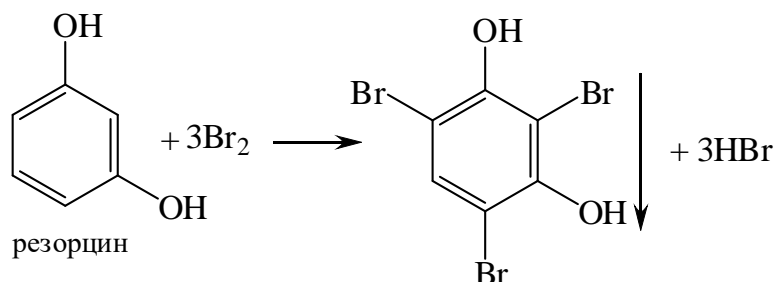
Если в *о*- или *п*-положениях находится карбоксильная группа, то при наличии избытка брома происходит декарбоксилирование и образование трибромпроизводного:



Если заместитель находится в *м*-положении, то он не препятствует образованию трибромпроизводного:



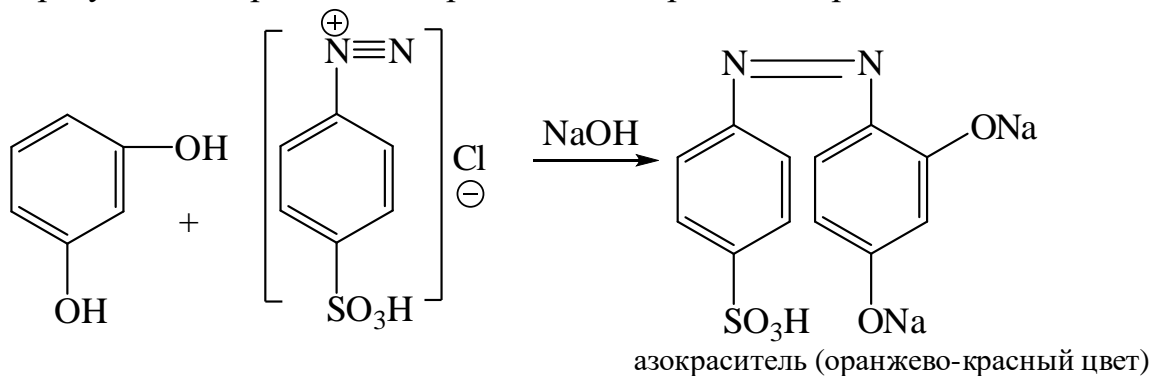
Если в соединении содержится два фенольных гидроксила в *м*-положении, то в результате их согласованной ориентации образуется трибром-производное:



Если две гидроксильные группы расположены в *о*- или *п*-положениях друг к другу (например, пирокатехин), то они действуют несогласованно; бромирование количественно не проходит.

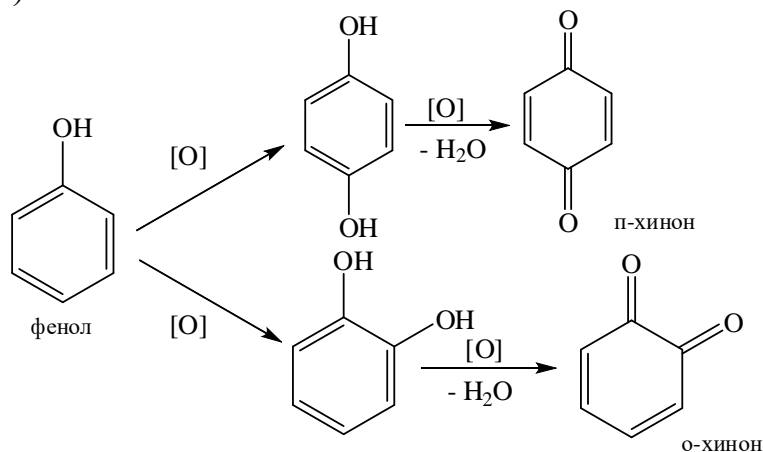
3. Реакция азосочетания фенолов с солями диазония

При взаимодействии фенолов с диазотированной сульфониловой кислотой образуется азокраситель, окрашенный в оранжево-красный цвет:



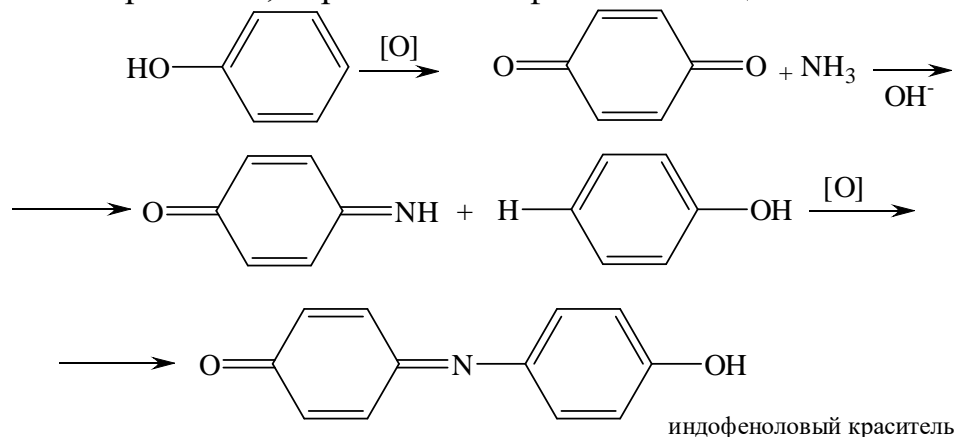
4. Реакция окисления

Фенолы могут окисляться до различных соединений, но чаще всего до хинонов, окрашенных в розовый или реже в желтый цвет (*п*-хинон – желтый, *о*-хинон – красный):



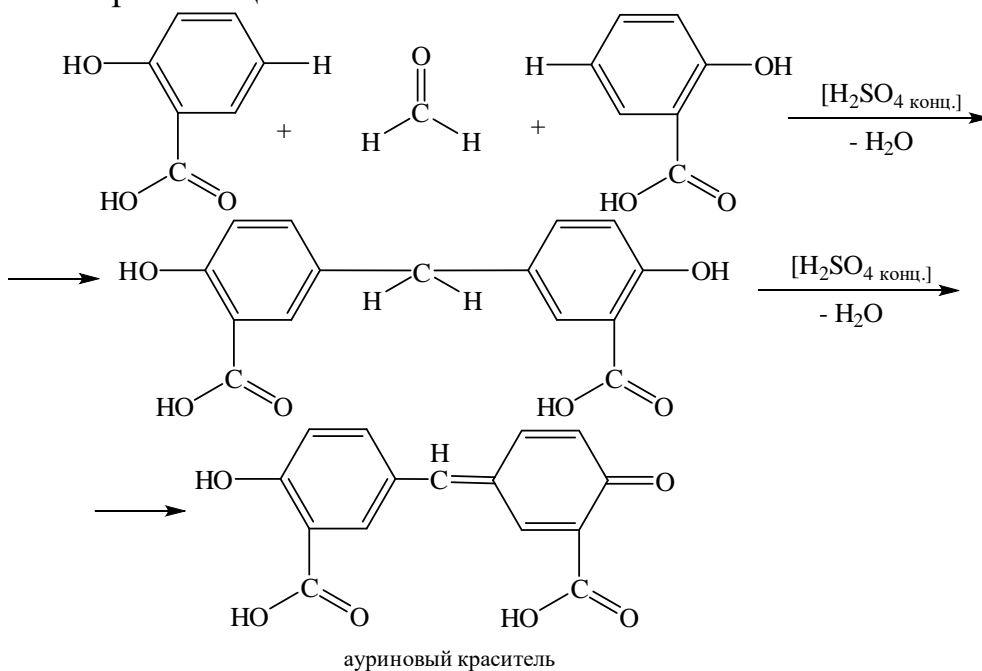
5. Реакция образования индофенолового красителя.

Определение основано на окислении фенолов до хинонов, которые при конденсации с аммиаком или аминопроизводным и избытком фенола образуют индофеноловый краситель, окрашенный в фиолетовый цвет.



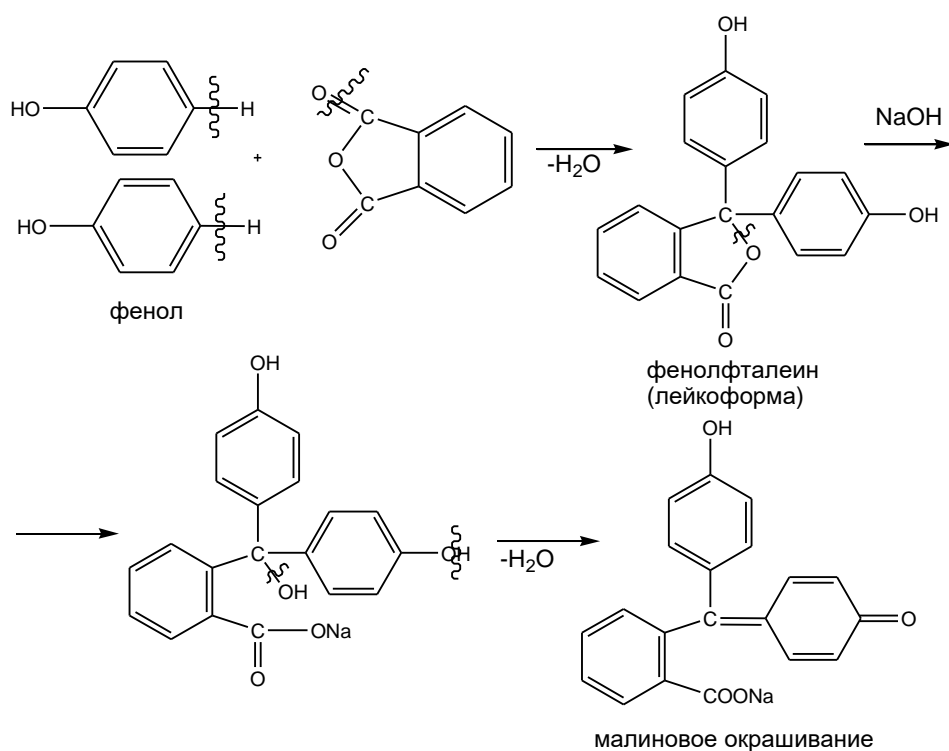
6. Реакция конденсации с альдегидами или ангидридами кислот

С формальдегидом в присутствии концентрированной серной кислоты фенолы конденсируются, в результате чего образуется ауриновый краситель, окрашенный в красный цвет.

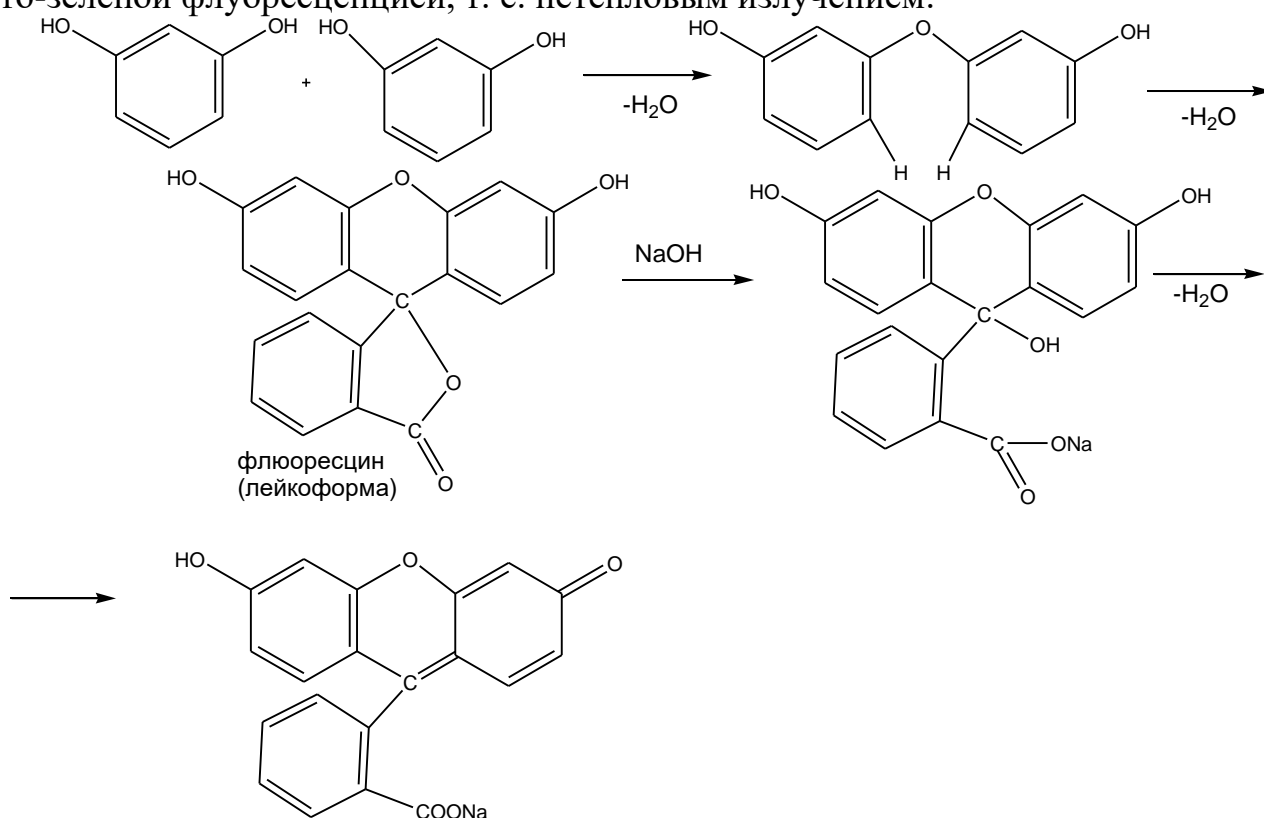


Концентрированная серная кислота на первой стадии реакции играет роль катализатора и водоотнимающего средства, на второй – окислителя.

Фенол и резорцин могут при сплавлении реагировать с фталевым ангидридом, продукт реакции после растворения в щелочи дает характерное окрашивание. При взаимодействии фталевого ангидрида с фенолом получается фенол-фталейн, имеющий в щелочной среде малиновую окраску:



Продукт конденсации фталевого ангидрида с резорцином обладает желто-зеленой флуоресценцией, т. е. нетепловым излучением:



Качественные реакции веществ, содержащих карбонильную группу

Альдегидной называется группа, в которой карбонильная группа ($>\text{C}=\text{O}$) связана с атомом водорода и углеводородным радикалом (алифатическим или ароматическим). Кетонной называется группа, в которой карбонильная группа связана с двумя углеводородными радикалами (алифатическими или ароматическими).

Химические свойства соединений содержащих альдегидную группу, определяются ее строением: дипольным моментом карбонильная группа, эффективным положительным зарядом на атоме углерода карбонильной группы, поляризуемостью двойной связи, что обуславливает высокую реакционную способность альдегидов.

Качественном определении веществ, содержащих альдегидную группу, наибольшее значение имеют реакции окисления, конденсации с фенолами, аминами и их производными.

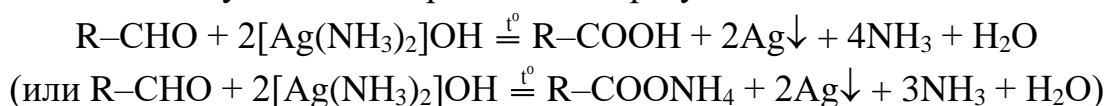
Кетоны менее реакционноспособны. В отличие от альдегидов они окисляются в жестких условиях. Наибольшее практическое значение для качественного определения содержащих кетогруппу соединений имеют реакции конденсации с аминами и их производными.

1. Реакция окисления

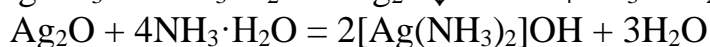
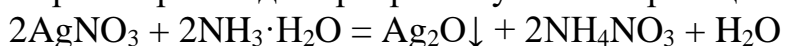
Вещества, содержащие альдегидную группу окисляются по связи С-Н этой группы до карбоновых кислот с тем же числом атомов углерода, что и исходный альдегид. Окисление происходит даже под действием слабых окислителей: йода, растворов комплексных соединений серебра, меди, ртути в щелочной среде при нагревании. Ионы серебра (I), меди (II) и ртути (II) восстанавливаются до свободных металлов или их оксидов, образуя окрашенные осадки, раствор йода обесцвечивается.

Реакция с аммиачным раствором оксида серебра (реакция серебряного зеркала)

При взаимодействии альдегида с аммиачным раствором оксида серебра (реактивом Толленса) происходит окисление альдегида до соответствующей кислоты, а ион Ag^+ восстанавливается до металлического серебра. Серебро оседает на стенках сосуда в виде зеркала или образует темный осадок.

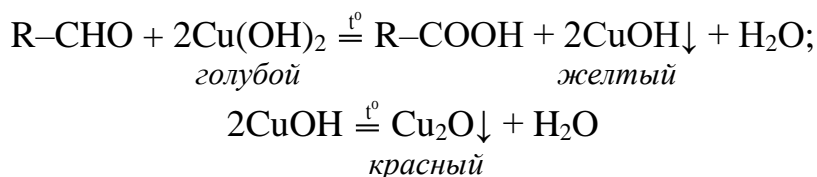


Аммиачный раствор оксида серебра получают по реакциям:



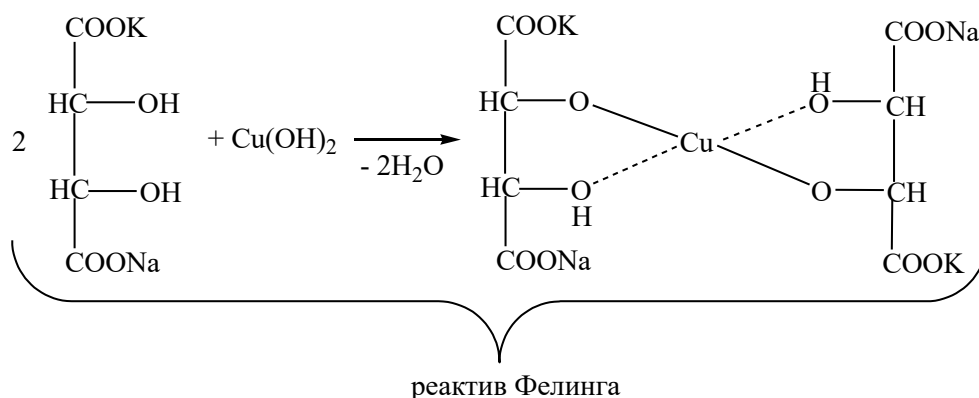
Реакция Троммера – с гидроксидом меди (II) в щелочной среде

При нагревании раствора альдегида с гидроксидом меди (II) происходит последовательное изменение окраски раствора с синей в зеленую, желтую и красную. При этом альдегид окисляется до карбоновой кислоты, а катион Cu^{2+} восстанавливается до Cu^+ :

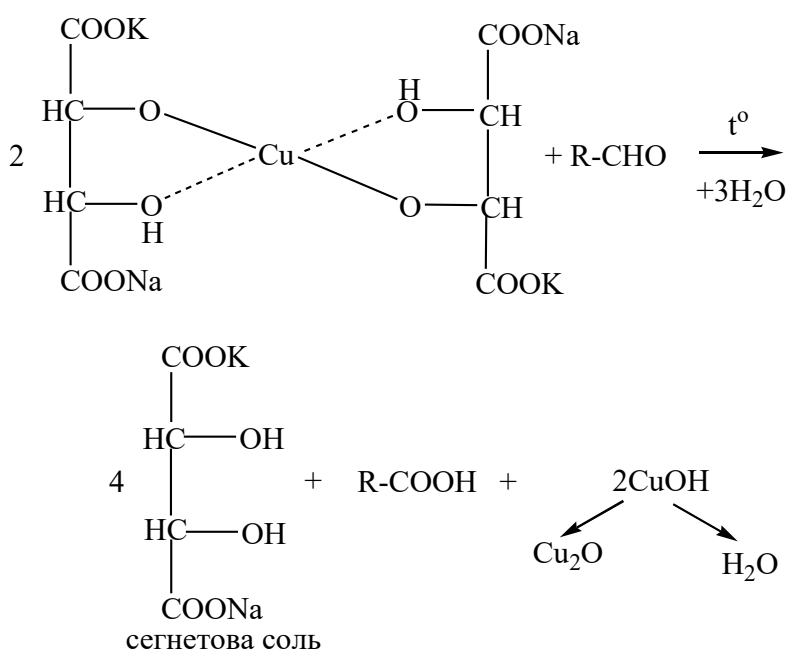


Реакция с фелинговой жидкостью

Фелинговая жидкость получается при взаимодействии солей меди (II) со щелочным раствором сегнетовой соли (тартрата калия-натрия):

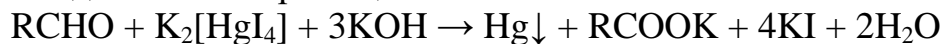


Взаимодействие альдегида с реактивом Фелинга приводит к окислению его до кислоты и восстановлению меди (II) до меди (I). Реакция сопровождается последовательным изменением окраски раствора с синей в зеленую, желтую и красную.



Реакция с реактивом Несслера

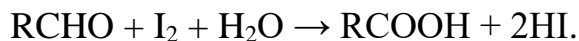
Реактив Несслера представляет собой щелочной раствор тетрайодомеркурат (II) калия. Альдегид восстанавливает ион $[\text{HgI}_4]^{2-}$ до металлической ртути, получается осадок темно-серого цвета.



Реакция идет мгновенно с формальдегидом. Реакция очень чувствительна, используется для обнаружения примеси альдегида в спиртах, эфирах и для количественного определения альдегидов.

Реакция обесцвечивания раствора йода

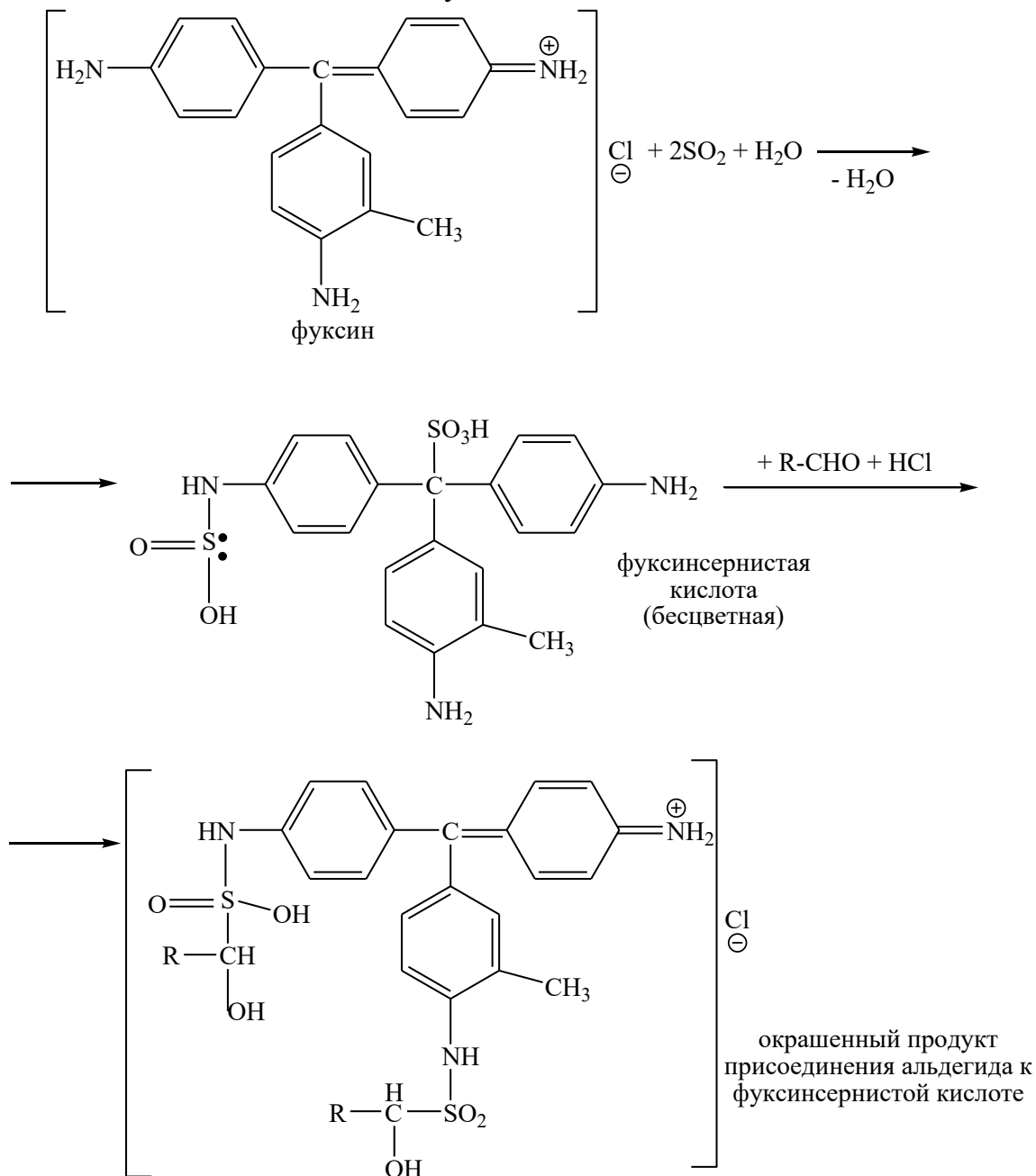
Строение альдегидной группы определяет ее высокую реакционную способность, поэтому альдегиды могут вступать в окислительно-восстановительные реакции даже с такими слабыми окислителями как молекулярный йод:



Полученные продукты не имеют окраски, т. е. наблюдается обесцвечивание реакционной смеси. Реакцию ведут в слабощелочной среде и также используют для количественного анализа.

2. Реакция с фуксинсернистой кислотой

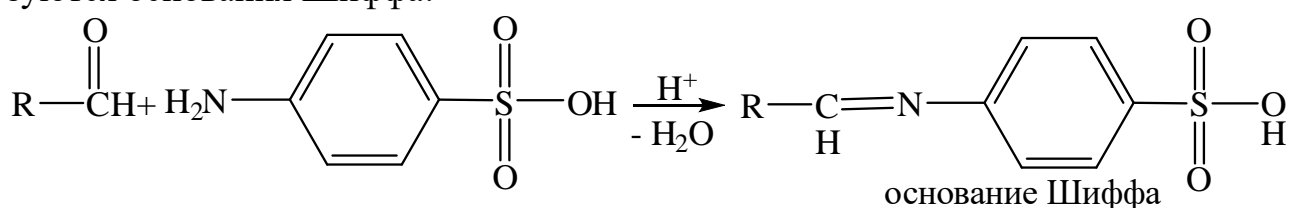
В присутствии альдегида фуксинсернистая кислота приобретает розово-фиолетовую окраску. Получение фуксинсернистой кислоты и ее реакция с альдегидом может быть показана следующей схемой:



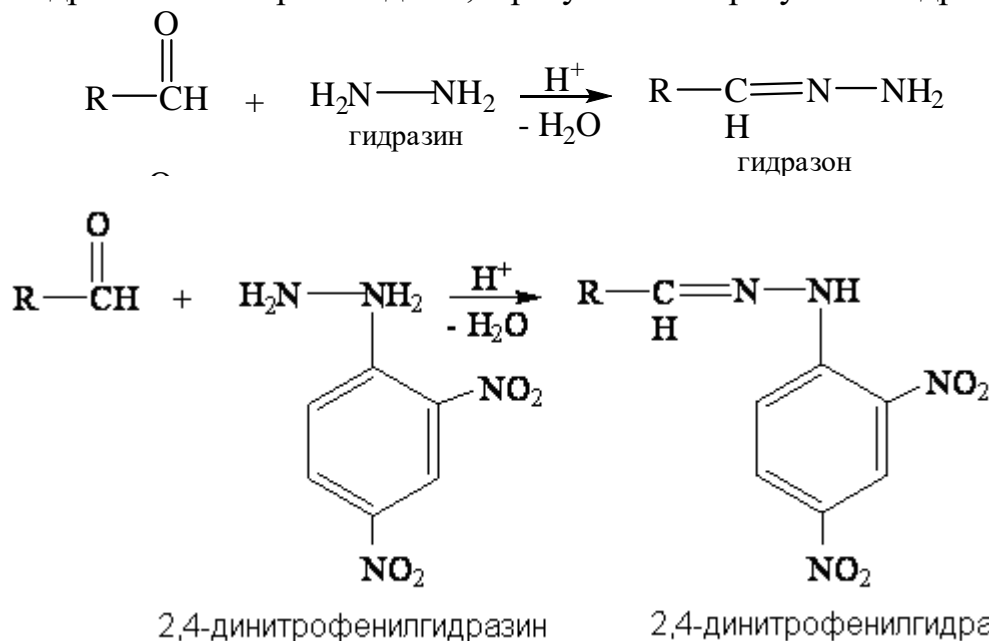
3. Конденсация с аминами или их производными

Реакция конденсации с аминами или их производными является общей для альдегидов и кетонов. В качестве реактивов используют следующие вещества:

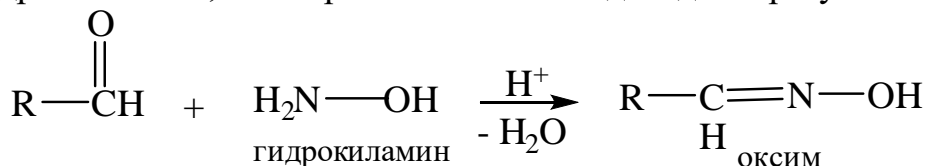
1) с первичной ароматической аминогруппой, в результате реакции образуются основания Шиффа:



2) гидразин и его производные, в результате образуются гидразоны:



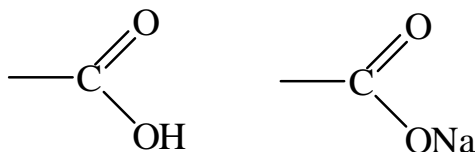
3) гидроксиламин, с которым кетоны и альдегиды образуют оксимы:



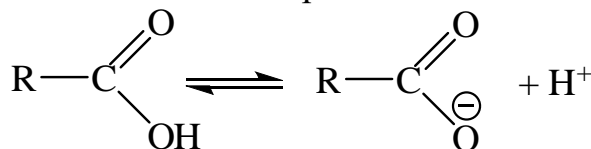
Основания Шиффа, гидразоны, фенилгидразоны, оксимы характеризуются определенной температурой плавления, разложения или окраской.

Качественные реакции соединений, содержащих карбоксильную группу свободную или нейтрализованную

Карбоксильная группа в свободном виде входит в состав карбоновых кислот, оксикислот, аминокислот, а в нейтрализованном виде – в состав их солей:

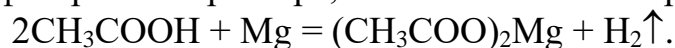


Соединения, содержащие карбоксильную группу проявляют кислотные свойства за счет подвижного атома водорода:

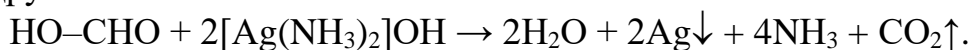


благодаря чему они могут вступать в реакции соле- и комплексообразования.

Для карбоновых кислот характерны общие свойства кислот: они изменяют окраску индикаторов, вступают в реакцию с активными металлами, оксидами основного и амфотерного характера, с основаниями. Например,



Особыми свойствами обладает **муравьиная кислота** (одновременно и альдегид, и кислота), поэтому дает реакцию серебряного зеркала, не характерную для других кислот:



Соли уксусной кислоты с раствором хлорида железа (III) образуют с ацетат-ионами малодиссоциирующий и гидролизующийся ацетат железа (III). Раствор приобретает красно-бурую окраску:

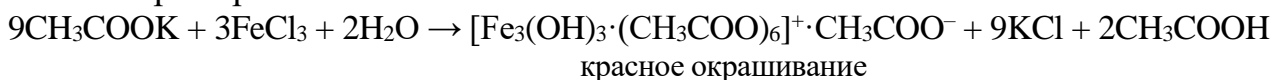


Гидроксильная группа карбоновых кислот способна замещаться на остаток спирта, что приводит к образованию сложного эфира.

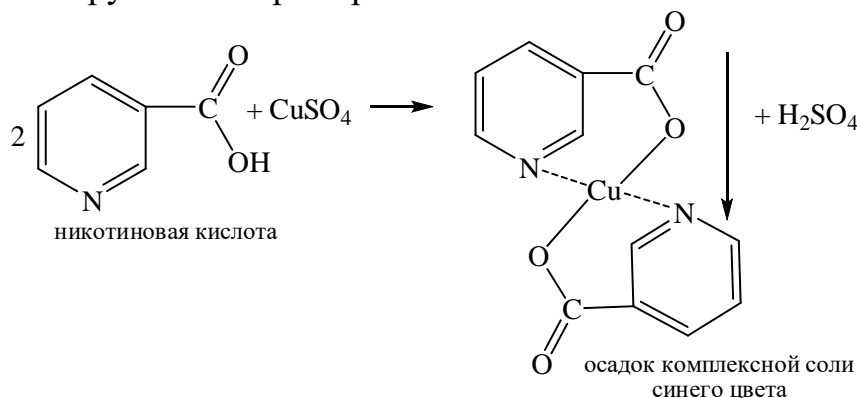
1. Реакция соле- и комплексообразования с солями тяжелых металлов

Реакцию проводят путем добавления к раствору соли тяжелого металла (FeCl_3 , CoCl_2 , CuSO_4) анализируемого реагента в виде нейтральной соли. В случае анализа соединений со свободной карбоксильной группой необходимо сначала перевести ее в нейтрализованную форму добавлением небольшого количества щелочи.

Например:



В ряде случаев кроме карбоксильной в реакции участвуют и другие функциональные группы. Например:

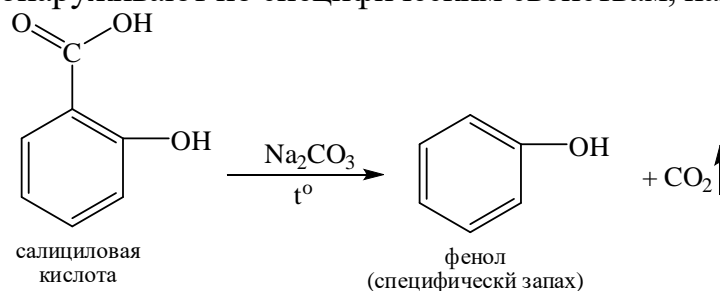


2. Реакция этерификации

Карбоновые кислоты или их соли конденсируются со спиртами, образуя сложные эфиры. Образующиеся эфиры доказывают по специфическому запаху или по температуре плавления (или кипения).

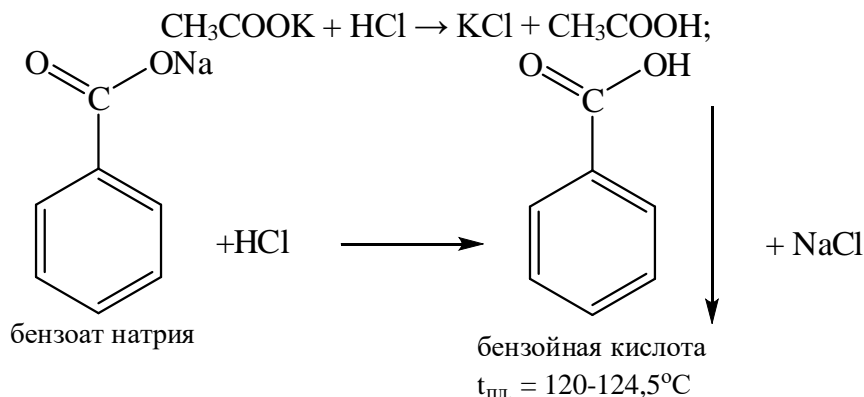
3. Реакция декарбоксилирования

При нагревании некоторых карбоновых кислот в присутствии карбоната натрия или цитрата натрия выделяется оксид углерода (IV), другой продукт декарбоксилирования обнаруживают по специфическим свойствам, например, по запаху:



4. Реакция выделения кислот

Сильные минеральные кислоты (серная, хлороводородная, азотная) вытесняют более слабые карбоновые кислоты из их солей. Образующиеся кислоты определяют по запах (например, уксусную кислоту), а в случае осадка – по температуре плавления:



Качественные реакции соединений, содержащих в составе аминогруппу

Аминогруппу содержат амины – производные аммиака NH_3 , у которого водород замещен на углеводородные радикалы. При замене одного атома водорода на радикал образуются первичные амины (алифатические Alk-NH_2 или ароматические Ar-NH_2). При замене двух атомов водорода получают вторичные амины, трех – третичные соответственно:

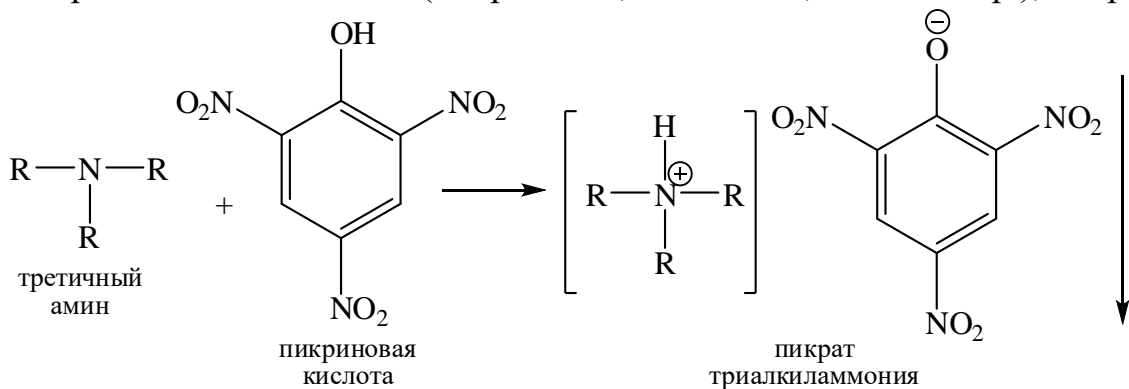


Первичная, вторичная и третичная алифатические аминогруппы, как и аммиак, придают соединениям основные свойства за счет неподеленной пары электронов у атома азота.

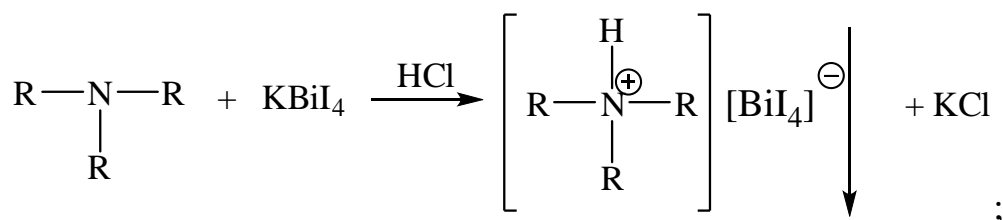
1. Реакции соле- и комплексообразования

Основаны на свойстве соединений с алифатической аминогруппой образовывать нерастворимые соли, проявляя свойства основания. При доказательстве аминов в виде оснований реакцию проводят в кислой среде, т. е. сначала получают растворимую соль алкил аммония, а затем из нее – нерастворимый комплекс. При этом используются следующие группы реактивов:

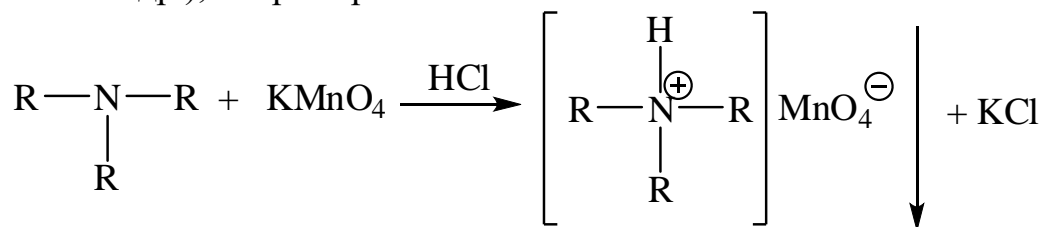
– органические кислоты (пикриновая, щавелевая, винная и др.), например



– соли комплексных кислот (тетрайодовисмутат (III) калия, тетрайодомеркурат (II) калия, раствор йода в йодиде калия), например



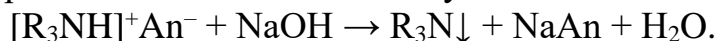
– соли неорганических кислот (роданид аммония, перманганат калия, дихромат калия и др.), например



2. Реакция выделения оснований

Для солей, образованных аминами и органическими кислотами, используют также реакцию выделения основания в виде летучего соединения, маслянистой жидкости или осадка, у последнего можно определить температуру плавления.

Сущность процесса заключается в следующем:



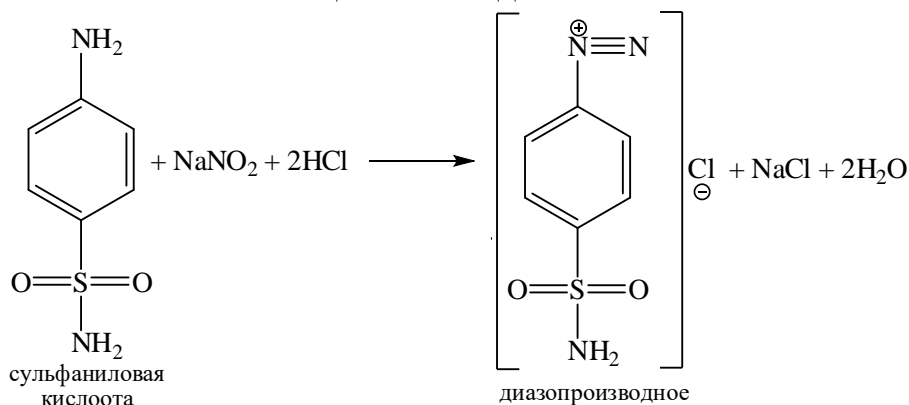
Отдельно рассмотрим качественные реакции веществ, содержащих первичную ароматическую группу.

Электронная пара азота первичной аминогруппы находится в сопряжении с π -электронами ароматической системы, что приводит к перераспределению электронной плотности и активизации ароматического кольца *o*- и *p*-положениях. Смещение электронной плотности с атома азота приводит к снижению его основности: как правило, соединения с ароматической аминогруппой являются слабыми основаниями.

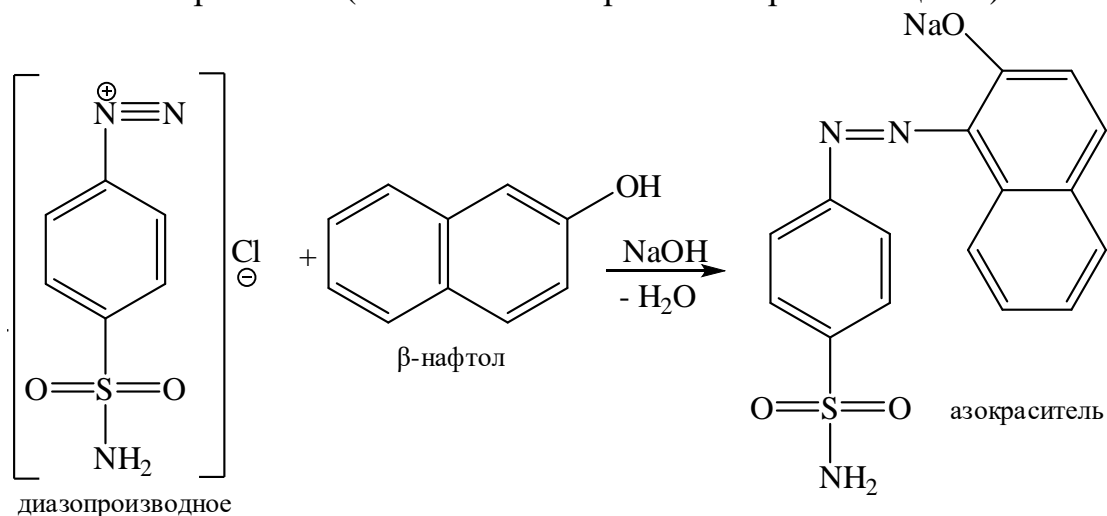
На основе свойств первичной ароматической аминогруппы и связанного с ней ароматического радикала в качественном анализе таких соединений используют следующие реакции.

1. Реакция диазотирования с последующим азосочетанием

Диазотирование проводится нитритом натрия в кислой среде при низкой температуре. В результате из ароматических аминопроизводных образуются бесцветные или слабо-желтого цвета соли диазония.

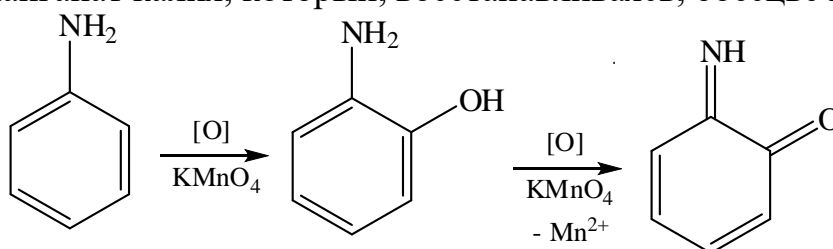


Полученую соль диазония сочетают с фенолами в щелочной среде или с ароматическими аминами – в слабо кислой. При этом образуется интенсивно окрашенный азокраситель (вишнево- или оранжево-красного цвета):



2. Реакция окисления

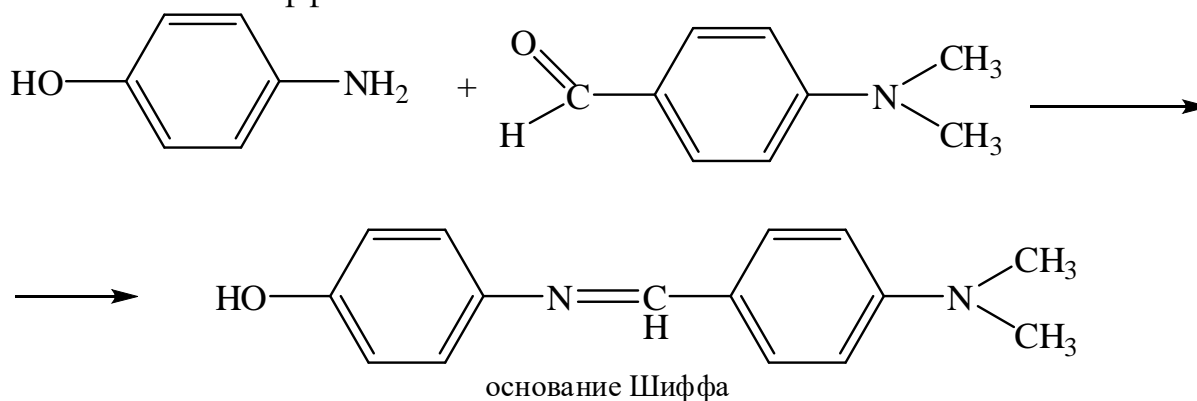
Органические вещества, содержащие первичную ароматическую аминогруппу, легко окисляются даже кислородом воздуха с образованием окрашенных продуктов хиноидного строения. В качестве окислителя чаще всего используют перманганат калия, который, восстанавливаясь, обесцвечивается:



При добавлении свежеприготовленного раствора хлорной извести к раствору анилина наблюдается появление фиолетовой окраски раствора, переходящей в коричневую, а затем в черную. Образуется тканевый краситель, получивший название «черный анилин».

3. Реакция конденсации с альдегидами

При взаимодействии в кислой среде с ароматическими альдегидами первичные ароматические амины образуют окрашенные в желтый или оранжевый цвет основания Шиффа:

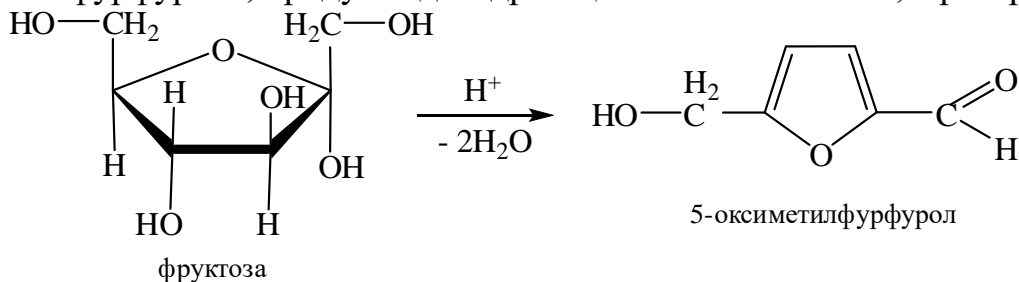


Качественные реакции соединений, содержащих другие функциональные группы

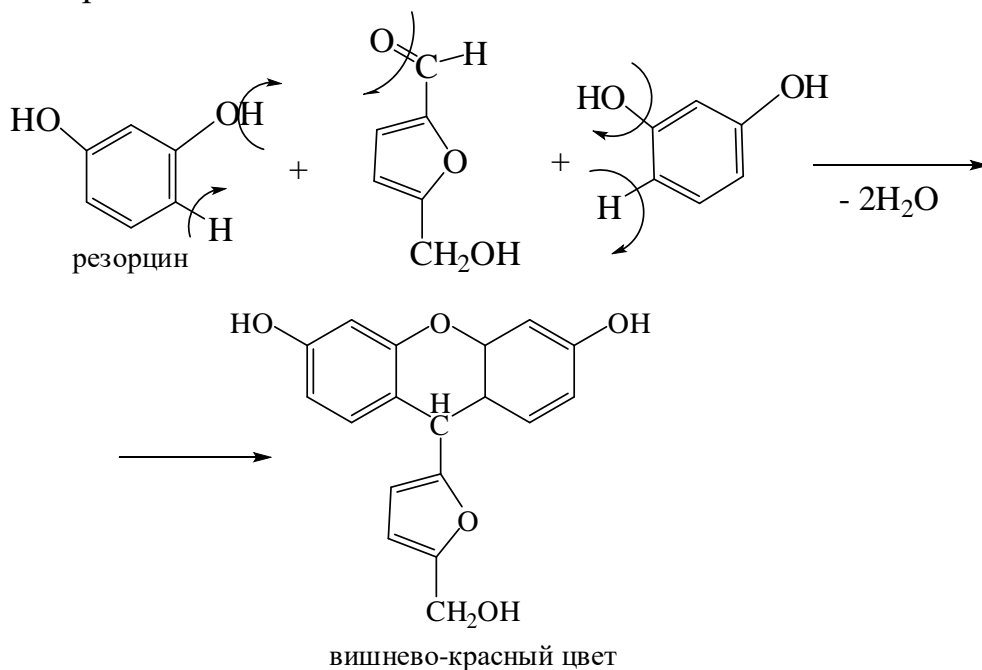
Так как в состав **углеводов** входят несколько гидроксильных групп, а также альдегидная или кетогруппа, то им свойственны реакции, характерные для спиртов и альдегидов.

Для того чтобы отличить кетогексозу (например, фруктозу) от альдогексозы (глюкозы) проводят **реакцию Селиванова**.

Открытие кетогексоз, в частности, фруктозы основано на взаимодействии 5-оксиметилфурфурола, продукта дегидратации всех кетогексоз, с резорцином.



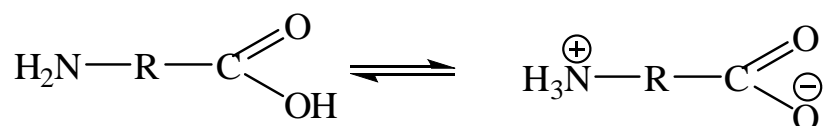
При нагревании с соляной кислотой и резорцином кетогексозы дают вишнево-красное окрашивание:



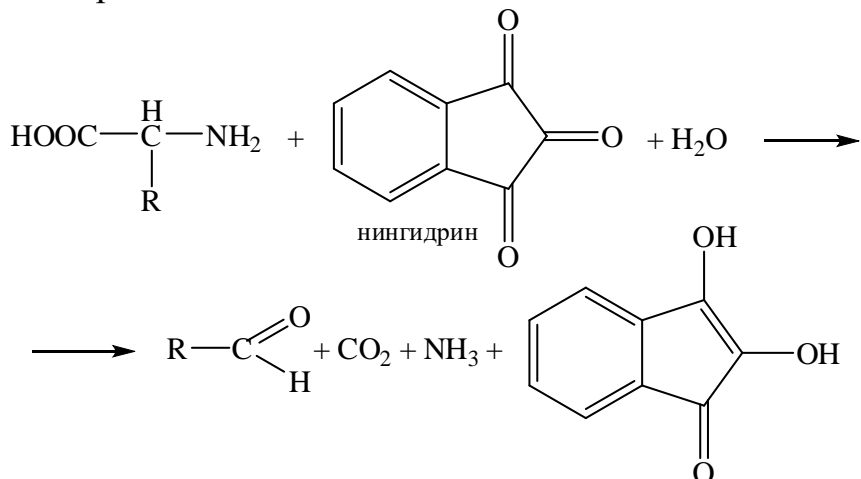
Альдогексозы также образуют соединение вишнево-красного цвета, так как в растворе могут изомеризоваться до кетогексоз, однако для кетогексоз эта реакция проходит значительно быстрее.

Из отдельных реакций на углеводы так же хочется отметить образование комплексного соединения-включения крахмала с молекулярным иодом сине-фиолетового цвета. Молекулы амилозы (одного из важнейших компонентов крахмала) представляют собой спираль, в полостях которой располагаются молекулы иода.

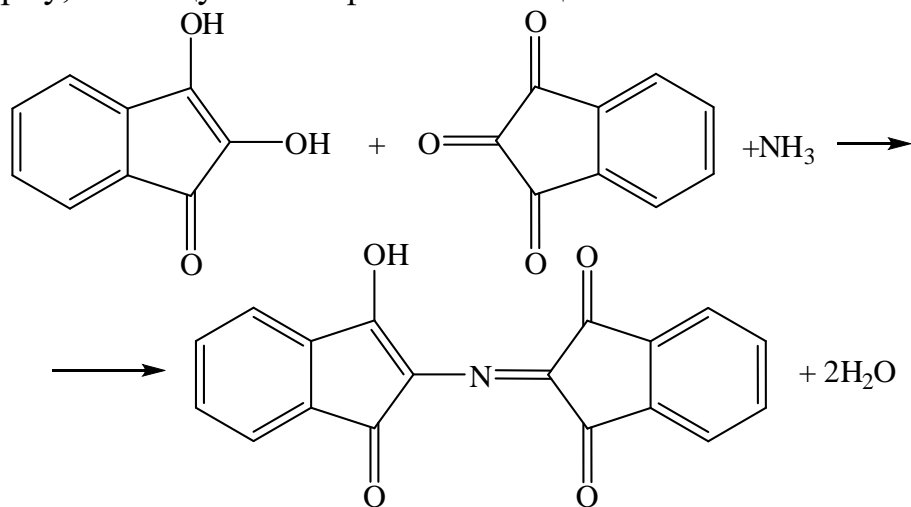
Аминокислоты содержат в своем составе две функциональные группы – аминогруппу и карбоксильную. Для аминокислот характерна кислотно-основная двойственность и образование в растворе биполярного иона:



Для α -аминокислот характерна реакция образования окрашенного соединения с нингидрином. При нагревании до 70°C α -аминокислоты окисляются нингидрином и подвергаются окислительному дезаминированию с образованием аммиака и декарбоксилированию с образованием альдегида и оксида углерода (IV), а нингидрин восстанавливается:



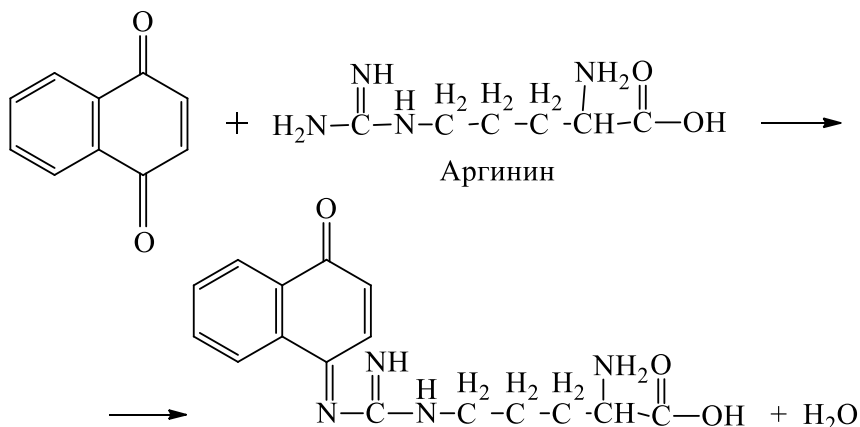
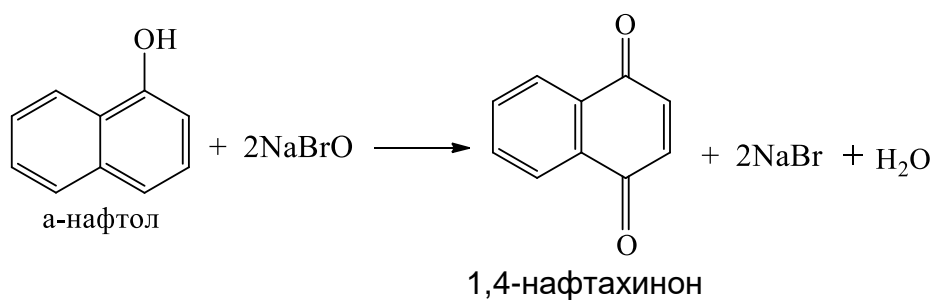
Восстановленный нингидрин, конденсируясь с аммиаком и окисленным нингидрином, образует соединение, которое, енолизируясь, переходит окрашенную форму, имеющую сине-фиолетовый цвет:



Кроме того, существует целый ряд качественных реакций на отдельные аминокислоты, обусловленный свойствами функциональных групп и характером углеводородного радикала.

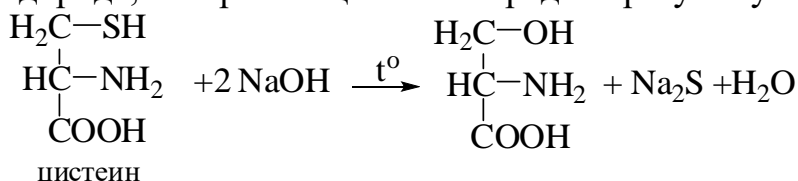
1. Реакция Сакагучи на аргинин

В реакции аргинина, содержащего гуанидиновую группировку, с гипобромитом происходит образование окисленной формы аргинина, которая при взаимодействии с α -нафтолом образует соединение красного цвета:

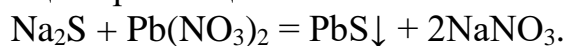


2. Реакция Фолы на «слабосвязанную» серу цистеина

При кипячении цистеина в щелочной среде от него легко отщепляется сера в виде сероводорода, который в щелочной среде образует сульфид натрия:

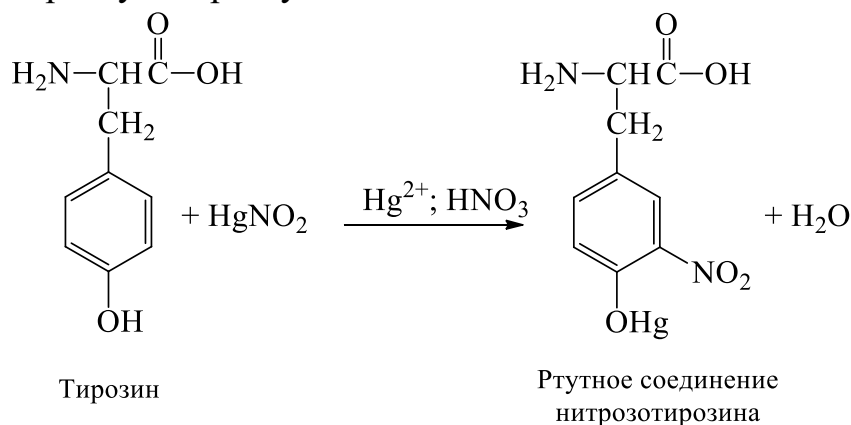


Образование сульфида натрия можно обнаружить с помощью ионов тяжелых металлов, например, ионов свинца, образующих с сульфид-ионами нерастворимый сульфид свинца черного цвета:



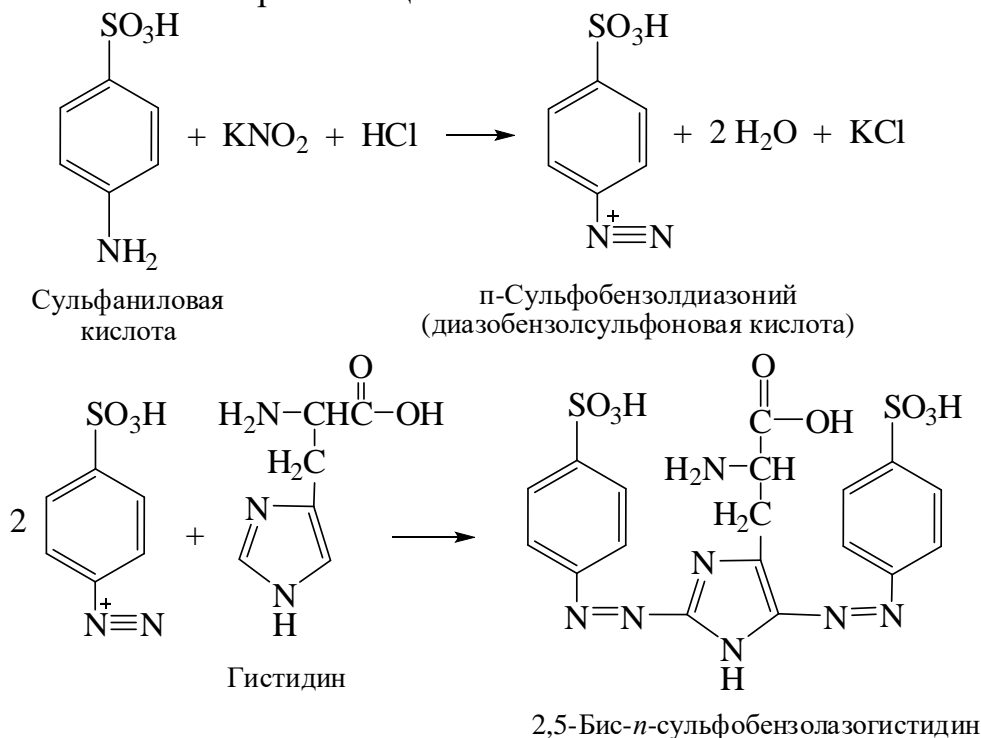
3. Реакция Милона на тирозин

В реакции ароматической аминокислоты тирозина, содержащей фенольное ядро с реактивом Милона (смесь нитратов и нитритов ртути (I) и (II), растворенных в концентрированной азотной кислоте) образуется ртутная соль тирозина, имеющая красную окраску:



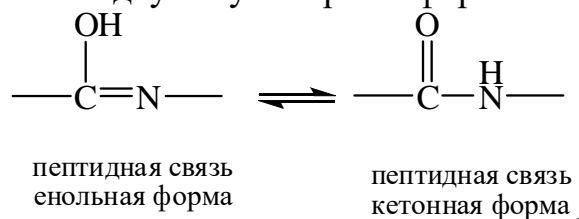
4. Реакция Паули на гистидин

При взаимодействии сульфаниловой кислоты в кислой среде с нитритом натрия (калия) происходит реакция диазотирования и образуется диазобензолсульфоновая кислота, которая в реакции с гистидином (или тирозином) образует соединение вишнево-красного цвета.



Существуют и другие реакции обнаружения конкретных аминокислот.

Белки представляют собой полимеры, состоящие из остатков аминокислот. Эти аминокислотные остатки связаны между собой пептидной связью, которая может существовать в двух таутомерных формах



Качественной реакцией на пептидную связь (выделена в прямоугольник) является биуретовая реакция. Она предполагает, что к свежеприготовленному гидроксиду меди (II) в избытке щелочи добавляют раствор белка и взбалтывают. Появляется фиолетовое окрашивание.

Решение задач на распознавание органических соединений

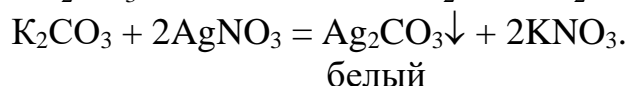
Изучив качественные реакции на органические вещества, рассмотрите примеры решения задач на распознавание органических (иногда и неорганических) веществ.

Пример 1. В шести пробирках без этикеток находятся водные растворы уксусной кислоты, ацетальдегида, этанола, соляной кислоты, карбоната калия, нитрата серебра. Массовая доля веществ во всех растворах составляет 10%. Как различить все эти соединения, используя и не используя других реактивов?

Решение. Рассмотрим один из вариантов решения. Органические вещества можно определить по запаху. Запах уксусной кислоты и спирта знает каждый школьник. Ацетальдегид имеет запах прелых яблок. Далее отбираем пробы из всех пробирок и добавляем к ним уксусную кислоту. Реагирует только карбонат калия:



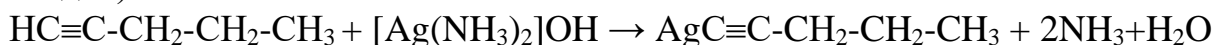
Теперь в оставшиеся пробирки добавляем карбонат калия. В случае соляной кислоты выделяется газ, в случае нитрата серебра выпадает осадок:



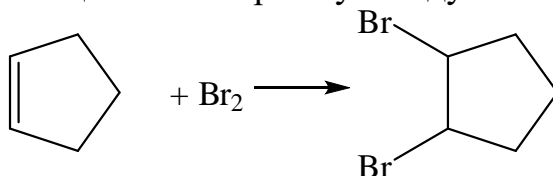
Пример 2. Выданы следующие вещества: циклопентен, цикlopентан, пентин-1. Как отличить соединения друг от друга?

Решение

1. Пентин-1 реагирует с аммиачным раствором оксида серебра (выпадает осадок):



2. Циклопентен обесцвечивает бромную воду:



3. Цикlopентан не реагирует ни с бромной водой, ни с аммиачным раствором оксида серебра.

Пример 3. В пяти пронумерованных пробирках находится гексен, метиловый эфир муравьиной кислоты, этанол, уксусная кислота, водный раствор фенола.

Установлено, что при действии металлического натрия на вещества из пробирок 2, 4, 5 выделяется газ. С бромной водой реагируют вещества из пробирок 3, 5; с аммиачным раствором оксида серебра – вещества из пробирок 1 и 4. С водным раствором гидроксида натрия реагируют вещества из 1, 4, 5 пробирок.

Установите содержимое пронумерованных пробирок.

Решение. Для распознавания составим таблицу 2 и сразу оговоримся, что в условии данной задачи не учитывается возможность ряда взаимодействий, например, метилформиата с бромной водой, фенола с раствором гидроксида

диамминсеребра. Знаком – обозначим отсутствие взаимодействия, знаком + – происходящую химическую реакцию.

Таблица 2

Взаимодействия определяемых веществ с предложенными реактивами

реактивы определя- емые вещества	Na	Br ₂ (раствор)	[Ag(NH ₃) ₂]OH	NaOH	№ пробир- ки
Гексен	–	+ обесцвечивание	–	–	3
Метилформиат	–	—	+ осадок черного цвета (Ag) или серебряное зеркало на стенках	идет реакция гид- ролиза без види- мых изменений	1
Этанол	+ H ₂ ↑	–	–	–	2
Уксусная кислота	+ H ₂ ↑	–	реакция идет, но ви- димых изменений не происходит	реакция нейтралि- зации без видимых изменений	4
Раствор фенола	+ H ₂ ↑	+ осадок белого цвета	–	реакция нейтрали- зации без видимых изменений	5

Пример 4. В шести пронумерованных пробирках находятся растворы: изопропилового спирта, гидрокарбоната натрия, уксусной кислоты, анилина солянокислого, глицерина, белка. Как определить, в какой пробирке находится каждое из веществ?

Решение. Сразу предупреждаем, что здесь мы предлагаем словесное объяснение идентификации веществ.

При добавлении бромной воды к растворам в пронумерованных пробирках образуется осадок в пробирке с анилином солянокислым в результате его взаимодействия с бромной водой. Идентифицированным раствором анилина солянокислого действуют на остальные пять растворов. В пробирке с раствором гидрокарбоната натрия выделяется углекислый газ. Установленным раствором гидрокарбоната натрия действуют на остальные четыре раствора. В пробирке с уксусной кислотой выделяется углекислый газ. На оставшиеся три раствора действуют раствором сульфата меди (II), который вызывает появление осадка в результате денатурации белка. Для идентификации глицерина готовят гидроксид меди (II) из растворов сульфата меди (II) и гидроксида натрия. Гидроксид меди (II) добавляют к одному из оставшихся двух растворов. В случае растворения гидроксида меди (II) с образованием прозрачного раствора глицерата меди ярко-синего цвета идентифицируют глицерин. Оставшийся раствор является раствором изопропилового спирта.

Пример 5. В семи пронумерованных пробирках находятся растворы следующих органических соединений: аминоксусной кислоты, фенола, изопропилового спирта, глицерина, трихлоруксусной кислоты, солянокислого анилина, глюкозы. Используя в качестве реактивов только растворы следующих не-

органических веществ: 2% раствор сульфата меди (II), 5% раствор хлорида железа (III), 10% раствор гидроксида натрия и 5% раствор карбоната натрия, определите органические вещества, содержащиеся в каждой пробирке.

Решение. Сразу предупреждаем, что здесь мы предлагаем словесное объяснение идентификации веществ.

При добавлении раствора хлорида железа (III) к растворам, взятым из пронумерованных пробирок, образуется красное окрашивание с аминокислотой и фиолетовое окрашивание с фенолом. При добавлении раствора карбоната натрия к образцам растворов, взятых из оставшихся пяти пробирок, выделяется углекислый газ в случае трихлоруксусной кислоты и солянокислого анилина, с остальными веществами реакция не идет. Солянокислый анилин можно отличить от трихлоруксусной кислоты при добавлении к ним гидроксида натрия. При этом в пробирке с солянокислым анилином образуется эмульсия анилина в воде, в пробирке с трихлоруксусной кислотой видимых изменений не наблюдается. Определение изопропилового спирта, глицерина и глюкозы проводят следующим образом. В отдельной пробирке смешиванием 4-х капель 2% раствора сульфата меди (II) и 3 мл 10% раствора гидроксида натрия получают осадок гидроксида меди (II) голубого цвета, который делят на три части.

К каждой части приливают отдельно по несколько капель изопропилового спирта, глицерина и глюкозы. В пробирке с добавлением изопропилового спирта изменений не наблюдается, в пробирках с добавлением глицерина и глюкозы осадок растворяется с образованием комплексных соединений интенсивно-синего цвета. Различить образовавшиеся комплексные соединения можно нагреванием на горелке или спиртовке верхней части растворов в пробирках до начала кипения. При этом в пробирке с глицерином не будет наблюдаться изменения окраски, а в верхней части раствора глюкозы появляется желтый осадок гидроксида меди (I), переходящий в красный осадок оксида меди (I), нижняя часть жидкости, которую не нагревали, остается синей.

Пример 6¹. В шести пробирках находятся водные растворы глицерина, глюкозы, формалина, фенола, уксусной и муравьиной кислоты. Используя находящиеся на столе реагенты и оборудование, определите вещества в пробирках. Опишите ход определения. Напишите уравнения реакций, на основании которых произведено определение веществ.

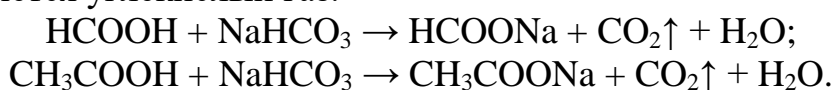
Реагенты: CuSO_4 5%, NaOH 5%, NaHCO_3 10%, бромная вода.

Оборудование: штатив с пробирками, пипетки, водяная баня или плитка.

Решение

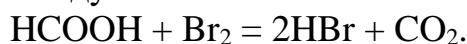
1. Определение кислот.

При взаимодействии карбоновых кислот с раствором гидрокарбоната натрия выделяется углекислый газ:



¹ Данная задача была предложена учащимся 11 класса на практическом туре III (регионального) этапа Всероссийской олимпиады школьников по химии в 2009-2010 учебном году.

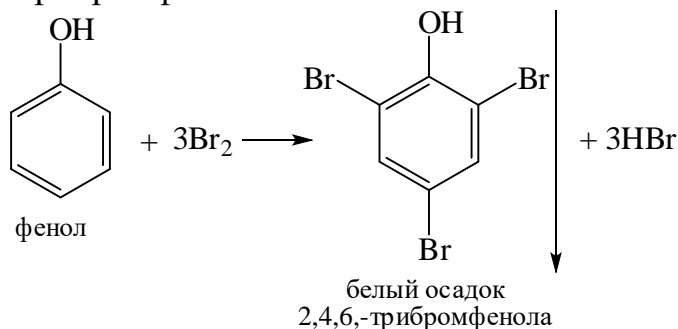
Различить кислоты можно реакцией с бромной водой. Муравьиная кислота обесцвечивает бромную воду



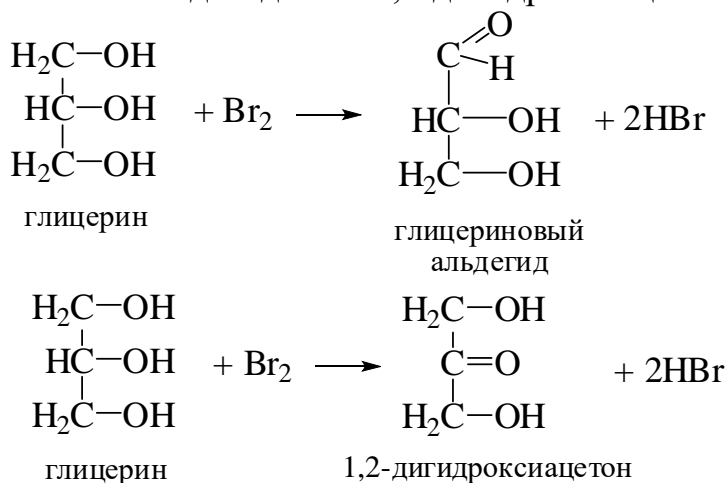
С уксусной кислотой бром в водном растворе не реагирует.

2. Определение фенола.

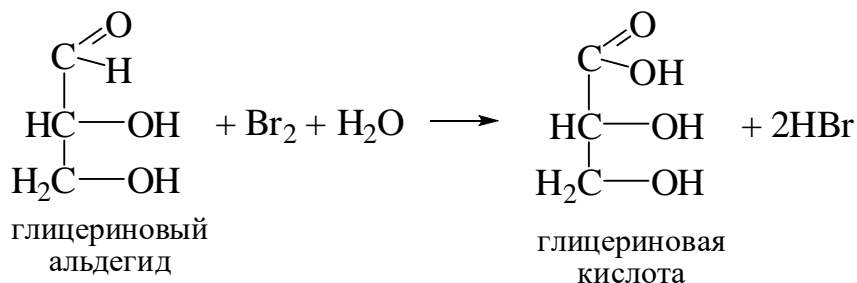
При взаимодействии глицерина, глюкозы, формалина и фенола с бромной водой только в одном случае наблюдается помутнение раствора и выпадение белого осадка 2,4,6-трибромфенола.

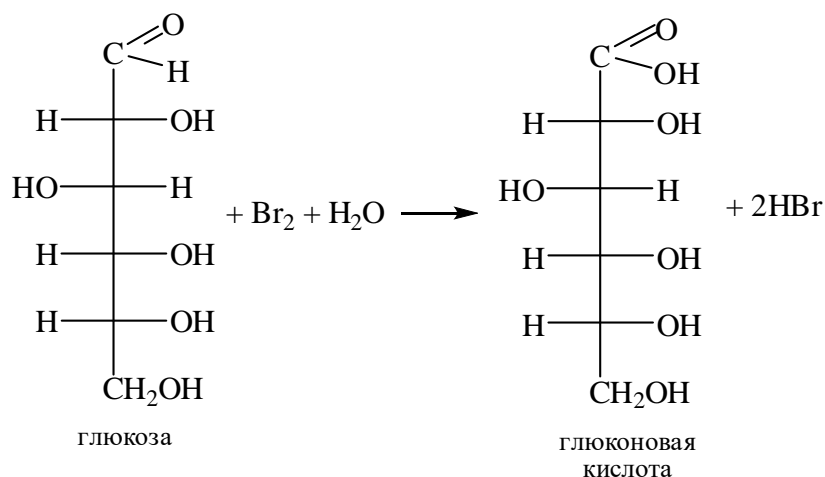


Глицерин, глюкоза и формалин окисляются бромной водой, при этом наблюдается обесцвечивание раствора. Глицерин в этих условиях может окислиться до глицеринового альдегида или 1,2-дигидроксиацетона



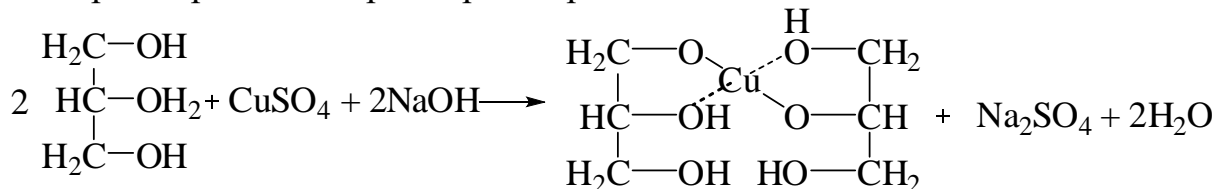
Дальнейшее окисление глицеринового альдегида приводит к глицериновой кислоте.



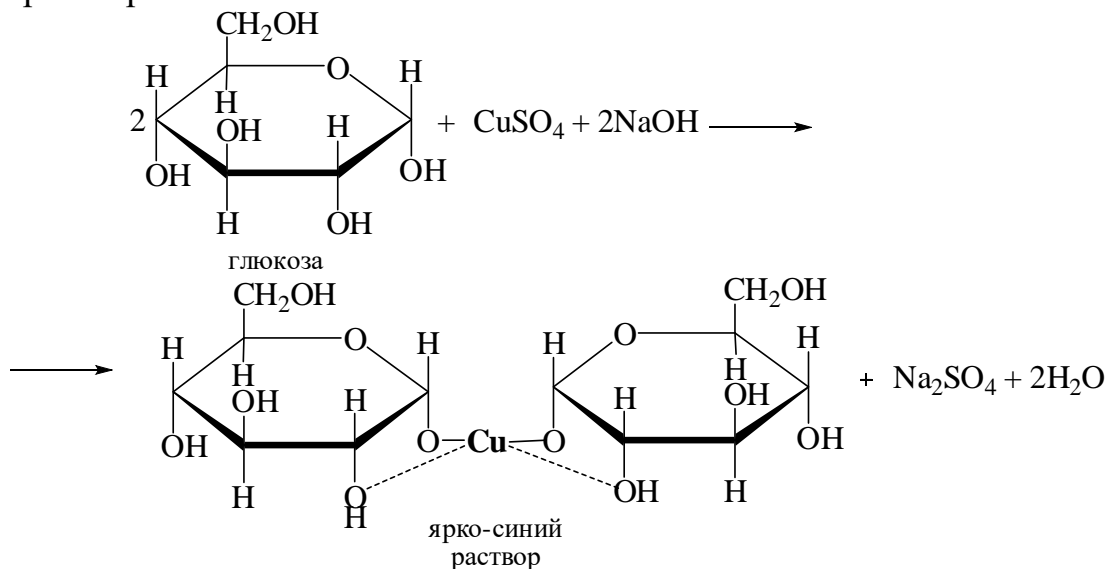


Реакция со свежеприготовленным осадком гидроксида меди (II) позволяет различить глицерин, глюкозу и формалин.

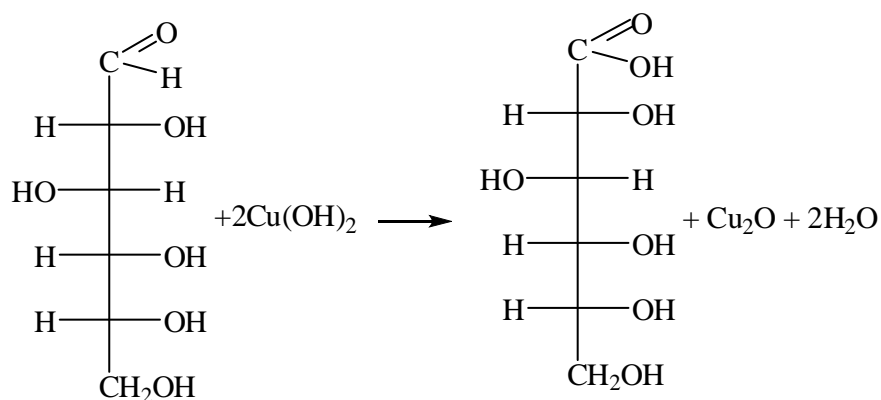
При добавлении глицерина к гидроксиду меди (II) голубой творожистый осадок растворяется и образуется ярко-синий раствор комплексного глицерата меди. При нагревании окраска раствора не меняется.



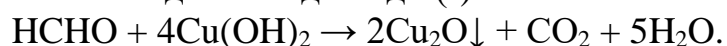
При добавлении глюкозы к гидроксиду меди (II) также образуется ярко-синий раствор комплекса



Однако при нагревании комплекс разрушается и альдегидная группа окисляется, при этом выпадает красный осадок оксида меди (I)



Формалин реагирует с гидроксидом меди (II) только при нагревании с образованием оранжевого осадка оксида меди (I)



Все описанные взаимодействия можно для удобства определения представить в таблице 3.

Таблица 3

Результаты определения

Реагенты	NaHCO_3	$\text{Br}_2 + \text{H}_2\text{O}$	$\text{CuSO}_4 + \text{NaOH}$ без нагревания	$\text{CuSO}_4 + \text{NaOH}$ нагревание
Глицерин	—	Обесцвечивание	Ярко-синий раствор	Ярко-синий раствор
Глюкоза	—	Обесцвечивание	Ярко-синий раствор	Оранжевый осадок Cu_2O
Формалин	—	Обесцвечивание	Голубой осадок $\text{Cu}(\text{OH})_2$ не исчезает	Оранжевый осадок Cu_2O
Фенол	—	Белый осадок		
Уксусная кислота	$\text{CO}_2 \uparrow$	Без изменений		
Муравьиная кислота	$\text{CO}_2 \uparrow$	Обесцвечивание		

Литература

1. Травень В. Ф. Органическая химия: Учебник для вузов: В 2 т. / В. Ф. Травень. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2006.
2. Смолина Т. А. и др. Практические работы по органической химии : Малый практикум. Учеб пособие для вузов. / Т. А. Смолина, Н. В. Васильева, Н. Б. Куплетская. – М.: Просвещение, 1986.
3. Кучеренко Н. Е. и др. Биохимия: Практикум /Н. Е. Кучеренко, Ю. Д. Бабенюк, А. Н. Васильев и др. – К.: Выща школа, Изд-во при Киев. ун-те, 1988.
4. Шапиро Д. К. Практикум по биологической химии. – Мн: Вышэйшая школа, 1976.
5. В. К. Николаенко. Решение задач повышенной сложности по общей и неорганической химии: Пособие для учителя, Под ред. Г.В. Лисичкина – К.: Рад.шк., 1990.
6. С. С. Чуранов. Химические олимпиады в школе: Пособие для учителей. – М.: Просвещение, 1962.
7. Московские городские химические олимпиады: Методические рекомендации. Составители В.В. Сорокин, Р.П. Суровцева – М.,: 1988
8. Современная химия в задачах международных олимпиад. В. В. Сорокин, И. В. Свитанько, Ю. Н. Сычев, С. С. Чуранов – М.: Химия, 1993
9. Е. А. Шишкин. Обучение учащихся решению качественных задач по химии. – Киров, 1990.
10. Химические олимпиады в задачах и решениях. Части 1 и 2. Составители Кебец А. П., Свиридов А. В., Галафеев В. А., Кебец П. А. – Кострома: Изд-во КГСХА, 2000.
11. С. Н. Перчаткин, А. А. Зайцев, М. В. Дорофеев. Химические олимпиады в Москве.– М.: Изд-во МИКПРО, 2001.
12. Химия 10-11: Сборник задач с решениями и ответами / В. В. Сорокин, И. В. Свитанько, Ю. Н. Сычев, С. С. Чуранов.– М.: «Издательство АСТ»: ООО «Издательство АСТРЕЛЬ», 2001.