

АЗОТСОДЕРЖАЩИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ

Азот – один из главных органогенных элементов, а соединения, его содержащие, широко представлены в природе: белковые вещества и нуклеиновые кислоты, сложные липиды и аминоксахара, хлорофилл и гемоглобин. Синтезированы и широко используются многочисленные лекарственные препараты и красители, полимерные материалы и т.д.

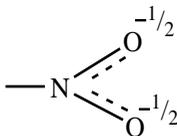
Классы азотсодержащих органических соединений – многочисленны. Эти соединения бывают как моно-, так и полифункциональными, как гомо-, так и гетерофункциональными. Важнейшие из них будут рассмотрены ниже.

НИТРОСОЕДИНЕНИЯ

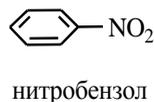
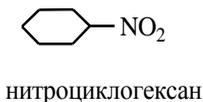
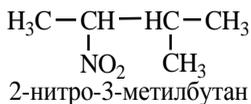
Это – вещества, содержащие в молекуле нитрогруппу ($-\text{NO}_2$), азот которой связан с атомом углерода.

Нитросоединения могут содержать одну или несколько нитрогрупп. По виду радикалов они делятся на ароматические, циклические и алифатические, по типу углерода, с которым соединена нитрогруппа, - на первичные, вторичные и третичные.

Физико-химическими методами исследований установлено, что оба атома кислорода в нитрогруппе равноценны, а электронная плотность равномерно распределена между ними



Для наименования нитросоединений, – к названию соответствующего углеводорода добавляется приставка «нитро» с указанием «адреса» нахождения группы



Изомерия нитросоединений связана со строением углеродной цепи и положением нитрогруппы. Нитросоединения изомерны эфирам азотистой кислоты



Получение

Основным способом получения нитросоединений является реакция нитрования, которая осуществляется действием азотной кислоты, нитрующей смеси ($\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4$ конц) или оксидов азота. Общая схема процессов имеет вид

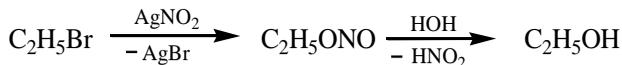


Нитрование ароматических соединений – типичный пример электрофильного замещения. Нитрогруппа в аренах – мета-ориентант.

Нитрование алканов и цикланов может быть осуществлено по реакции М.И.Коновалова (1888) или парофазным методом. Одним из наиболее надежных является метод взаимодействия галогеналкилов с нитритами серебра или натрия



В качестве побочных продуктов здесь образуются эфиры азотистой кислоты, которые легко отделяются, так как имеют значительно более низкие температуры кипения и, в отличие от нитроалкилов, очень легко гидролизуются



Свойства

Нитросоединения жирного ряда – высококипящие жидкости с приятным запахом, мало или практически не растворимые в воде. Плот-

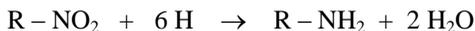
ность первых (до нитробутана) больше единицы; последующие – легче воды.

Ароматические – жидкости или твердые вещества с запахом горького миндаля *ядовиты*.

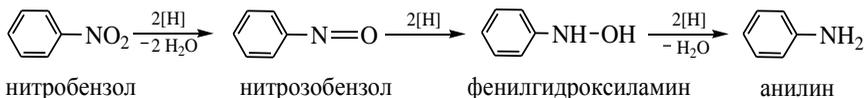
Нитросоединения – соединения повышенной полярности.

Химическое поведение нитросоединений определяется особенностями нитрогруппы и местом ее нахождения в молекуле.

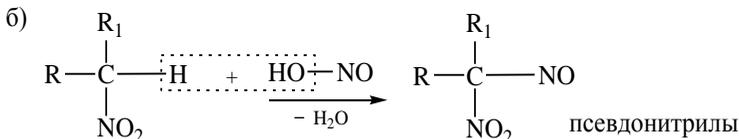
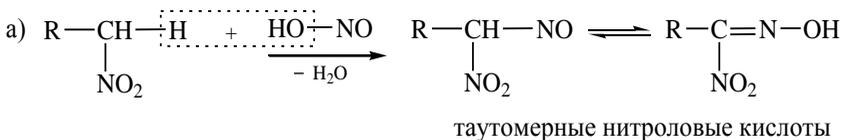
1) Восстановление нитросоединений приводит к образованию первичных аминов



Наибольшее значение имеет восстановление ароматических аминов (реакция Н.Н.Зинина, 1842) – основа анило-красочной промышленности. Промежуточные продукты восстановления могут быть выделены и имеют самостоятельное значение



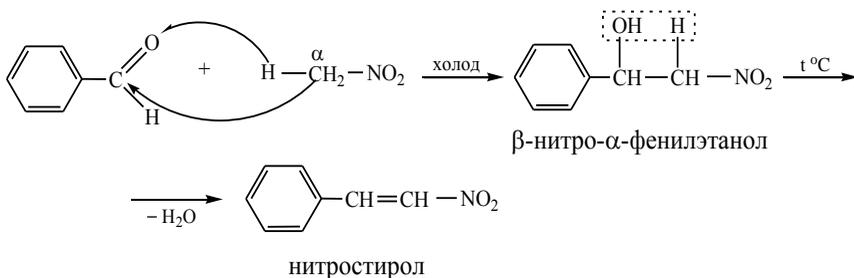
2) Действие азотистой кислоты на нитросоединения связано с резко повышенной подвижностью α – водорода (относительно нитрогруппы). Первичные (а) нитросоединения образуют нитроловые кислоты, вторичные (б) – псевдонитролы



Щелочные соли нитроловых кислот и их растворы окрашены в ярко-красный цвет, растворы псевдонитролов в эфире и хлороформе – в

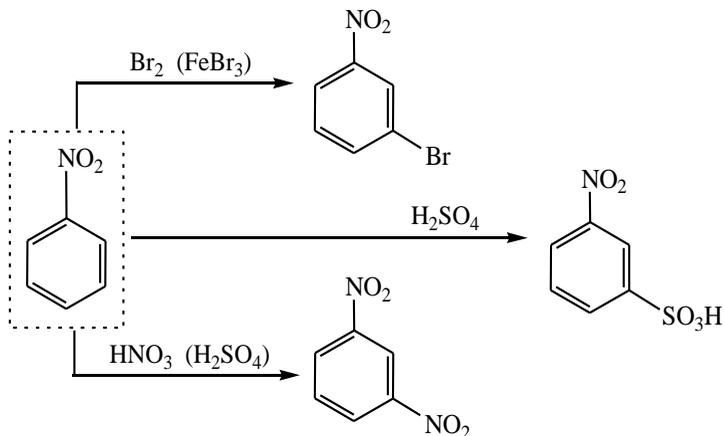
синий цвет – качественные реакции на первичные, вторичные и третичные нитросоединения. Третичные нитросоединения (нет α – водорода) с HNO_2 не реагируют.

3) Конденсация с альдегидами протекает за счет повышенной подвижности α – водорода первичных и вторичных нитросоединений



Процесс идет по типу альдольно-кетоновой конденсации.

4) Реакции бензольного ядра ароматических нитросоединений идут по типу электрофильного замещения в мета-положение



Применение

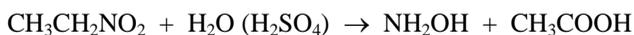
Нитросоединения применяются в качестве растворителей (полярных); добавок к дизельному топливу для снижения температуры его

воспламенения; в качестве взрывчатых веществ (тротил – 2,4,6-тринитротолуол; пикриновая кислота – 2,4,6-тринитрофенол).

Многие соединения являются промежуточными продуктами в синтезе аминов, альдегидов и кетонов, жирных кислот др.

Нитрометан CH_3NO_2 – хороший растворитель. Его хлорированием получают хлорпикрин CCl_3NO_2 , применяемый для борьбы с грызунами в хлебохранилищах и складах, а также в качестве слезоточивого газа.

Нитроэтан $\text{C}_2\text{H}_5\text{NO}_2$ применяют для получения гидроксиламина

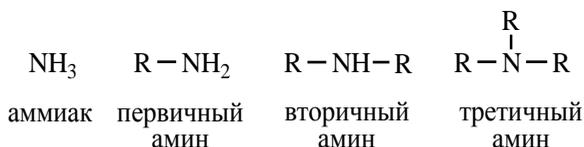


Нитроциклогексан $\text{C}_6\text{H}_{11}\text{NO}_2$ – промежуточный продукт в синтезе капролактама.

Нитробензол $\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$ – промежуточный продукт в производстве анилина и др.

АМИНЫ

Амины могут рассматриваться как производные аммиака, в молекуле которого один или несколько атомов водорода замещены на углеводородные радикалы



Таким образом, первичные амины содержат аминогруппу $-\text{NH}_2$, вторичные – иминогруппу $-\text{NH}-$, третичные – третичный атом азота.

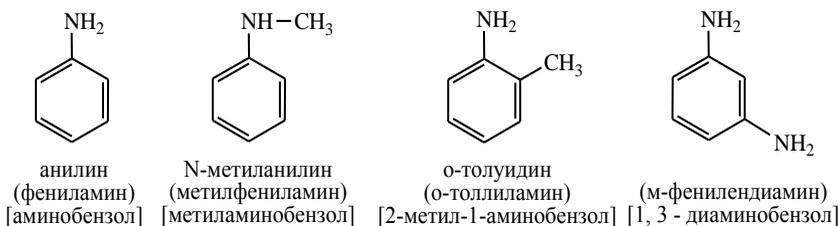
Могут быть представлены амины и как производные углеводов, в молекулах которых один или несколько атомов водорода замещены на аминогруппу.

Различаются амины по виду радикала (ароматические, циклические, алифатические) и по числу аминогрупп в молекуле.

По (р.н.) амины называют перечислением радикалов, связанных с азотом, с добавлением термина «амин» для [м.н.] группа $-\text{NH}_2$ имеет название «амино».

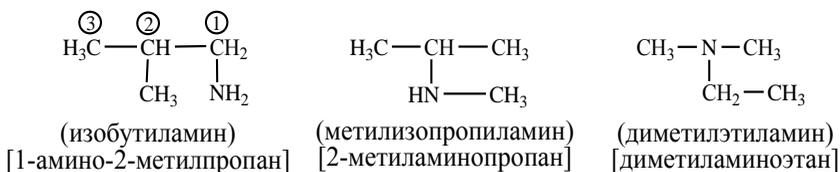
Некоторые амины имеют и тривиальные названия:





Толуидины и фенилендиамины известны в трех изомерных формах: орто-, мета- и пара-.

Изомерия аминов связана с изомерией радикалов и с различным положением аминогруппы



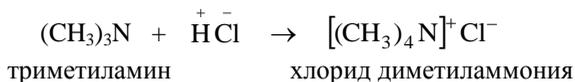
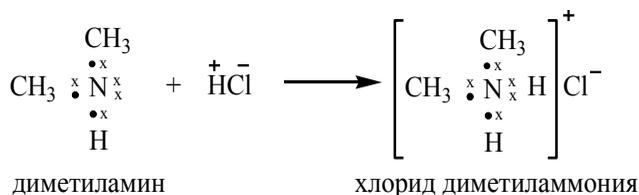
Свойства аминов

Простейшие алифатические амины – бесцветные, газообразные, горючие вещества, растворимые в воде. Имеют запах испорченной рыбы. Растворимость в воде уменьшается с ростом молярной массы.

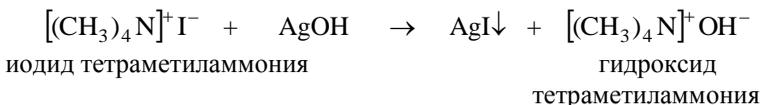
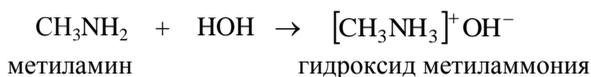
Ароматические амины – жидкости или твердые вещества с неприятным запахом – весьма *ядовиты*.

По химическому характеру амины – органические основания. Это связано с наличием у атома азота неподеленной электронной пары, что позволяет ему участвовать в качестве донора в образовании донорно-акцепторной связи с электрофилами.

1) Образование алкиламмонийных солей. С минеральными кислотами амины (как и сам аммиак) образуют алкилзамещенные аммонийные соли, в том числе *четвертичные*

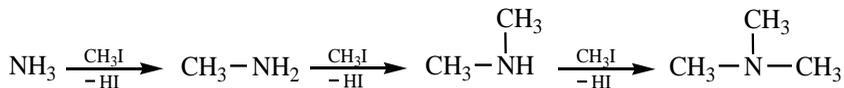


2) Образование гидроксидов. Водные растворы низших аминов (как и аммиака) имеют щелочной характер (изменяют цвет лакмуса)

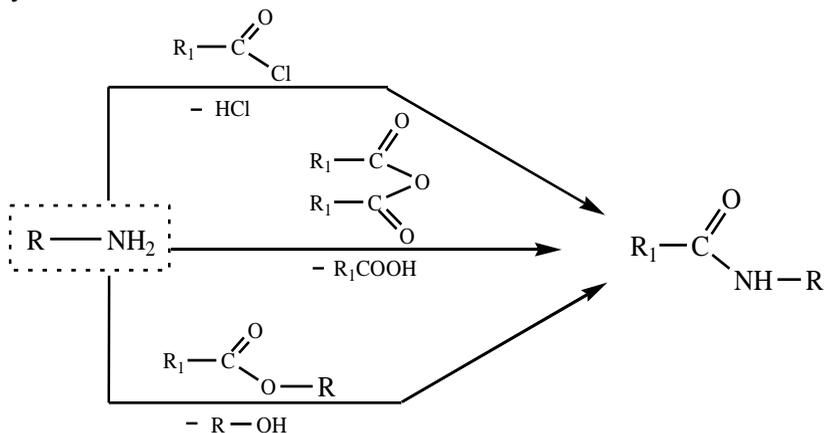


Как основание, последнее по силе равноценно NaOH. Основные свойства ароматических аминов слабее выражены, чем у алифатических, что связано со взаимным влиянием аминогруппы и бензольного кольца. Электронная пара азота вступает во взаимодействие (сопряжение) с π -электронной системой бензольного ядра. Это приводит к уменьшению способности азота удерживать протон, т.е. к снижению основных свойств ароматических аминов.

3) Реакции алкилирования (А.Гофманн, 1850)



4) Реакции ацилирования. Первичные и вторичные амины при взаимодействии с хлорангидридами, ангидридами и сложными эфирами образуют алкилами́ды кислот



Третичные амины в эти реакции не вступают.

5) Взаимодействие с азотистой кислотой. В качестве реактива обычно используют соль азотистой кислоты и сильную минеральную кислоту.

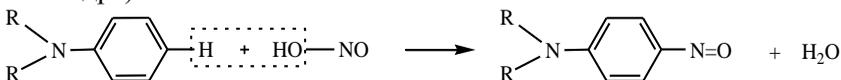
а) Первичные амины дезаминируются с выделением азота и образованием спиртов (замена аминогруппы на спиртовую)



б) Вторичные амины дают нитрозамины

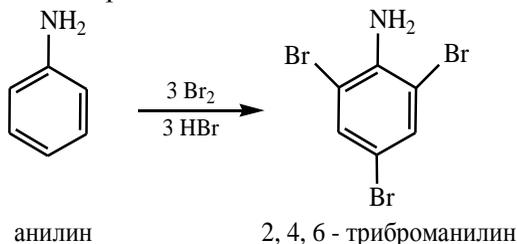


в) Третичные амины: алифатические - не реагируют с HNO_2 ; ароматические - дают п-нитрозосоединения (за счет пара-водорода бензольного ядра)

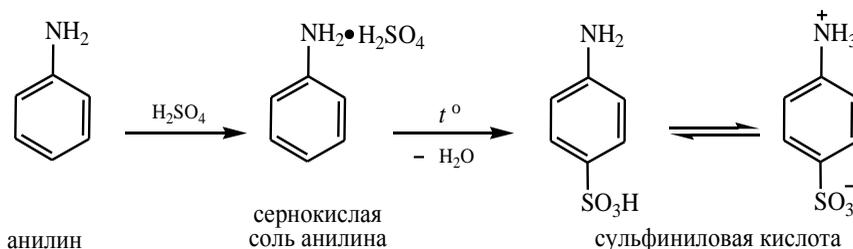


Одним из важнейших аминов является анилин (аминобензол), получаемый восстановлением нитробензола.

Аминогруппа – сильный электронно-донорный заместитель, активирующий бензольное ядро. Так, бромирование анилина легко осуществляется действием бромной воды



Нагревание анилина с концентрированной серной кислотой приводит к образованию сульфаниловой кислоты, являющейся базовым соединением для синтеза многочисленных сульфаниламидных лекарственных препаратов и ряда красителей

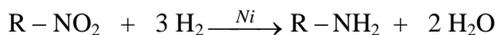


Ароматические амины легко окисляются (в отличие от алифатических аминов). Так, хромовая смесь превращает анилин в «черный анилин» – краситель, применяемый, в частности, для окраски полимеров.

Получение аминов

1) Восстановление:

а) нитросоединений

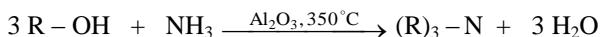
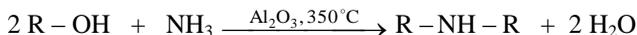
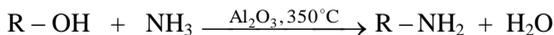


б) нитрилов



2) Алкилирование аммиака или аминов по Гофману.

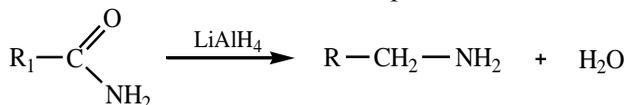
3) Аминирование спиртов для получения низших алкиламинов (C_2-C_4):



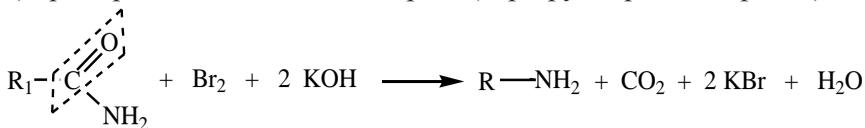
Полученную смесь аминов разделяют фракционной перегонкой.

4) Из амидов карбоновых кислот:

а) восстановлением литийалюминийгидридом



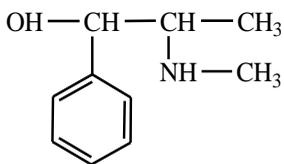
б) бромированием в щелочной среде (перегруппировка Гофмана)



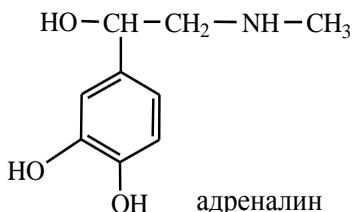
В результате реакции теряется атом углерода, удаляется группа CO из молекулы амида.

Применение аминов

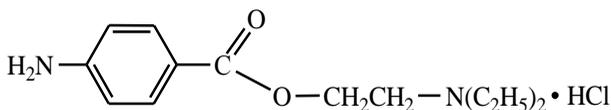
Простейшие амины встречаются среди продуктов жизнедеятельности организмов и распада тканей. Так, путресцин $H_2N-(CH_2)_4-NH_2$ и кадаверин $H_2N-(CH_2)_5-NH_2$ образуются при гниении белковых веществ. Кадаверин также содержится в пивных дрожжах и в сыре рокфор. Аминами являются многие алкалоиды (например, эфедрин), гормоны (адреналин), многочисленные фармацевтические препараты (новокаин)



эфедрин



адреналин



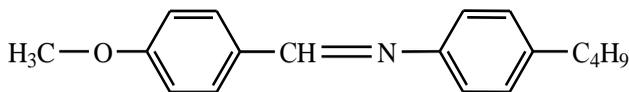
новокаин

(хлоргидрат диэтиламиноэтилового эфира
п-аминобензойной кислоты)

Амины широко используются в производстве красителей (анило-красочная промышленность), лекарств, пластмасс, инсектицидов, в качестве селективных растворителей.

Так, моно-, ди- и триметиламины применяются в производстве красителей и лекарств и как ускорители вулканизации. Диэтиламин – как компонент ракетного топлива. Гексаметилендиамин $\text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_6-\text{NH}_2$ совместно с адипиновой кислотой – в получении нейлона.

Производным анилина является МББА – жидкие кристаллы, используемые в работе микрокалькуляторов и электронных часов

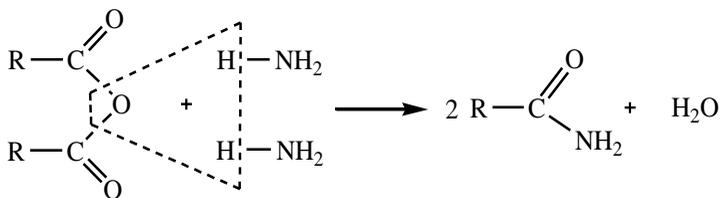


МББА

(N-пара-метоксибензилиден-парабутиланилин)

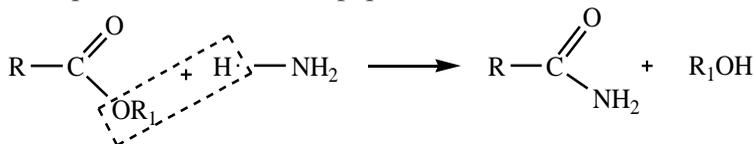
АМИДЫ И ИМИДЫ КИСЛОТ

Амидами (ациламинами) называются продукты замещения гидроксильной группы в карбоксиле карбоновой кислоты на аминогруппу. Или продукты замещения атомов водорода в аммиаке на ацильную группу.



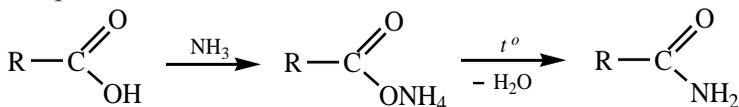
ангидрид кислоты

2) Аминированием сложных эфиров

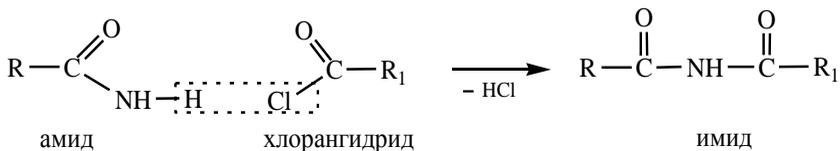


сложный эфир

3) Дегидратацией аммонийных солей



4) Линейные имиды получают ацилированием амидов

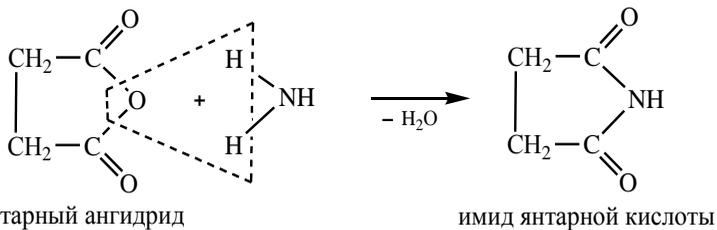


амид

хлорангидрид

имид

5) Циклические имиды легко образуются при действии аммиака на ангидриды двухосновных кислот



янтарный ангидрид

имид янтарной кислоты

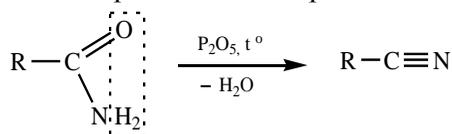
Свойства

Амиды и имиды кислот, за исключением формамида, являющегося жидкостью, - твердые вещества; ограниченно растворимы в воде, растворимость ухудшается с увеличением молекулярной массы.

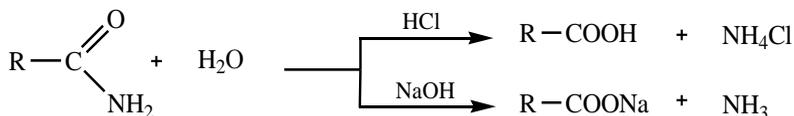
Амиды, в отличие от аминов, - практически не обладают основными свойствами, а имиды вообще являются слабыми кислотами (это связано с повышенной подвижностью атома водорода имидной группы и способностью его замещаться на ион металла).

АМИДЫ

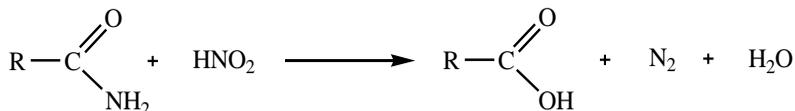
1) Дегидратируются с образованием нитрилов



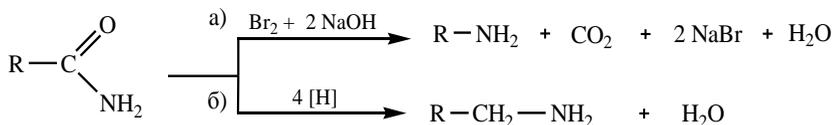
2) Легко гидролизуются в кислой или щелочной среде



3) Дезаминируются действием азотистой кислоты



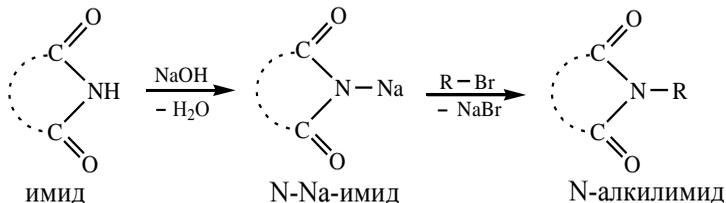
4) Превращаются в амины с радикалами разной длины при бромировании в щелочной среде (а) и при восстановлении (б)



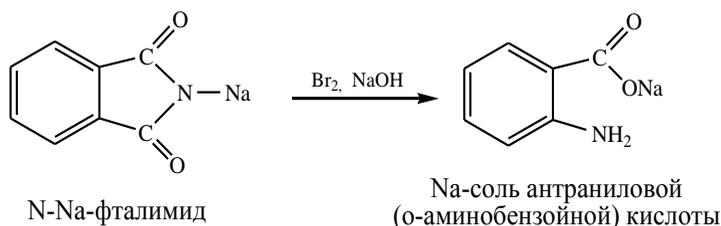
5) Ацилируются до имидов.

ИМИДЫ

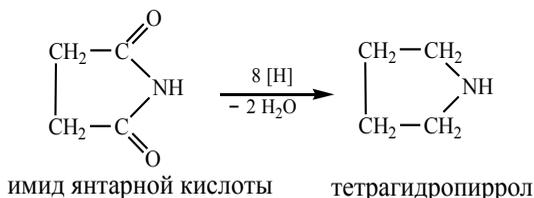
6) Проявляя кислотные свойства, реагируют со щелочами. Их металлопроизводные, в свою очередь, легко алкилируются



7) Бромруются в щелочной среде (по Гофману) с образованием аминокарбоновой кислоты (отщепляется одна карбоксильная группа из двух):



8) Восстанавливаются до азотсодержащих гетероциклов



Применение

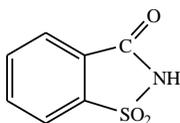
Амиды и имиды кислот распространены в природе. Как высоко реакционноспособные вещества, они широко используются в различных органических синтезах, являясь промежуточными продуктами фармацевтической промышленности, для получения полиамидных волокон и других синтетических материалов.

Имиды используются для синтеза гетероциклических соединений, аминокислот, пептидов, аминов.

Расплавленные амиды кислот являются хорошими растворителями для многих органических и неорганических соединений.

Очень широко используется мочеви́на (карбамид) и ее многочисленные и разнообразные производные.

Один из известных пищевых имидов – сахарин, – имид о-сульфобензойной кислоты. Применяется в пищу вместо сахара при диабете; организмом не усваивается, выводится вместе с мочой.



НИТРИЛЫ КИСЛОТ

Нитрилы можно рассматривать или как продукты замещения на алкил водорода в молекуле цианисто-водородной кислоты ($\text{H}-\text{C}\equiv\text{N}$), или как производные углеводородов, в молекулах которых водород замещен на цианидную группу ($-\text{C}\equiv\text{N}$).

По свойствам нитрилы являются производными карбоновых кислот, в которые они и превращаются при гидролизе.

Названия нитрилов строятся из названия соответствующей кислоты с добавлением термина «нитрил». По рациональной номенклатуре нитрилы – это алкилцианиды.



[метилцианид]

(нитрил уксусной кислоты),
ацетонитрил

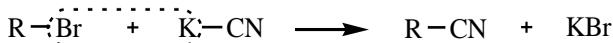


[винилцианид]

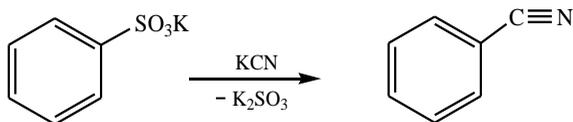
(нитрил акриловой кислоты),
акрилонитрил

Получение нитрилов

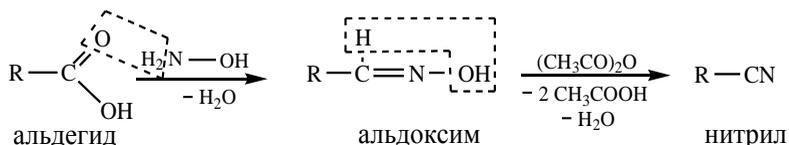
- 1) дегидратацией амидов карбоновых кислот;
- 2) Взаимодействием алкилгалогенидов с KCN



3) Сплавлением солей ароматических сульфокислот с KCN



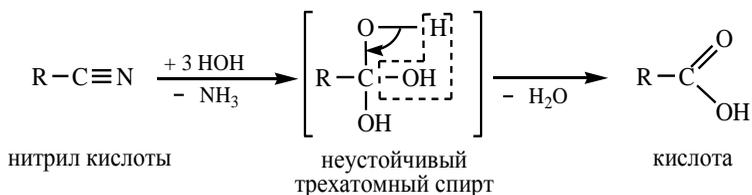
4) Дегидратацией оксимов альдегидов при помощи уксусного ангидрида



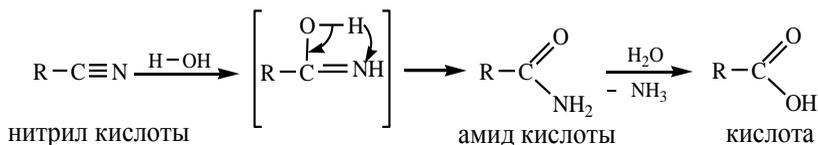
Свойства нитрилов

Химические свойства нитрилов определяются ярко выраженной полярностью связи $\text{C}\equiv\text{N}$ и повышенной подвижностью α -водорода в радикале.

1 а) Все нитрилы при гидролизе превращаются в соответствующие кислоты (на месте группы $-\text{C}\equiv\text{N}$ получается группа $-\text{COOH}$):



1 б) Осторожным гидролизом можно получить вначале амид, который при дальнейшем гидролизе образует соответствующую кислоту

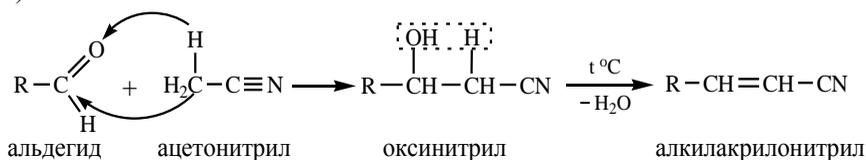


2) Восстановление нитрилов приводит к соответствующим первичным аминам

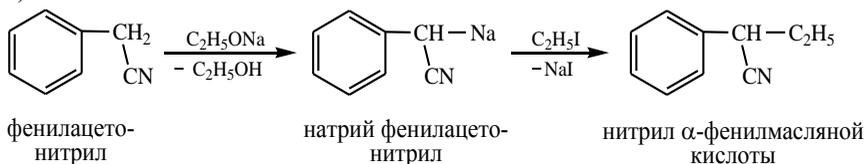


3) Повышенная подвижность α -водорода в молекулах нитрилов позволяет им вступать в реакции с альдегидами (а) и в реакции алкилирования (б), подобные таковым для натриймалонового эфира

а)



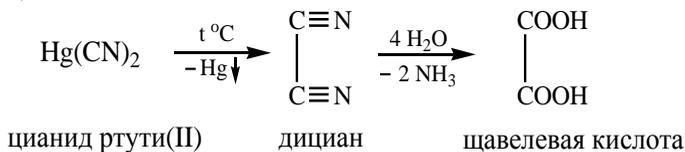
б)



Применение нитрилов

HCN и ее производные часто встречаются в растениях как нормальные продукты обмена. «Цианогенные» глюкозиды встречаются в плодах, например, в миндале, в косточках вишен, яблок, персиков, абрикосов. Поэтому цианистые соединения содержатся в вишневой наливке и других плодовых винах.

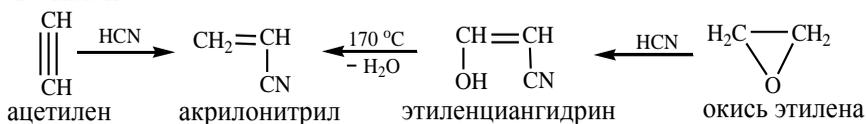
Самое простое азотсодержащее органическое соединение – дициан, динитрил щавелевой кислоты



Ацетонитрил $\text{CH}_3 - \text{C}\equiv\text{N}$, жидкость, $T_{\text{кип}}=82\text{ }^\circ\text{C}$, растворитель многих органических и неорганических соединений, в том числе, растворитель зарина – ОВ нервно-паралитического действия. Токсичен, как и прочие нитрилы.

Акрилонитрил $\text{H}_2\text{C} = \text{CH} - \text{CN}$, $T_{\text{кип}}=78\text{ }^\circ\text{C}$ – очень важный и широко используемый химический полупродукт. По причине высокой реакционной способности используется для разнообразных лабораторных и промышленных синтезов.

В промышленности получают действием HCN на ацетилен или на окись этилена



Акрилонитрил легко присоединяет (против правила Марковникова) различные соединения – HNaI , HCN , спирты и фенолы, H_2S и меркаптаны, оксимы, NH_3 и амины, является хорошим диенофилом для синтезов Дильса-Альдера, полимеризуется.

В промышленности идет на производство:

- полиакрилонитрила;
- бутадиеннитрильного каучука (сополимеризация с бутадиеном);
- сополимеров со стиролом, винилхлоридом, метилметакрилатом;
- динитрила адипиновой кислоты (гидродимеризация);
- эфиров акриловой кислоты (с последующим получением оргстекла);
- глутаминовой кислоты и др.

ДИАЗО- и АЗОСОЕДИНЕНИЯ

В diazosоединениях RN_2X атомы азота связаны с углеводородным радикалом и неорганическим остатком X (Na^+ , OH^- , NO_3^- , HSO_4^- , BF_4^-).

Азосоединения содержат группировку $-\text{N}=\text{N}-$ (азогруппу), связанную с двумя радикалами (алифатическими, ароматическими или гетероциклическими).

Наибольший интерес представляют ароматические диазо- и азосоединения. Диазосоединения имеют важное препаративное значение, так как заменой в них группы $-N_2X$ на H , Hal , NO_2 , OH , SH , SO_3H , CN и на другие группы в лаборатории легко могут быть получены, соответственно, арены и их галогено- и нитропроизводные; фенолы и тиофены; сульфокислоты; нитрилы, при гидролизе которых образуются ароматические карбоновые кислоты.

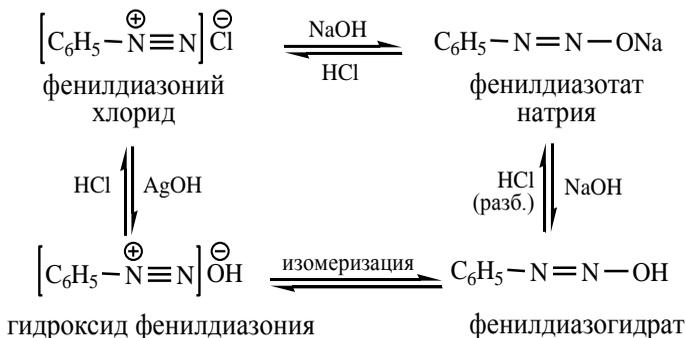
В свою очередь, азосоединения имеют важное промышленное значение, являясь основой для получения красителей.

АРОМАТИЧЕСКИЕ ДИАЗОСОЕДИНЕНИЯ

Диазосоединения ArN_2X существуют в нескольких формах



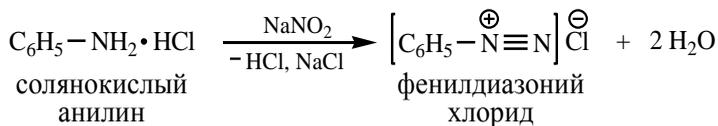
Эти формы диазосоединений взаимопревратимы по следующей схеме:



В кислых средах диазосоединения существуют в виде солей диазония, в щелочных – в виде диазотатов, а в средах, близких к нейтральным, - в виде таутомерных друг другу гидроксидов диазония и диазо-

гидратов. Наибольший интерес из них представляют соли диазония, получение и свойства которых рассматриваются ниже.

Реакция диазотирования – основной способ получения солей диазония: действие азотистой кислоты на соль первичного ароматического амина в кислой среде

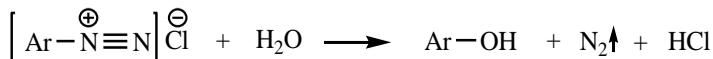


Весь процесс идет при охлаждении (0-5⁰С) с избытком соляной кислоты (на 1 моль амина – 2,5-3 моль HCl). Диазосоединения почти никогда не выделяют в твердом виде (это опасно из-за взрывчатости сухих диазосоединений), а используют непосредственно их раствор для последующих превращений.

Диазосоединения весьма реакционноспособные вещества. Их превращения могут быть разделены на две группы реакций: (А) реакции с выделением азота; (Б) реакции, протекающие без выделения азота.

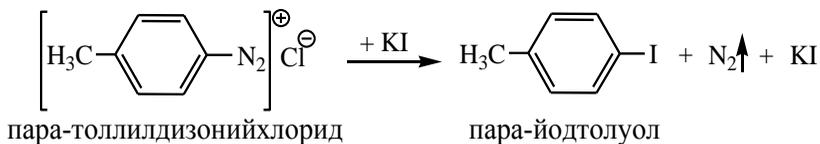
А) Деазотирование (обмен диазогруппы на другие группировки).

Гидролиз растворов диазосоединений на холоде (быстрее – при нагреве) приводит к замене диазогруппы на гидроксил и к образованию фенолов

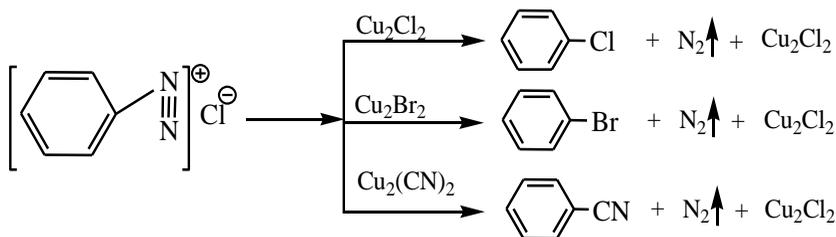


Гидролиз является причиной того, что раствор соли диазония после получения следует немедленно использовать для их дальнейших превращений.

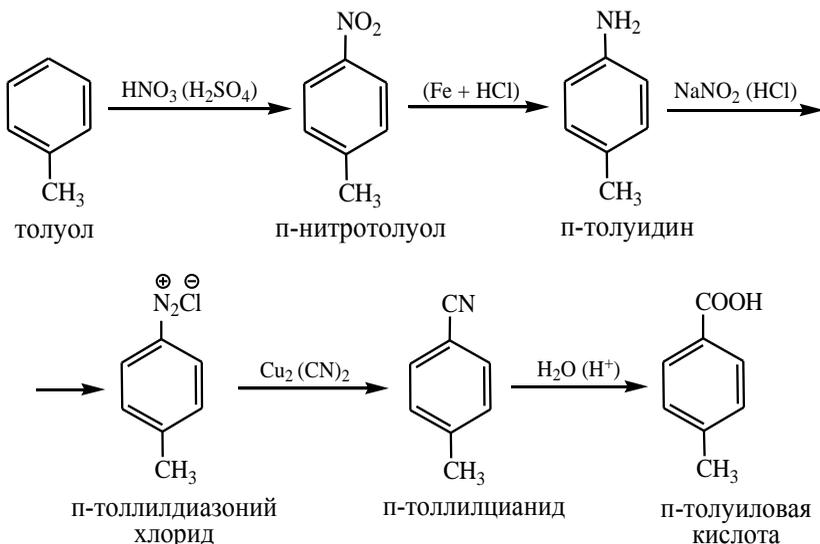
При действии KI диазогруппа замещается на иод.



Замещение диазогруппы на бром, хлор или на цианогруппу идет в присутствии соответствующих солей одновалентной меди в качестве катализатора (реакция Зандмейера)

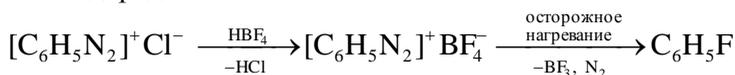


Последующий гидролиз нитрилов приводит к карбоновым кислотам. Таким образом, синтез нитрилов из солей диазония – хороший способ превращения нитросоединений в карбоновые кислоты, например:



Этот путь синтеза ароматических карбоновых кислот более универсален, чем карбоксилирование реактива Гриньяра или окисления боковых цепей производных бензола.

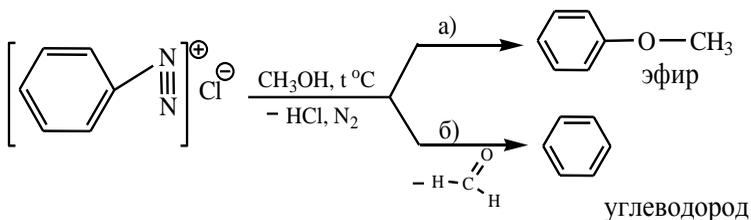
Замещение диазогруппы на фтор осуществляется действием борфтористоводородной кислоты



Взаимодействие солей диазония со спиртами при нагревании идет в двух направлениях:

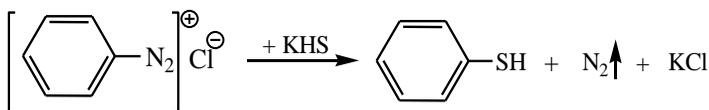
(а) замещение диазогруппы на алкоксигруппу с образованием фенилалкиловых эфиров;

(б) замещение диазогруппы на водород с образованием углеводородов

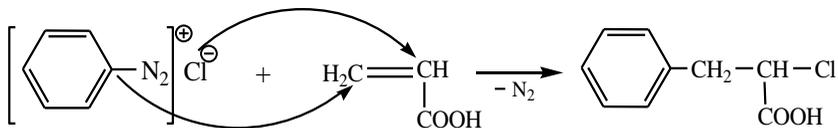


В зависимости от природы спирта и условий, реакция может быть направлена преимущественно по одному или другому пути.

Замещение диазогруппы на меркаптогруппу (с образованием тиофенолов) осуществляется действием на диазосоединения гидросульфид калия

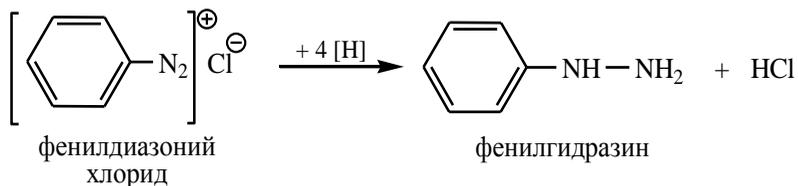


Соли диазония реагируют также с веществами, содержащими сопряженные кратные связи (реакция Меервейна)



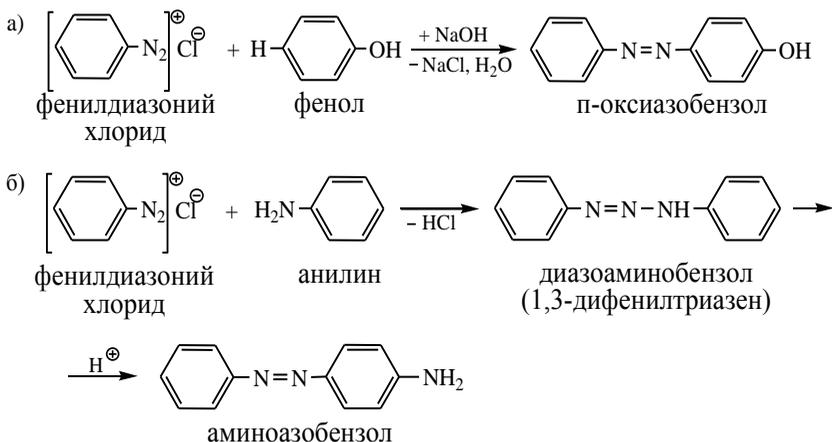
Б) Реакции диазосоединений без выделения азота.

Восстановление солей диазония приводит к соответствующим гидразинам



Реакция азосочетания – основной способ получения азосоединений и наиболее важная реакция диазосоединений без выделения азота. По своему механизму азосочетание – это электрофильное замещение водорода в ароматическом ядре фенола или амина на группу Ar-N=N- с образованием соответственно оксиазо- или аминоазосоединений.

Азосочетание фенолов проводится в слабощелочной среде (а); ароматические амины – первичные или вторичные – сочетаются с солями диазония в нейтральных или слабокислых средах по атому азота, образуя диазоаминосоединения (1,3-диарилтриазены), которые при подкислении перегруппировываются в аминоазосоединения (б):



Участников азосочетания – два:

1) диазосоставляющая (диазокомпонента) – первичный ароматический амин, из которого была получена соответствующая соль диазония;

2) азосоставляющая (азокомпонента) – амин (а) или фенол (б), сочетающийся с солью диазония.

Атака электрофила (диазокомпоненты) всегда происходит почти исключительно в пара-положение к гидроксилу или аминогруппе азокомпоненты. Если пара-положение занято, то атака направляется в орто-положение. Активность азосоставляющих при этом увеличивается присутствием в них дополнительных электронодонорных групп (так, многоатомные фенолы, например, резорцин, более активны, чем фенол одноатомный). С другой стороны, активность диазосоставляющих возрастает с увеличением в них количества электроноакцепторных групп.

АЗОСОЕДИНЕНИЯ

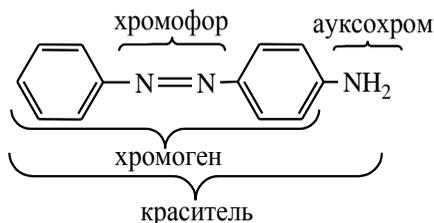
Подавляющее большинство органических веществ являются бесцветными. Ароматические азосоединения являются окрашивающими, т.е. хромогенами (греч. «хромос» - цвет, «генос» - рождающий).

Окраска органических соединений связана с наличием в их молекуле особых группировок, получивших название хромофоров (греч. «форос» – носитель). Обычно эти группы, содержащие двойные связи. Особенно сильными хромофорами являются азогруппа $-N=N-$, системы с большим количеством сопряженных двойных связей и хиноидные группировки, например:

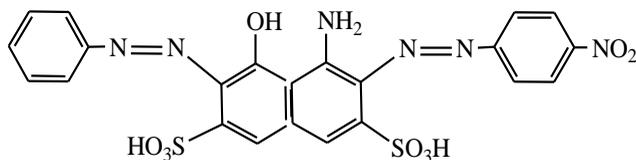


Известно также, что некоторые функциональные группы, сами не являющиеся хромофорами, своим присутствием в хромофорных соединениях значительно усиливают цветность последних. Эти группы называют ауксохромы. К их числу относятся группы OH , NO_2 , NH_2 , $N(CH_3)_2$, $COOH$, SO_3H и др., которые, кроме усиления интенсивности окраски, обуславливают еще и сродство окрашивающего вещества к материалу.

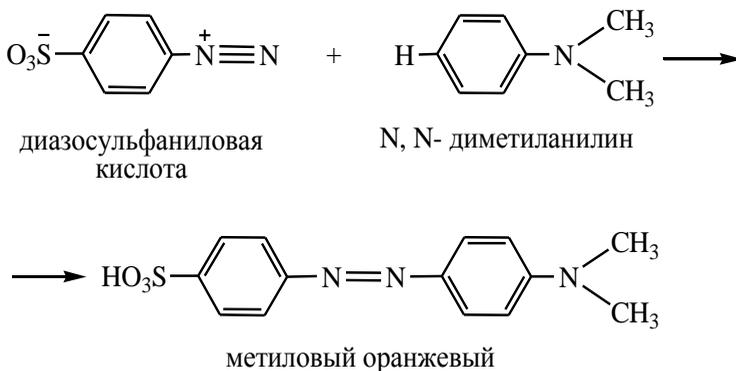
Итак, «хромосостав» красителя может быть представлен следующим образом:



Используемые в промышленности азокрасители часто содержат две и более азогруппы, например, кислотный сине-черный краситель шерстяных тканей



Окраска некоторых красителей способна изменяться в зависимости от pH среды. Одним из наиболее распространенных кислотно-щелочных индикаторов является метиловый оранжевый, получающийся при азосочетании диазобензолсульфо кислоты (диазокомпонента) с диметиланилином (азокомпонента)



Изменение окраски метилового оранжевого с изменением рН связано с изменением хромофора



В нейтральной и щелочной средах хромофором является азогруппа $-\text{N}=\text{N}-$, а в кислой возникает новый хромофор – хиноидное ядро. Реакция обратима.

В анилинокрасочной промышленности используются как готовые азокрасители (прямое крашение), так и реализуется азосочетание прямо на ткани непосредственно в процессе крашения.