

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 19.12.2024 10:16:53
Уникальный программный ключ:
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d089

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение
высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра фундаментальной химии и химической технологии

УТВЕРЖДАЮ
проректор по учебной работе

О.Г. Локтионова
« 18 » 09 2019 г



ПЯТИЧЛЕННЫЕ ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ С ОДНИМ ГЕТЕРОАТОМОМ

Методические указания к практическим занятиям и
самостоятельной работе по курсу «Основы химии
гетероциклических соединений» для студентов направления
подготовки 04.03.01 Химия

Курск 2019

УДК 547.72:547.74

Составитель Л.М. Миронович

Рецензент:

Доктор химических наук, профессор *А.М. Иванов*

Пятичленные гетероциклические соединения с одним гетероатомом: Методические указания к практическим занятиям и самостоятельной работе по курсу «Основы химии гетероциклических соединений» для студентов направления подготовки 04.03.01 Химия / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: Л.М. Миронович. Курск, 2019, 26 с. Библиогр.: 26 с.

Методические указания предназначены для углубленного изучения химии гетероциклических соединений, имеющих в своем составе один гетероатом курса «Основы химии гетероциклических соединений» для студентов очной формы обучения, а также преподавателей, научных сотрудников, аспирантов и инженеров кафедры фундаментальной химии и химической технологии.

Методические указания соответствуют требованиям программы, утвержденной учебно-методическим объединением по курсу «Основы химии гетероциклических соединений» для студентов направления подготовки 04.03.01 «Химия».

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать *18.12.19*
Формат 60x84 1/16 л. печ. л. 1,51 Уч.-изд.л. 1,37 Тираж 50 экз. Заказ. ~~550~~ Бесплатно
Юго-Западный государственный университет.
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

СОДЕРЖАНИЕ

1.	Введение.....	4
2.	Краткие теоретические сведения.....	4
3.	Примеры ответов на тестовые задания.....	12
4.	Тестовые задания.....	13
5.	Вопросы для самопроверки.....	24
6.	Литература.....	26

ВВЕДЕНИЕ

Из наиболее известных и широко применяемых лекарственных препаратов природного и синтетического происхождения более 60% представлены гетероциклическими соединениями.

Наличие гетероатома определяет специфику методов синтеза. Несмотря на специфичность этих методов, в основе каждого из них лежат известные из общего курса органической химии принципы реакционной способности и взаимодействия основных органических функциональных групп.

Основное внимание в методической разработке уделено наиболее распространенным методам синтеза и химическим свойствам пятичленным гетероциклическим соединениям, содержащим один гетероатом.

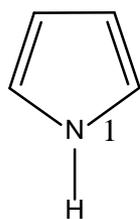
Для самостоятельного изучения темы, студент обязан прослушать лекционный материал. После изучения лекционного материала по теме, студент обязан познакомиться с литературой учебной и научной, которая рекомендована преподавателем. После углубленного изучения материала рекомендуется студентам ответить на вопросы по теме, которые могут быть в тестовой форме или в виде небольших вопросов, отображающих суть вопроса.

Для закрепления знаний при изучении темы приведены тестовые задания, позволяющие проверить усвоение изложенного материала.

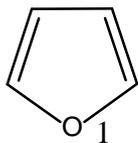
КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

К классу гетероциклических соединений относят циклические органические соединения, имеющие в составе цикла другие атомы элементов (гетероатомы **N**, **S**, **O**, **P** и другие).

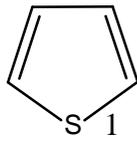
Основные классы гетероциклических соединений представлены формулами:



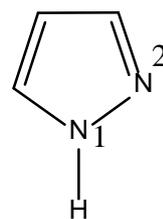
Пиррол
азол



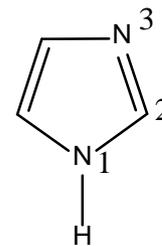
Фуран
оксол



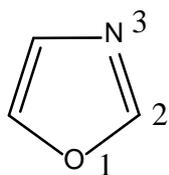
Тиофен
тиол



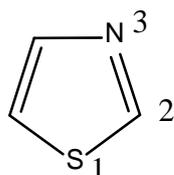
Пиразол
1,2-дiazол



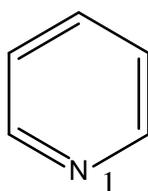
Имидазол
1,3-дiazол



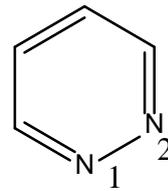
Оксазол
1,3-оксазол



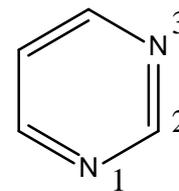
Тиазол
1,3-тиазол



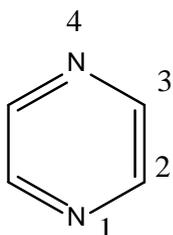
Пиридин
азин



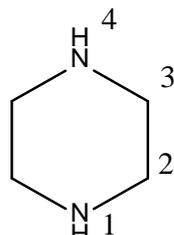
Пиридазин
1,2-дiazин



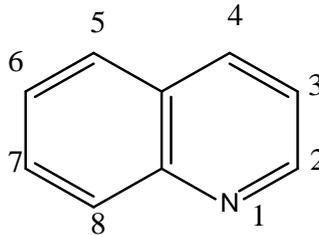
Пиримидин
1,3-дiazин



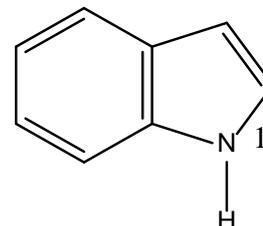
Пиразин
1,4-дiazин



Пиперазин
пергидро-1,4-
дiazин



Хинолин
бензо[b]азин



Индол
бензо[b]азол

Название гетероциклического соединения в системе Ганча-Видемана строится следующим образом.

Природу гетероатома отображают в префиксе (окса-(O) > тиа-(S) > аза-(N)); размер цикла составляет корень (-ет-(четыре), -ол-(пять), -ин-(шесть)).

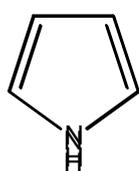
Мера насыщенности определяется суффиксами -ин (ненасыщенный цикл), -идин (насыщенный цикл с атомом азота) (таблица 1).

Число гетероатомов одного элемента обозначается в названии префиксами ди-, три-, тетра- и др.

Таблица 1

Размер цикла	Корень	Корень и суффиксы			
		Азотсодержащие циклы		Циклы, не содержащие азот	
		ненасыщенные	насыщенные	ненасыщенные	насыщенные
3	-ир-	-ирин	-иридин	-ирен	-иран
4	-ет-	-ете	-етидин	-ет	-етан
5	-ол-	-ол	-олидин	-ол	-олан
6	-ин-	-ин	пергидро,-ин	-ин	-ан
7	-еп-	-епин	пергидро,-ин	-епин	-епан

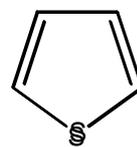
Основными представителями пятичленных гетероциклических соединений с одним гетероатомом являются:



пиррол



фуран

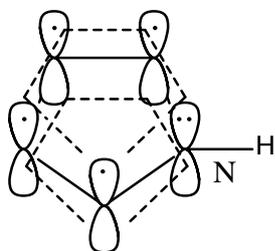


тиофен

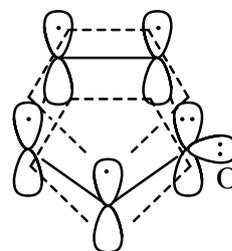
Молекулы всех пятичленных гетероароматических соединений имеют плоское строение. Ароматический секстет π -электронов в этих молекулах образуется за счет π -электронов атома углерода и неподеленных электронов гетероатомов, находящихся на негибризованных p -орбиталях.

Три sp^2 -гибризованные орбитали атома азота, содержащие по одному электрону образуют 3 σ -связи (с двумя углеродами и водородом) и p -орбиталь, содержащая неподеленную пару электронов, участвует в образовании π -сопряженной системы. В результате sp^2 -гибридизации всех атомов цикла — молекула плоская, система сопряжения становится замкнутой и включает 6 π -электронов. Выполняется правило ароматичности Хюккеля при

$n=1$. Такие системы являются π -избыточными, так как на пять атомов цикла приходится 6π -электронов. По сравнению с бензолом они легче вступают в реакции замещения.



Пиррол



Фуран

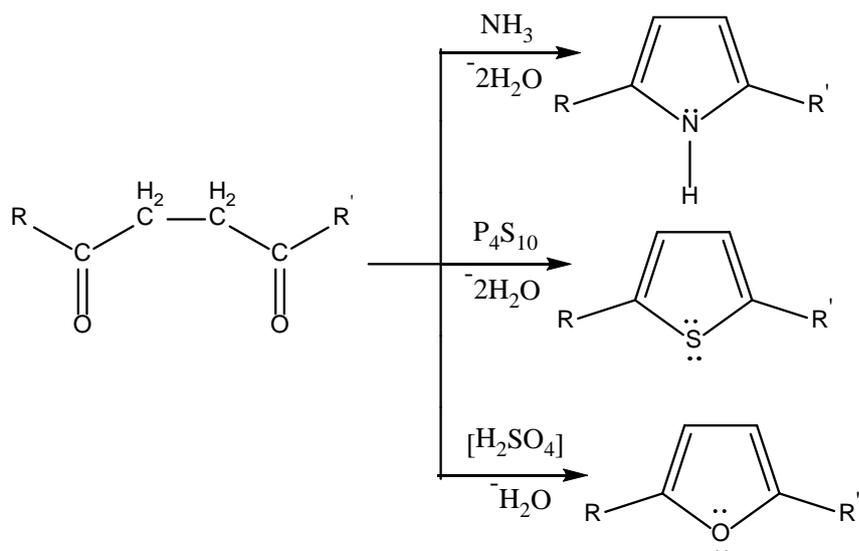
Свежеперегнаный пиррол – бесцветная жидкость с $T_{пл}$ 130°C с характерным запахом. На воздухе и на свету быстро окрашивается в красно-коричневый цвет, со временем – осмоляется.

Фуран представляет собой бесцветную жидкость с $T_{пл}$ 31°C , имеет слабый запах хлороформа. Не растворим в воде, но смешивается со всеми органическими растворителями.

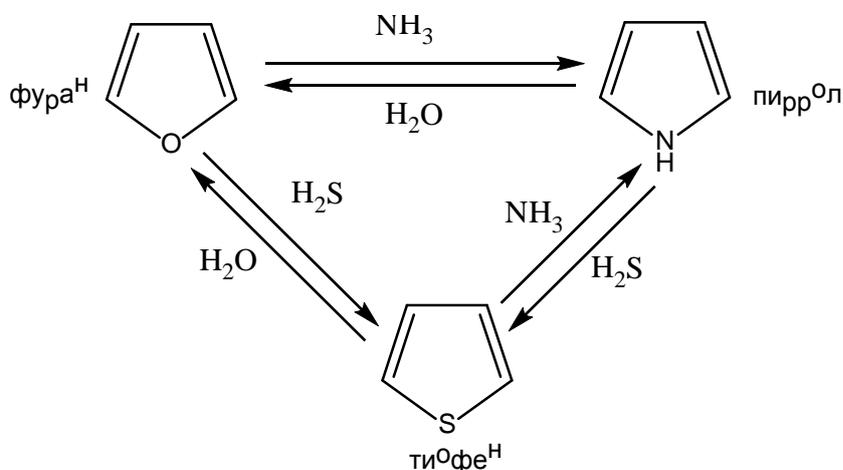
Тиофен – бесцветная жидкость с $T_{пл}$ $84,1^{\circ}\text{C}$, обладает слабым запахом. Не растворим в воде, но хорошо смешивается с органическими растворителями.

Получают фракционной перегонкой каменноугольной смолы. Разработаны синтетические методы синтеза.

Синтез Паалы-Кнорра – является общим методом получения и основан на циклизации 1,4-дикарбонильных соединений с аммиаком, сульфидом, концентрированной серной кислоты:

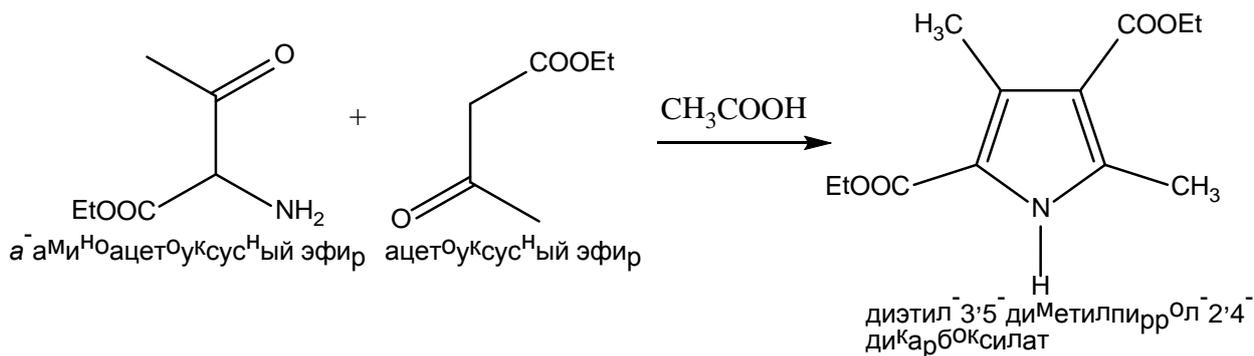


Реакция Юрьева. В 1936 году профессор Юрий Константинович Юрьев обнаружил взаимные превращения фурана, пиррола и тиофена друг в друга в каталитических условиях при высоких температурах. Наилучшие результаты дают превращения фурана. В этих превращениях применяют катализатор Al_2O_3 и высокие температуры $400\text{-}500^\circ\text{C}$.

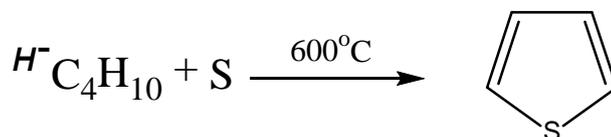


Специфические методы получения

Синтез Кнорра (1884 г)– эта реакция является удобным методом получения замещенных пирролов: α -аминокарбонильное соединения подвергают конденсации с β -кетозэфиром.



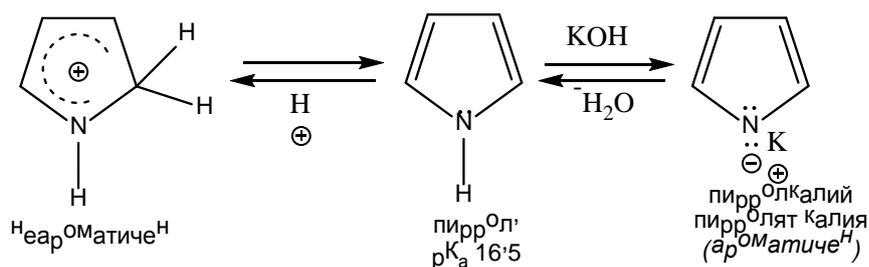
Тиофен в промышленности получают взаимодействием смеси бутана, бутенов и 1,3-бутадиена с серой при высокой температуре.



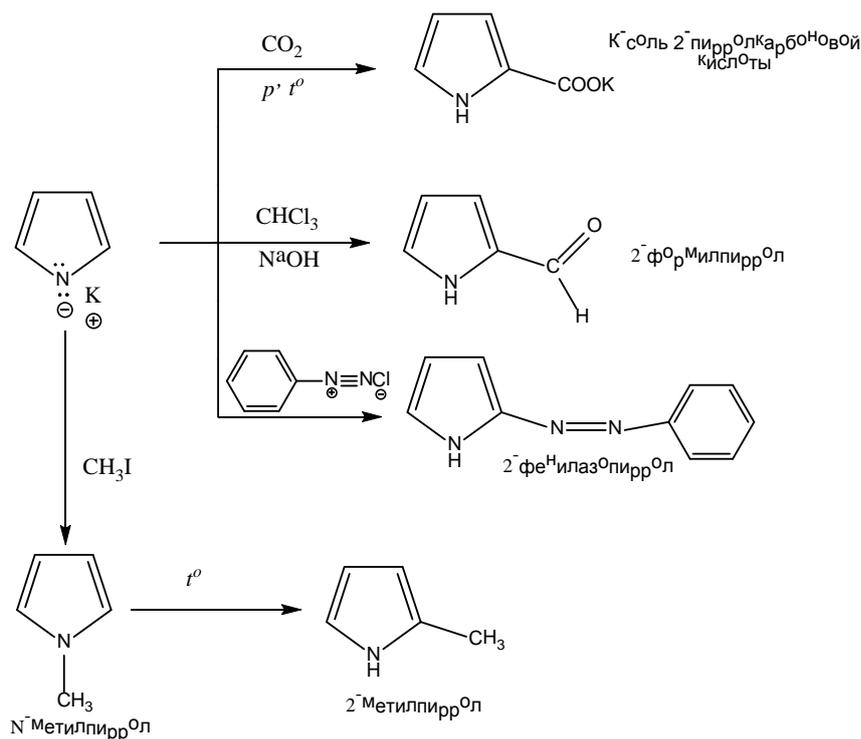
Пятичленные гетероароматические соединения ацидофобны. В присутствии сильных кислот они подвергаются протонированию.

Пиррол проявляет кислотные свойства. При действии сильных оснований пиррол образует пирролят-ион.

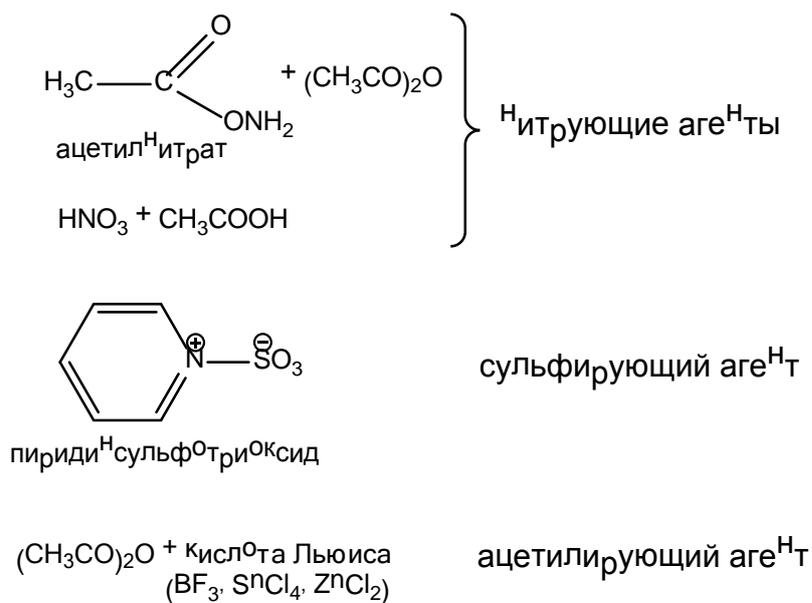
Пирролят-ион сохраняет ароматический характер пиррола. Он вступает в реакции электрофильного замещения даже со слабыми электрофильными реагентами.



Ниже приведены реакции карбонизации, формилирования, азосочетания и алкилирования, протекающие с промежуточным образованием пирролят-иона и с последующим электрофильным замещением в нем.

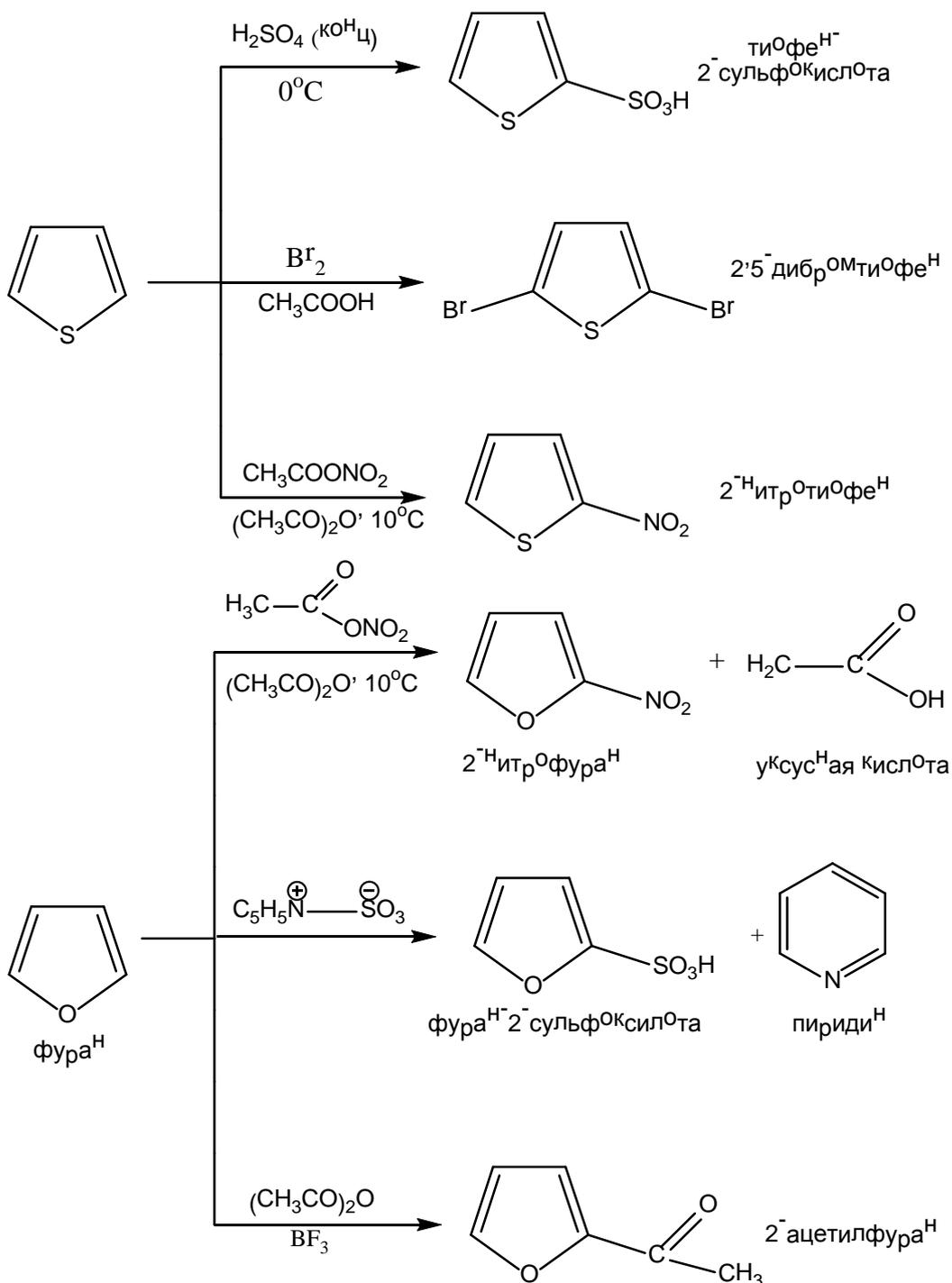


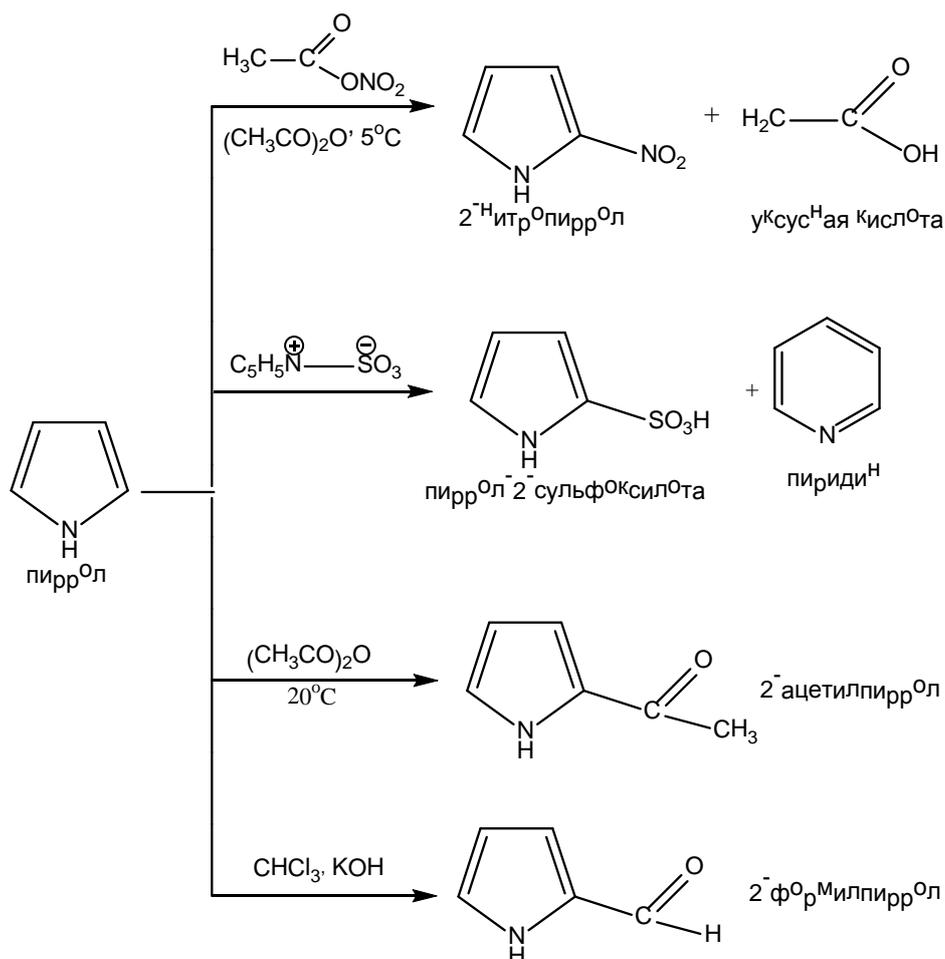
В связи с повышенной чувствительностью пятичленных гетероароматических соединений к сильным кислотам в реакциях электрофильного замещения применяют модифицированные электрофильные реагенты. При использовании этих реагентов исключается сильноокислая среда.



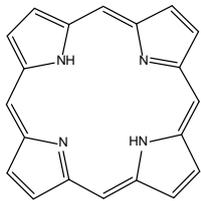
Для пятичленных гетероциклов характерны реакции электрофильного ароматического замещения. Относительная

активность пятичленных гетероаренов в реакциях S_E снижается в ряду: пиррол > фуран > тиофен. Реакции идут преимущественно в положение 2(5) цикла.

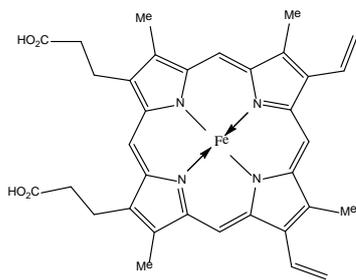




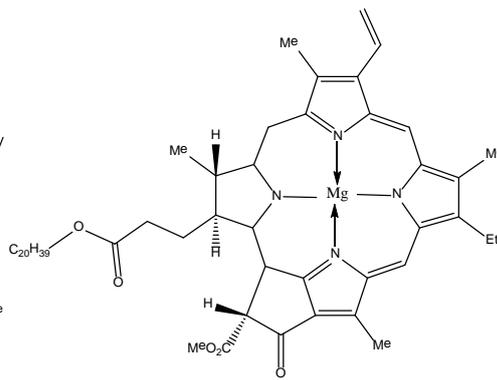
Замещенные порфины называют порфиринами (I). В виде комплексов с металлами порфирины и частично гидрированные порфирины входят в состав важных природных соединений – гема (II) (простетической группы гемоглобина – содержащегося в эритроцитах основного белка дыхательного цикла, переносчика кислорода от органов дыхания к тканям); хлорофилла (III) – зелёного пигмента растений, ответственного за процесс фотосинтеза; витамина B₁₂; пигментов желчи и др. Гем также входит в состав цитохромов-ферментов, обеспечивающих перенос электронов, а следовательно, процессов окисления и восстановления в биохимических реакциях. Тетрапиррольные соединения содержат ароматический макроцикл порфин, включающий четыре пиррольных кольца.



Порфирин (I)

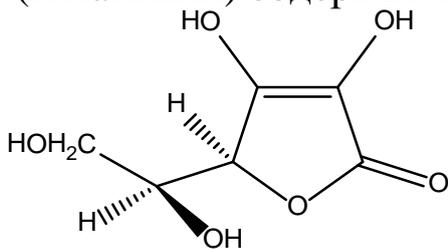


Гем (II)

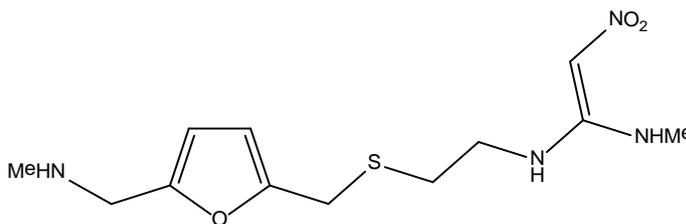


Хлорофилл-α (III)

Тетрагидрофурановое кольцо входит в состав витамина С (IV), фурфурилтиол определяет запах жареного кофе, ранитидин (V)—один из наиболее коммерчески успешных медицинских препаратов, используемый для лечения язвы желудка. (+)-Биотин (витамин H) содержит тетрагидротиофеновый цикл.



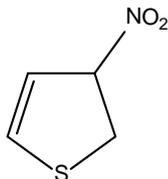
Аскорбиновая кислота (витамин С) (IV)



Ранитидин (V)

Примеры ответов на тестовые задания

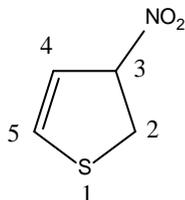
Пример 1. Какое название соответствует приведенной формуле



- а) 3-нитро-2*H*-тиофен; б) 4-нитро-2*H*-тиофен;
в) 4-нитро-5*H*-тиофен; г) 3-нитро-2*H*,3*H*-тиофен

Ход решения: Имеем пятичленный гетероцикл, имеющий в

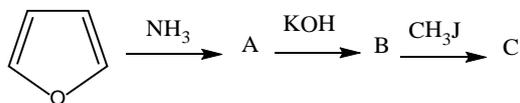
своем составе атом серы – тиофен (тиол). Согласно правилу ИЮПАК нумерация начинается с гетероатома. Пронумеруем соединение, начиная с атома серы таким образом, чтобы нумерация первого заместителя была наименьшей и получаем



В положении 2 гетероцикла мы имеем в качестве заместителя атом водорода, в положении 3 гетероцикла – нитрогруппу. По правилам ИЮПАК атом водорода указывается перед названием гетероцикла. Называем соединение и получаем 3-нитро-2H-тиофен.

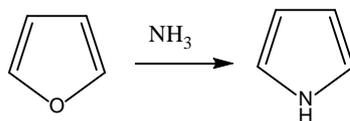
Ответ: а.

Пример 2. Конечным продуктом в цепочке превращений является

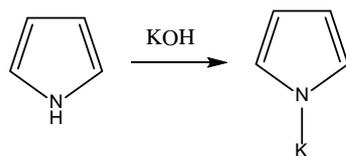


- а) N-метилфуран; б) 2-метилпиррол; в) 2-метилфуран;
г) N-метилпиррол

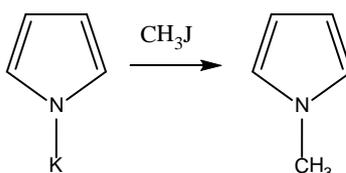
Ход решения: Взаимодействием фурана с аммиаком при нагревании в присутствии катализатора (Al_2O_3) получают по реакции Юрьева пиррол.



Атом азота в пирроле обладает слабыми кислотными свойствами и вступает в реакции со щелочными металлами, щелочами. При действии на пиррол гидроксида калия, получаем пиррол калий.



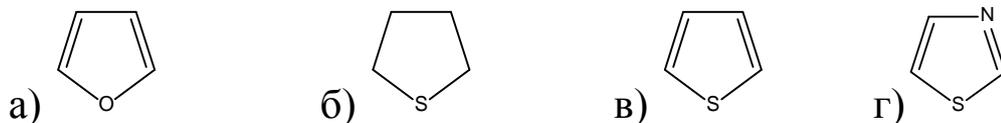
Пиррол калий – реакционноспособное соединений и вступает в реакции алкилирования, ацилирования по атому азота кольца. Метилирование пиррол калия приводит к N-метилпирролу.



Ответ: г

Тестовые задания

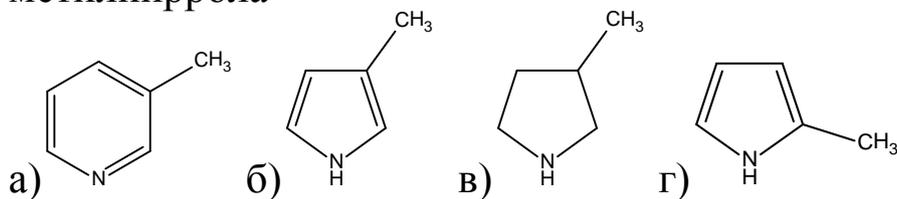
1. Выберите из ниже приведенных формул, формулу тиафена



2. Гетероатом пиррольного типа на атомах углерода гетероцикла электронную плотность

а) уменьшает; б) увеличивает; в) не изменяет; г) нет правильного ответа

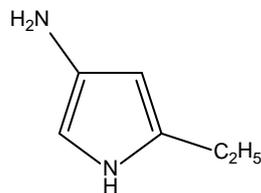
3. Выберите из ниже приведенных формул формулу 3-метилпиррола



4. Выберите из ниже приведенных формул формулу фурфура

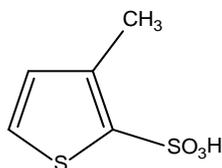


5. Какое название соответствует приведенной формуле



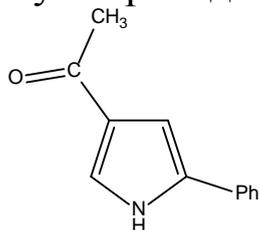
- а) 4-нитро-2-этилпиррол; б) 3-амино-5-этилпиррол;
в) 4-амино-2-этилпиррол; г) 1-амино-3-этилпиррол

6. Какое название соответствует приведенной формуле



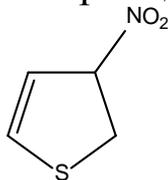
- а) 3-метилфуран-2-сульфо кислота; б) 2-метил-фуран-1-
сульфо кислота; в) 4-метилфуран-5-сульфо кислота; г) 3-
метоксифуран-2-сульфо кислота

7. Какое название соответствует приведенной формуле



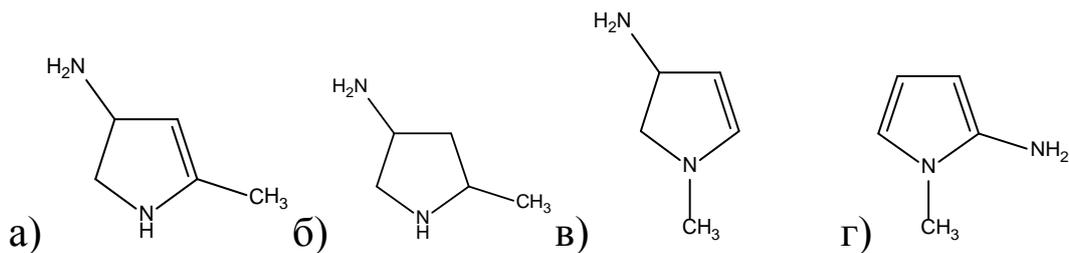
- а) 3-ацетил-5-фенилпиррол; б) 4-ацетил-2-фенилпиррол;
в) 4-ацетил-2-фенил-4H-пиррол; г) 4-метил-2-фенилпиррол

8. Какое название соответствует приведенной формуле

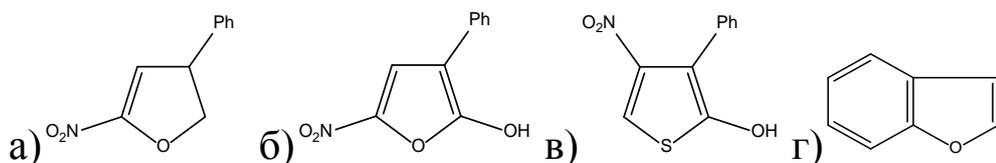


- а) 3-нитро-2H-тиофен; б) 4-нитро-2H-тиофен;
в) 3-нитро-3H-тиофен; г) 3-нитро-2H,3H-тиофен

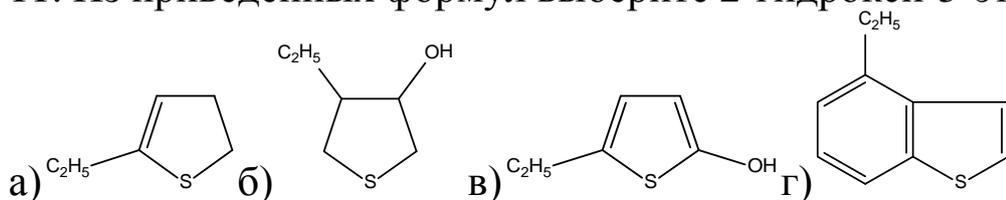
9. Из приведенных формул выберите формулу 4-амино-2-метил-5H-пиррола



10. Из приведенных формул выберите формулу 2-гидрокси-5-нитро-3-фенилфурана



11. Из приведенных формул выберите 2-гидрокси-5-этилтиофена



12. Какой из представленных гетероциклов обладает кислотными свойствами



13. Атомы углерода и азота в молекуле пиррола находятся в состоянии

- а) sp^2 -гибридизации; б) sp^3 -гибридизации;
в) sp -гибридизации; г) sp^3 -, sp -гибридизации

14. Какой тип реакций характерен для пятичленных гетероциклов с одним гетероатомом

- а) нуклеофильного замещения; б) электрофильного замещения;
в) нуклеофильного присоединения; г) присоединения

15. Какой пункт, описывающий свойства пиррола, содержит ошибку

- а) атомы азота находятся в состоянии sp^2 -гибридизации;

б) пиррол обладает кислотными свойствами;
в) для молекулы пиррола характерны реакции нуклеофильного присоединения;

г) пиррол является электронноизбыточным гетероциклом

16. Атомы углерода и серы в молекуле тиофена находятся в состоянии

а) sp^3 -гибридизации; б) sp^2 -гибридизации;

в) sp^3 -, sp -гибридизации; г) sp -гибридизации

17. Выберите правильную последовательность расположения гетероциклов в порядке снижения активности в реакциях электрофильного замещения

а) пиррол > фуран > тиофен; б) фуран > тиофен > пиррол;

в) тиофен > пиррол > фуран; г) пиррол > тиофен > фуран

18. Число π -электронов участвующих в сопряжении пиррольного кольца равно

а) 2; б) 4; в) 8; г) 6

19. Атомы кислорода и углерода находятся в фуране в состоянии

а) sp -гибридизации; б) sp^2 -гибридизации;

в) sp^3 -, sp -гибридизации; г) sp^3 -гибридизации

20. Какое направление реакции электрофильного замещения характерно для молекулы фурана

а) в β -положение; б) при наличии электронодонорного заместителя в β -положение; в) в α -положение; г) реакции электрофильного замещения не характерны для фурана

21. Какая из нижеперечисленных реакций получения является специфической для пиррола

а) реакция Юрьева; б) реакция Кнорра;

в) реакция Фейста-Бенари; г) реакция Пааля-Кнорра

22. По методу Хинсберга получают

а) тиофены; б) пирролы; в) фураны; г) фурфурол

23. Для получения 3-метилпиррола используют

а) 2-метилбутандиаль; б) 2,3-диметилбутандиаль;

в) бутандиаль; г) 3-метилбутандиаль

24. Для осуществления перехода от тиофена к фурану по реакции Юрьева следует подействовать

а) NH_3 ; б) H_2S ; в) H_2O ; г) H_2O_2

25. Какое из соединений не обладает ароматичностью

а) пиррол; б) пиррол калия; в) пирролидин; г) 2-ацетилпиррол

26. Ацидофобность – это способность соединения

а) разрушаться под действием растворов щелочей; б) разрушаться или осмоляться под действием минеральных кислот; в) вступать в реакции гидрирования; г) вступать в реакции диенового синтеза

27. Нитрование пиррола осуществляется в положение гетероцикла

а) 2; б) 4; в) 3; г) реакция не идет

28. Для сульфирования пятичленных ацидофобных гетероциклов используют

а) H_2SO_4 (конц) б) олеум; в) пиридинсульфотриоксид г) серный ангидрид

29. Какой нитрующий агент используют для нитрования пятичленных ацидофобных гетероциклов

а) $HNO_3 + CH_3COOH$; б) $HNO_3 + H_2SO_4$; в) $HNO_3 +$ олеум; г) HNO_3 (конц)

30. Пиррол образует соли при взаимодействии с

а) $Ca(OH)_2$; б) $Fe(OH)_2$; в) $AgOH$; г) KOH

31. Реакции электрофильного замещения в пятичленных гетероциклах протекают преимущественно

а) по гетероатому; б) в положение 2;

в) в положения 3(4); г) не протекают

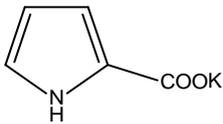
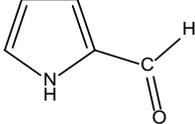
32. Из какого алкана получают тиофен действием серы

а) *n*-бутана; б) изобутана; в) пропана; г) пентана

33. Наиболее близким к бензолу по ароматичности является

а) тиофен; б) пиррол; в) фуран; г) пиридин

34. При реакции карбонизации пиррол калия образуется

а)  б)  в)  г) реакция не идет

35. Для нитрования пятичленных гетероциклов, не обладающих ацидофобностью, используют

а) HNO_3 (конц); б) HNO_3 (разб) + H_2SO_4 ; в) $H_2SO_4 + CH_3COONO_2$;

г) HNO_2

36. В состав порфирина входит кольцо

а) фурана; б) индола; в) пиррола; г) тиофена

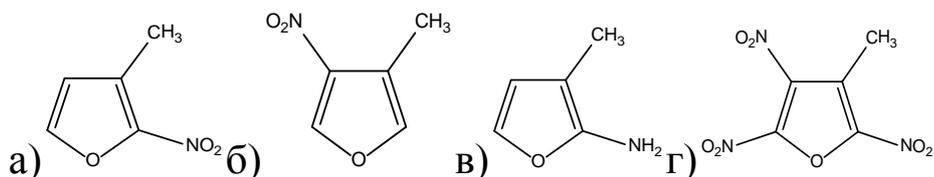
37. В основе витамина С лежит кольцо

а) тиюфена; б) пиррола; в) индола; г) фурана

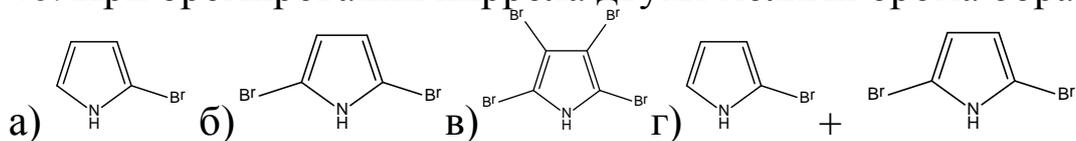
38. В состав витамина Н входит молекула

а) пиррола; б) тиюфена; в) фурана; г) пиримидина

39. При нитровании 3-метилфурана образуется



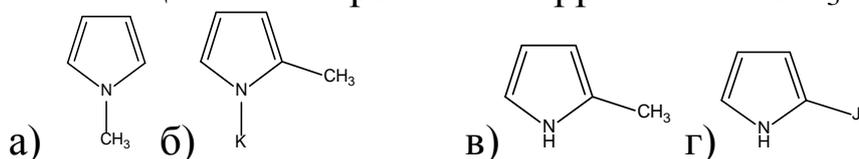
40. При бромировании пиррола двумя молями брома образуется



41. При гидрировании тиюфена на палладиевом катализаторе образуется



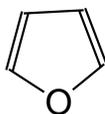
42. Реакция алкилирования пиррола калия CH_3J идет с образованием



43. К π -избыточным системам относят

а) тиюфен; б) пиридин; в) пиримидин; г) пиридазин

44. В формуле имеется



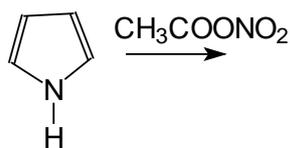
а) только гетероатом пиридинового типа; в) гетероатом пиррольного и пиридинового типа; г) гетероатом в sp -гибридном состоянии; г) только гетероатом пиррольного типа

45. Фуран обладает

а) основностью; б) нейтральными свойствами;

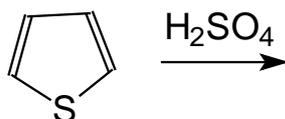
в) ацидофобностью; г) основностью и кислотностью

46. При нитровании пиррола ацетилнитратом образуется



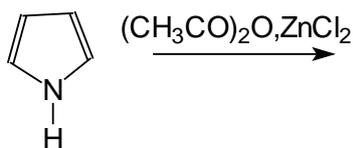
- а) 2-нитропиррол; б) 3-нитропиррол; в) 4-нитропиррол;
г) 5-нитропиррол

47. При сульфировании тиофена серной кислотой образуется



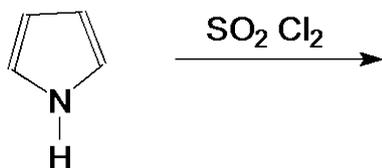
- а) смола; б) тиофен-4-сульфоокислота; в) тиофен-3-сульфоокислота;
г) тиофен-2-сульфоокислота

48. При ацилировании пиррола в присутствии ZnCl_2 образуется



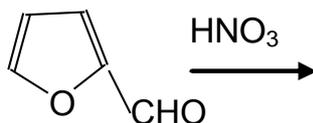
- а) 4-ацетилпиррол; б) 3-ацетилпиррол; в) смола; г) 2-ацетилпиррол

49. При действии сульфурилхлорида на пиррол образуется



- а) 2-хлорпиррол; б) 3-хлорпиррол; в) N-хлорпиррол; г) смола

50. При нитровании фурфурола образуется



- а) 2-нитрофурфурол; б) 3-нитрофурфурол; в) 5-нитрофурфурол;
г) 4-нитрофурфурол

51. Фурфурол образуется при действии

- а) NaOH на альдопентозу; б) H_3PO_4 на альдопентозу;

в) NaOH на гексопентозу; г) H₂SO₄ на альдопентозу

52. Реакция производных гидразина с 5-нитрофурфуролом происходит по

а) нитрогруппе; б) нитро-, альдегидной группами;

в) нитрогруппой и кислородом; г) альдегидной группе

53. Гетероатом, который вносит в π-электронную систему два электрона, которые занимают р-атомную орбиталь и образует σ-связи с другими атомами в гетероцикле, называют

а) гетероатомом пиридинового типа; б) гетероатомом пиримидинового типа; в) гетероатомом пиррольного типа;

г) гетероатомом обычного типа

54. Гетероциклы, в молекулах которых гетероатом является донором неподеленной пары электронов и увеличивает электронную плотность на атомах углерода кольца называют

а) π-дефицитными; б) π-избыточными; в) сопряженными;

г) нет правильного ответа

55. Согласно правилу Хюккеля, циклическая система является ароматической, если она

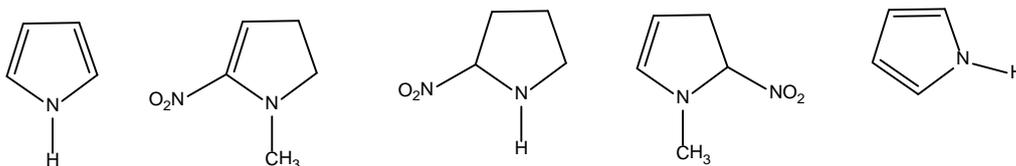
а) имеет $(4n + 2)\pi$ - электронов, цепь сопряжения, имеет неплоское строение;

б) имеет $(4n + 2)\pi$ - электронов, не имеет цепи сопряжения, имеет неплоское строение;

в) имеет $(4n + 2)\pi$ - электронов, не имеет цепи сопряжения, имеет плоское строение;

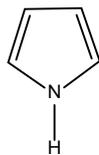
г) имеет $(4n + 2)\pi$ - электронов, имеет цепь сопряжения, плоское строение

56. Сколько разных веществ изображено следующими формулами:



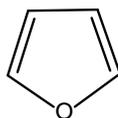
а) пять; б) четыре; в) три; г) две

57. Среди пунктов, описывающих строение и свойства пиррола (азола), выберите неверный ответ



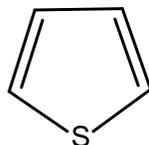
- а) пиразол проявляет основные свойства благодаря наличию свободной пары электронов у атома азота N-1;
- б) атом углерода C-3 является центром основности;
- в) реакции галогенирования, сульфирования, нитрования протекают по атому углерода C-2;
- г) в образовании секстета электронов не участвует неподеленная пара электронов атома N-1

58. Найдите правильный ответ среди пунктов, описывающих строение и свойства оксола (фурана)



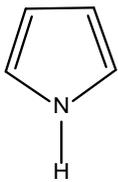
- а) фурановое кольцо неароматично;
- б) распределение электронной плотности на атомах фуранового кольца равномерно;
- в) электрофильные реагенты замещают атом водорода при атоме углерода в положении 2 гетероцикла;
- г) фуран не проявляет основных свойств

59. Найдите правильный ответ среди пунктов, описывающих строение и свойства тиафена



- а) тиафен имеет не плоский цикл; б) на атоме серы сосредоточен положительный заряд; в) центр наибольшей реакционной способности тиафена в реакциях электрофильного замещения располагается на атоме углерода C-2; г) с кислотами 1,3-тиазол образует соли

60. Найдите правильный ответ, характеризующий свойства и строение пиррола



- а) пиррол является более сильной кислотой по сравнению с тиофеном, фураном;
- б) пиррол проявляет только слабые основные свойства;
- в) алкилирование пиррола протекает по атому С-4;
- г) сульфирование пиррола протекает по атому в положении 1 гетероцикла

Вопросы для самопроверки

1. Приведите классификацию гетероциклических соединений. Особенности номенклатуры гетероциклических соединений в системе Ганча-Видемана.
2. Как в системе Ганча-Видемана отображают природу гетероатома, размер цикла, насыщенность?
3. Докажите ароматичность пиррола с использованием теории резонанса, теории МО.
4. Подтвердите ароматический характер тиофена с использованием теории резонанса.
5. Получите 2,5-диэтилпиррол по синтезу *Пааля-Кнорра*. Напишите механизм реакции.
6. Напишите реакции взаимопревращения пиррола, тиофена и фурана в реакции Юрьева. Укажите условия проведения реакций.
7. Напишите реакции получения тиофена известными Вам методами. Какие из предложенных методов применяют для получения тиофена в промышленности?
8. Напишите реакции получения пиррола известными Вам методами. Какие из предложенных методов применяют для получения пиррола в промышленности?
9. Напишите реакции получения фурана известными Вам методами. Какие из предложенных методов применяют для получения фурана в промышленности?
10. Напишите реакции получения фурфурола известными Вам методами. Какие из предложенных методов применяют для получения фурфурола в промышленности?

11. Получите 2-метилендол по Фишеру. Напишите уравнения реакций и укажите условия ее проведения.

12. Объясните снижение относительной активности пятичленных гетероциклов в реакциях S_E : пиррол > фуран > тиофен.

13. Кислотные свойства пятичленных гетероциклов рассмотрите на примере пиррола. Приведите уравнения реакций.

14. Получите тетрагидрофуран известными Вам методами. Где он находит применение?

15. Исходя из пятичленных гетероциклических соединений напишите реакции получения малеинида и малеинового ангидрида.

16. Напишите реакции окисления и сульфирования тиофена.

17. Для пиррола калия напишите реакции азосочетания, ацилирования, Вильсмайера. Назовите продукты реакций.

18. Напишите реакции получения индола всеми известными методами. Опишите роль производных индола в живом мире.

19. Укажите условия проведения реакций нитрования и сульфирования для фурана. Напишите соответствующие реакции.

Литература

1.Травень В.Ф. Органическая химия, Т.2. М.: ИКЦ «Академкнига», 2013. – 582с.

2. Дж. Джоуль, К. Миллс. Химия гетероциклических соединений (Пер. с англ). М.: Мир, 2009. – 782с.

3. Т. Джилкрест. Химия гетероциклических соединений (Пер. с англ.). М.: Мир, 1996. – 464с.

4. Юровская М.А. Химия ароматических гетероциклических соединений: Методическая разработка для студ. вуз. / Мария Абрамовна Юровская; А.В. Куркин, Н.В. Лукашев. – М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2007. – 51с.

5.Физико-химические свойства органических соединений [Текст] :

справочник / под общ.ред. А. М. Богомольного. - М.: Химия: Колос, 2008. - 543 с.

6. Сильверстейн Р. Спектрометрическая идентификация органических соединений: Учебное издание / Сильверстейн Р., Вебстер Ф., Кимл Д. - БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012.- 560с.