

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» (ПГУ)

ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

*Методические рекомендации
к практическим занятиям по органической химии
для студентов специальности
«Инженерная защита окружающей среды»*

2-е издание, исправленное и дополненное

С о с т а в и т е л ь
И. В. Рашевская

Пенза
Издательство ПГУ
2011

УДК 577.1
О-64

Рецензенты:

кандидат медицинских наук,
доцент кафедры физиологии человека Медицинского института
Пензенского государственного университета
Е. П. Филиппова;

кандидат технических наук, доцент кафедры химии
и теории и методики обучения химии Пензенского государственного
педагогического университета им. В. Г. Белинского
О. В. Зорькина

О-64 **Органическая химия** : метод. рекомендации к практическим занятиям по органической химии для студентов специальности «Инженерная защита окружающей среды» / сост. И. В. Рашевская. – 2-е изд., испр. и доп. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2011. – 52 с.

Приводятся вопросы для самостоятельной подготовки студентов к практическим занятиям по органической химии и задачи для самостоятельного решения. Некоторые разделы содержат краткие теоретические сведения и примеры выполнения упражнений. Приводятся примерные варианты контрольных и самостоятельных работ по каждой теме.

Методические указания подготовлены на кафедре химии и предназначены для студентов, обучающихся по специальности «Инженерная защита окружающей среды».

УДК 577.1

СОДЕРЖАНИЕ

Номенклатура органических соединений	4
Изомерия органических соединений.....	12
Сопряженные системы. Электронные эффекты.....	22
Алифатические углеводороды и циклоалканы.....	27
Арены	31
Галогенпроизводные углеводородов, спирты, фенолы, простые эфиры.....	33
Карбонильные соединения	37
Карбоновые кислоты и их производные	39
Амины, аминокислоты, пептиды	41
Углеводы	44
Примерные варианты самостоятельных и контрольных работ	46
Список литературы	51

НОМЕНКЛАТУРА ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Цель занятия: освоить классификацию органических соединений; научиться в соответствии с правилами номенклатуры называть органические соединения и составлять структурные формулы веществ по номенклатурным названиям.

Вопросы для подготовки

1. Классификация органических соединений по строению углеродного скелета.
2. Понятие функциональной группы и определение принадлежности соединения к классу.
3. Номенклатуры органических соединений: тривиальная, систематическая номенклатура ИЮПАК, рациональная, радикально-функциональная.
 - 3.1 Понятия: органический радикал, родоначальная структура, характеристическая группа, заместитель.
 - 3.2 Основные правила составления названий по систематической номенклатуре ИЮПАК и по радикально-функциональной номенклатуре.

Номенклатура – система правил, позволяющих дать однозначное название каждому индивидуальному соединению.

Систематическая (заместительная) номенклатура основана на принципах Женевской (1892) и Льежской номенклатуры (1930). Правила систематической номенклатуры IUPAC приняты комиссией Международного союза чистой и прикладной химии (1957, 1965).

В основе названия лежит выбор **родоначальной структуры**.

В качестве родоначальной структуры используют **главную цепь** атомов углерода в ациклических соединениях или **основную циклическую структуру** в карбоциклических и гетероциклических соединениях.

Название состоит из *префиксов, корня и суффиксов*. Префиксами и суффиксами обозначают число, характер и положение функциональных групп. Корень обозначает название главной углеродной цепи или циклической структуры.

ПРАВИЛА:

1. Нужно выбрать **все** функциональные группы и определить **старшую** (табл. 1, 2). Только она **указывается в суффиксе** и **определяет принадлежность к классу**. Остальные группы называются в префиксах.

Таблица 1

**Порядок старшинства характеристических групп
(в порядке убывания старшинства) [5]**

Класс	Функциональная группа	Приставка	Суффикс
Карбоновые кислоты	$\begin{array}{c} \text{—C=O} \\ \text{—C—OH} \\ \text{—C=O} \\ \text{—C—OH} \end{array}$	карбоксо-	-карбоновая -овая кислота*
Сульфокислоты	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{—S—OH} \\ \parallel \\ \text{O} \end{array}$	сульфо-	-сульфоновая кислота
Ангидриды	$\begin{array}{c} \text{O} \quad \text{O} \\ \parallel \quad \parallel \\ \text{—C—O—C—} \end{array}$	—	-овый ангидрид
Сложные эфиры	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{—C—O—R} \end{array}$	алкилокси- карбонил	-ил...оат
Галогенангидриды	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{—C—Hal} \end{array}$	—	...-оилгалогенид
Амиды	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{—C—NH}_2 \\ \text{O} \\ \parallel \\ \text{—C—NH}_2 \end{array}$	карбамоил-	-карбоксамид -амид*
Нитрилы (цианиды)	$\begin{array}{c} \text{—C}\equiv\text{N} \\ \text{—C}\equiv\text{N} \end{array}$	циано-	-карбонитрил -нитрил*
Альдегиды	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{—C—H} \\ \text{O} \\ \parallel \\ \text{—C—H} \end{array}$	формил- оксо-	-карбальдегид -аль*
Кетоны	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{—C—} \end{array}$	оксо-	-он
Спирты и фенолы	—OH	гидрокси-	-ол
Тиолы	—SH	меркапто-	-тиол
Амины	—NH ₂ , —NHR, —NR ₂	амино-	-амин
Имины	=NH	имино-	-имин
Гидразины	—NH—NH ₂	гидразино-	-гидразин
Алканы	—C—C—	—	-ан
Алкены	—C=C—	—	-ен
Алкины	—C≡C—	—	-ин

Примечание. * – углеродный атом входит в родоначальную структуру.

Таблица 2

Функциональные группы, обозначаемые в заместительной номенклатуре только префиксами

Класс	Функциональная группа	Приставка	Суффикс
Галогенпроизводные	–F, –Cl, –Br, –I	галоген-	-галогенид (в радикально-функциональной номенклатуре)
Нитропроизводные	–NO	нитрозо-	–
Нитропроизводные	–NO ₂	нитро-	–
Простые эфиры*	–O–R	алкокси-	–
Сульфиды*	–SR	алкилтио-	–

Примечание. * – в некоторых литературных источниках указываются перед галогенпроизводными.

2. Выбрать главную цепь.

Критерии (в ациклических соединениях):

- она должна обязательно включать старшую группу или атом углерода, с которым она связана; должна содержать максимальное число характеристических групп, обозначаемых как префиксами, так и суффиксами;
- должна иметь максимальное число кратных связей;
- должна быть наиболее длинной;
- должна иметь максимальное число характеристических групп, обозначаемых только префиксами.

Каждый последующий критерий используют тогда, когда предыдущий не приводит к однозначному выводу.

3. Пронумеровать атомы углерода так, чтобы **старшая группа получила первый или наименьший номер**. При прочих равных условиях предпочтение отдается двойной, затем тройной связи. В гетероцикле нумерацию определяет гетероатом.

Если по этому правилу невозможно сделать выбор, то решающим для выбора меньшего номера является:

- 1) суммарная ненасыщенность;
- 2) наименьшие номера заместителей.
4. Дать название главной цепи.

Насыщенность родоначальной структуры обозначают суффиксами: **-ан** для насыщенного углеродного скелета, **-ен** (**-диен**) для двойной связи, **-ин** для тройной связи. После указывают положение кратных связей и характеристических групп (...-ин-2-аль – тройная связь в положении 2, альдегид). Для функциональных групп цифры в суффиксе могут стоять как после их названия, так и перед. Если групп несколько, то применяют греческие числительные перед суффиксами (...-диаль-1,3). Если нумерация начинается с главной группы, то номер не ставят, так как он первый.

5. Заместители (другие функциональные группы) называют префиксами, перед которыми ставят номера атомов углерода, у которых они стоят (локанты). Если при одном атоме углерода несколько одинаковых заместителей, то цифры повторяются (3,3,3-тригидроксо-). Заместители указывают по алфавиту. Количественная приставка при этом не учитывается. Можно указывать заместители по старшинству (но лучше по алфавиту).

Если в заместителе (радикале) есть другие заместители, то нумерацию углерода в радикале начинают от атома углерода со свободной валентностью (с места соединения с родоначальной структурой).

6. Названия заместителей могут быть и **тривиальные**.

Двухвалентные радикалы имеют окончание **-ен** (метилен-CH₂-, этилен-CH₂-CH₂-) или **-иден** (CH₃-CH<-эилиден, C₆H₅-CH<-бензилиден) (табл. 3).

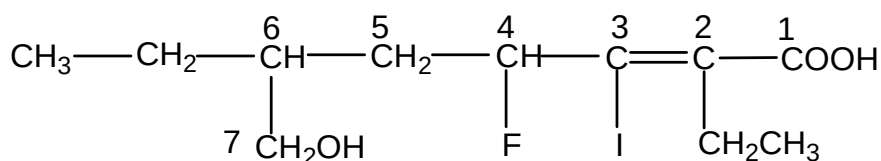
Есть группы, обозначаемые только префиксами.

Таблица 3

Названия некоторых радикалов

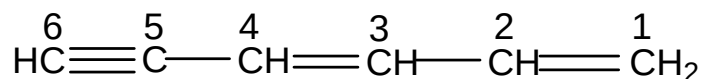
CH ₃ -	метил	H-CO-	Формил
CH ₃ -CH ₂ -	этил	CH ₃ -CO-	Ацетил
CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -	пропил	-CO-CO-	Оксалил
$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}- \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	изопропил	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_2- \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	Изобутил
$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}- \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	втор-бутил	CH ₂ =CH-	Этинил (винил)
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3-\text{C}- \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	трет-бутил	CH ₃ -CH=CH-	Пропен-1-ил
		CH ₂ =CH-CH ₂ -	Пропен-2-ил, аллил
C ₆ H ₅ -	фенил	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{C}=\text{C}- \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	Изопропенил
C ₆ H ₅ -CH ₂ -	бензил		
C ₆ H ₅ -CO-	бензоил	ClCH ₂ -	Хлорметил
CH ₃ -CHCl-	1-хлорэтил	ClCH ₂ -CH ₂ -	2-хлорэтил

Примеры:



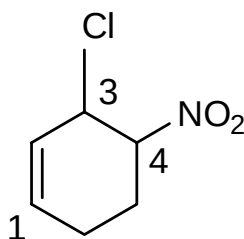
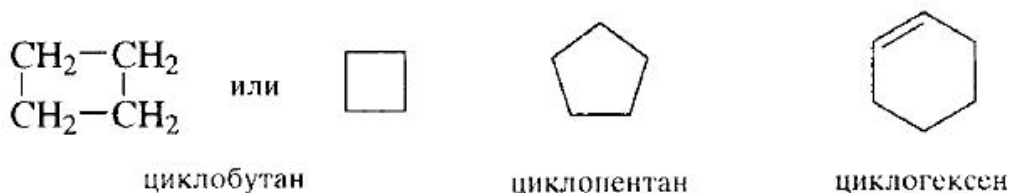
7-гидрокси-3-йод-4-фтор-2,6-диэтилгептен-2-овая кислота

В случае кратных связей при одинаковых цифровых индексах двойных и тройных связей предпочтение отдается двойной связи:



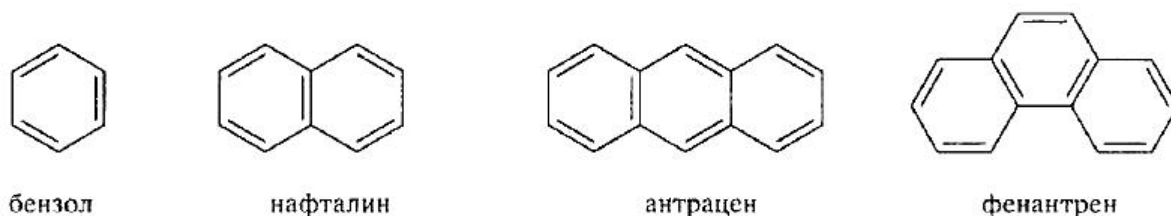
гексадиен-1,3-ин-5 (встречается и такая форма: 1,3-гексадиен-5-ин)

В *алициклических соединениях* главной цепью считают замкнутую цепь углеродных атомов. В названии этой цепи применяют префикс *цикло-*:

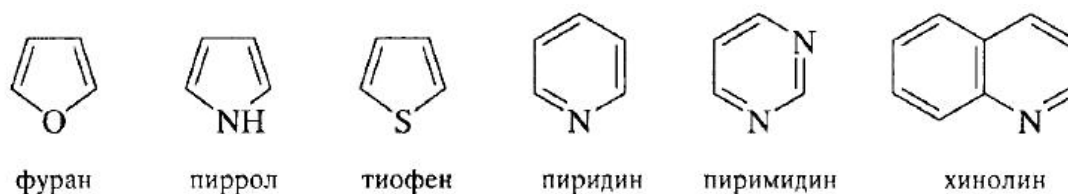


4-нитро-3-хлор-циклогексен-1

В основе названий *ароматических* углеводородов лежат тривиальные названия:

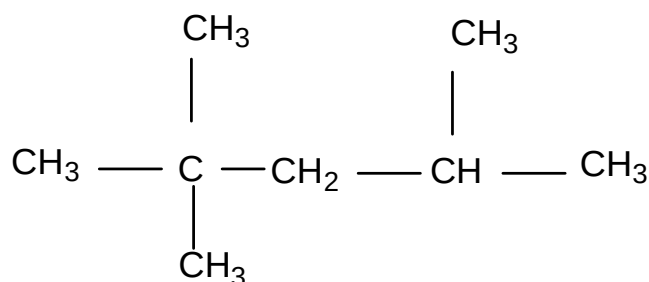


В гетероциклических соединениях за основу берут название соответствующего гетероцикла:



Рациональная номенклатура

За основу берется название простейшего представителя класса, к которому добавляются названия заместителей – одновалентных радикалов, начиная с простейшего. Количество при необходимости указывается при помощи приставок умножения:



изопропил-*трет*-бутилметан (рациональная номенклатура)

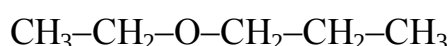
2,2,4-триметилпентан (номенклатура ИЮПАК)

изооктан (тривиальная)

Радикально-функциональная номенклатура

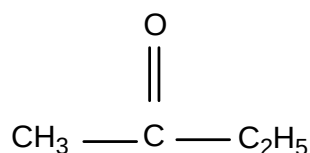
Используются те же приемы, что и в заместительной номенклатуре, но вместо суффиксов дается название класса соединения. Если в соединении есть разные характеристические группы, то для названия класса используют более старший заместитель, остальные группы обозначают префиксами.

Пример:



пропилэтиловый эфир (радикально-функциональная номенклатура)

этоксипропан (номенклатура ИЮПАК)

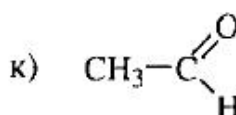
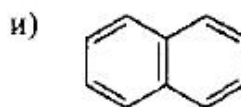
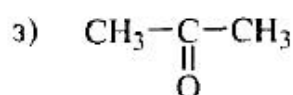
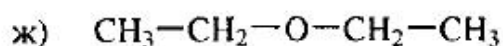
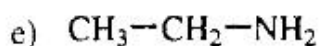
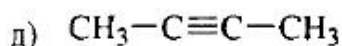
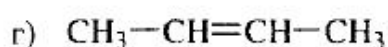
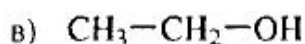
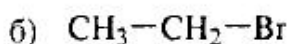
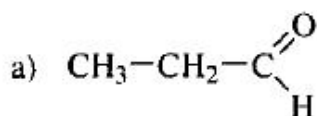


метилэтилкетон (радикально-функциональная номенклатура)

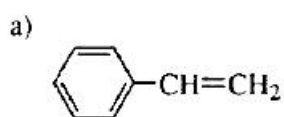
бутанон-2 (номенклатура ИЮПАК)

Упражнения

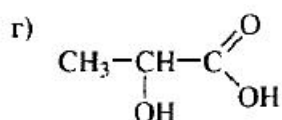
1. Определите принадлежность к классу следующих соединений:



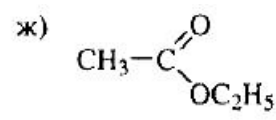
2. Определите функциональные группы в следующих веществах:



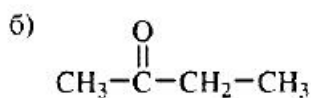
стирол



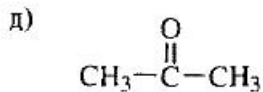
молочная
кислота



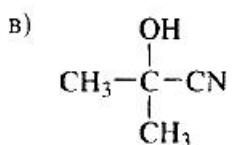
этилацетат



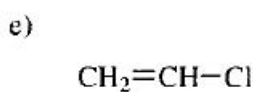
метилэтилкетон



ацетон

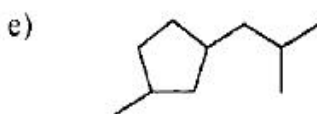
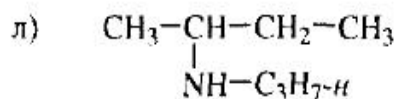
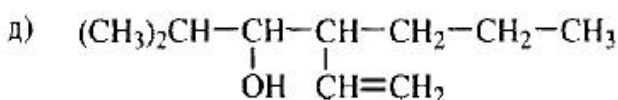
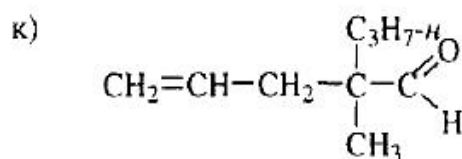
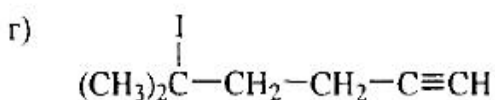
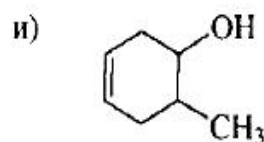
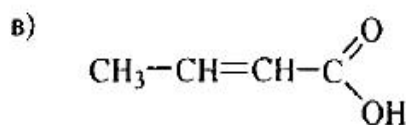
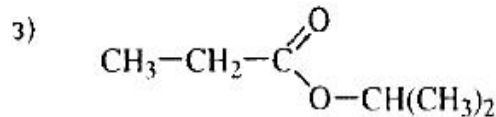
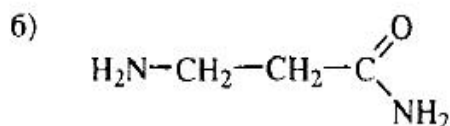
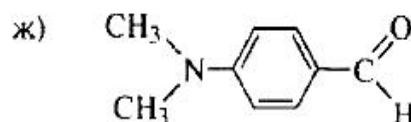
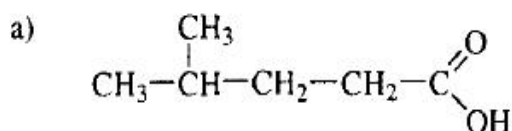


циангидрин
ацетона



винилхлорид

3. Назовите следующие соединения по номенклатуре ИЮПАК:



4. По названию напишите структурную формулу соединения:

а) диметилдиизопропилметан;

б) 4-метил-2-пропилгексен-4-ол-1;

- в) 5-иод-5-метилгексин-1;
- г) 4,4-диметилпентен-2;
- д) 1-хлорбутанол-2;
- е) бутен-3-аль;
- ж) 2-метил-7-нитро-5-фторгептен-2-овая кислота;
- з) α -хлормасляная кислота;
- и) 2-бром-3-метилциклопентанол;
- к) 4-хлортолуол;
- л) 2-гидроксibenзойная кислота.

ИЗОМЕРИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Цель занятия: научиться различать структурные, конформационные и конфигурационные изомеры; составлять структурные формулы изомеров; научиться писать проекционные формулы Ньюмена, формулы Фишера; научиться относить оптические изомеры к *D*-, *L*-ряду, обозначать конфигурации хиральных центров по *R*-, *S*-системе.

Изомеры – соединения с одинаковым качественным и количественным составом, но отличающиеся последовательностью связывания атомов и (или) расположением их в пространстве.

Возможны следующие типы изомерии: **структурная и пространственная (стереоизомерия).**

Структурная изомерия

Структурная изомерия обусловлена различным взаимным расположением атомов в молекуле.

Виды структурной изомерии:

1. Изомерия углеродного скелета.
2. Изомерия положения кратной связи.
3. Изомерия положения функциональной группы.
4. Изомерия положения заместителей в ароматических соединениях.
5. Межклассовая изомерия.

Для этих видов структурной изомерии *взаимное превращение изомеров друг в друга при обычных условиях не происходит.*

6. Таутомерия – равновесная динамическая изомерия, при которой происходит быстрое обратимое самопроизвольное превращение структурных изомеров друг в друга. При этом происходит миграция подвижной группы между двумя или несколькими центрами в молекуле.

Пространственная изомерия (стереоизомерия)

Стереоизомеры – изомеры, имеющие одинаковую последовательность химических связей атомов, но различное расположение этих атомов относительно друг друга в пространстве.

Различают *конформационную и конфигурационную* изомерию.

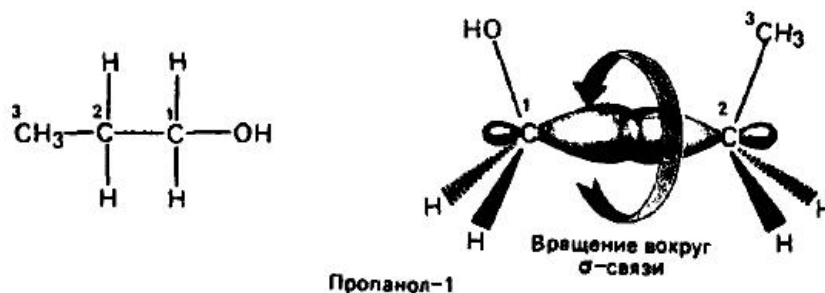
Конформация молекулы – различные ее пространственные формы, возникающие в результате вращения вокруг одинарных σ -связей. Этот вид изомерии характерен для соединений с открытыми цепями и циклоалканов. Переход конформаций друг в друга происходит без разрыва химических связей.

Для изображения результатов вращения по связи С-С пользуются проекционными формулами Ньюмена (1955). Проекции получают, рассматривая молекулу вдоль С-С связи, вокруг которой происходит вращение.

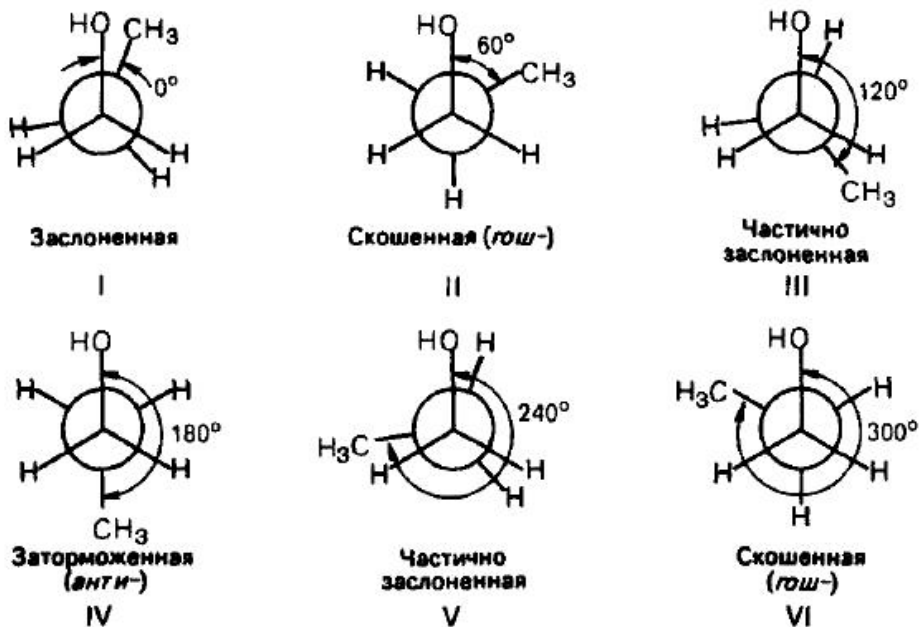
Пример 1

Какие конформации принимает молекула пропанола-1 при вращении вокруг связи С-1—С-2? Какие из них наиболее устойчивы?

В молекуле пропанола-1 атомы углерода имеют тетраэдрическую конфигурацию (sp^3 -гибридное состояние).



Относительно С-1—С-2 σ -связи возможно вращение, в результате которого при полном обороте молекула принимает множество конформаций, из которых принимаются во внимание шесть, имеющих торсионные углы, кратные 60° : три заслоненные (I, III и V) и три заторможенные (II, IV и VI):



Эти конформации энергетически не равноценны. Заслоненные конформации I, III и V термодинамически менее выгодны, чем заторможенные из-за взаимного отталкивания электронов противостоящих связей, обуславливающего торсионное напряжение. *Гош*-конформации II и VI менее стабильны, чем *анти*-конформация IV, из-за ван-дер-ваальсова напряжения, вызываемого взаимным отталкиванием объемных заместителей.

Конфигурационная изомерия

Конфигурациями молекул называют разные пространственные расположения атомов или групп, которые не могут быть переведены друг в друга простым вращением вокруг связей (т.е. без разрыва связей).

Конфигурационные изомеры устойчивы.

Виды конфигурационной изомерии: *геометрическая (цис-, транс-изомерия)* и *оптическая*.

Сtereoизомеры, отличающиеся друг от друга расположением заместителей по отношению к плоскости двойной связи или цикла, называются *геометрическими*.

Изомер, содержащий заместители по одну сторону от плоскости связи (цикла), называется *цис-изомером*; если заместители расположены по разные стороны – *транс-изомером*.

Основная причина *цис-, транс-изомерии* заключается в невозможности вращения вокруг π -связи без ее разрушения.

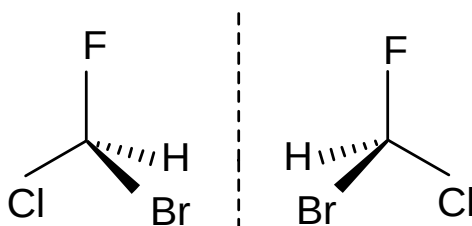
Цис-, транс-изомеры отличаются по физическим и химическим свойствам и легко разделяются обычными методами.

В общем случае, когда у атомов углерода, связанных двойной связью, имеется любой набор заместителей, используется ***E-, Z-номенклатура***, основанная на *старшинстве заместителей, определяемой по атомному номеру*. Конфигурация, в которой два самых старших заместителя располагаются по одну сторону плоскости двойной связи, обозначается *Z* (от нем. *zusammen* – вместе), по разные стороны – *E* (*entgegen* – напротив).

Оптическая изомерия

Оптическая изомерия характерна для несимметричных соединений, у которых в молекуле имеется атом углерода в состоянии sp^3 -гибридизации, связанный с четырьмя различными атомами или группами.

Такой атом углерода называется *ассиметрическим* и обозначается C^* . В таких молекулах нет плоскости симметрии. Такие молекулы нельзя перевести друг в друга путем внутреннего вращения. Это свойство называется *хиральностью*. Молекулы называются хиральными. Оптические изомеры, отличающиеся друг от друга как несимметричный предмет от своего зеркального изображения, называют *энантиомерами*:



Физические и химические свойства у энантиомеров идентичны, но по отношению к плоскополяризованному свету они ведут себя по-разному.

Хиральные соединения проявляют оптическую активность.

При прохождении плоско-поляризованного света через раствор оптического изомера хирального соединения плоскость поляризованного света поворачивается на определенный угол: влево (против часовой стрелки) у левовращающего изомера (он обозначается «–»), вправо (по часовой стрелки) у правовращающего («+»).

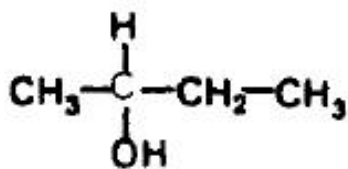
Удельное вращение вещества α – угол, на который поворачивается плоскость поляризации света при прохождении плоско-поляризованного луча через раствор с концентрацией 1 г/100 мл при толщине раствора 10 см. Это величина постоянная для оптически активного вещества при определенных условиях измерения и определяется экспериментально. Измерение производится на поляриметре.

Эквилярная смесь энантиомеров называется *рацематом*. Существуют способы разделения рацематов: с помощью биохимических методов, химических и механических.

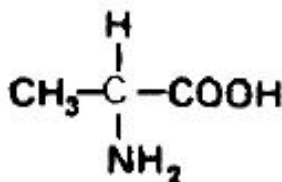
Пример 2

Какие из перечисленных соединений могут существовать в виде энантиомеров: бутанол-1, бутанол-2, аминокислота, 2-амино- и 2-гидроксипропановая кислоты?

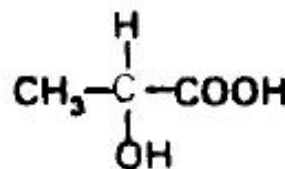
В виде энантиомеров могут существовать только хиральные молекулы, т.е. имеющие асимметрический атом углерода (у sp^3 -гибридизованных атомов углерода имеются четыре разных заместителя). Асимметрический атом углерода имеется в молекулах бутанола-2, 2-амино- и 2-гидроксипропановой кислот, и, следовательно, эти соединения существуют в виде энантиомеров.



бутанол-2



2-аминопропановая
кислота



2-гидроксипропановая
(молочная) кислота

В структурах бутанола-1 и аминокислоты у sp^3 -гибридизованных атомов углерода имеются по крайней мере два одинаковых заместителя, их молекулы ахиральны и не способны существовать в виде оптически активных форм.

Диастереомеры

Число стереоизомеров значительно возрастает при увеличении числа хиральных центров в молекуле и определяется как 2^n , где n – число хиральных центров.

Стереомеры, не являющиеся энантиомерами, называются *диастереомеры*.

Диастереомеры обладают различием в физических и химических свойствах (величина угла вращения, температуры кипения и плавления, растворимость и др.), и их можно отделить друг от друга обычными методами разделения.

Проекционные формулы Фишера

Для изображения энантиомеров на плоскости используют проекционные формулы Фишера (проекции Фишера).

Правила изображения:

1. Тетраэдр поворачивают так, чтобы две связи, лежащие в горизонтальной плоскости, были направлены к наблюдателю, а две вертикальные – от наблюдателя.

2. Полученное изображение переносят на лист.

3. Связи, находящиеся перед плоскостью бумаги, изображаются горизонтально, а те, что за плоскостью, – вертикально.

4. Преобразуют полученную проекцию путем **четных** перестановок так, чтобы старшая группа была сверху.

Преобразования, превращающие формулу в формулу энантиомера:

а) нечетное число перестановок;

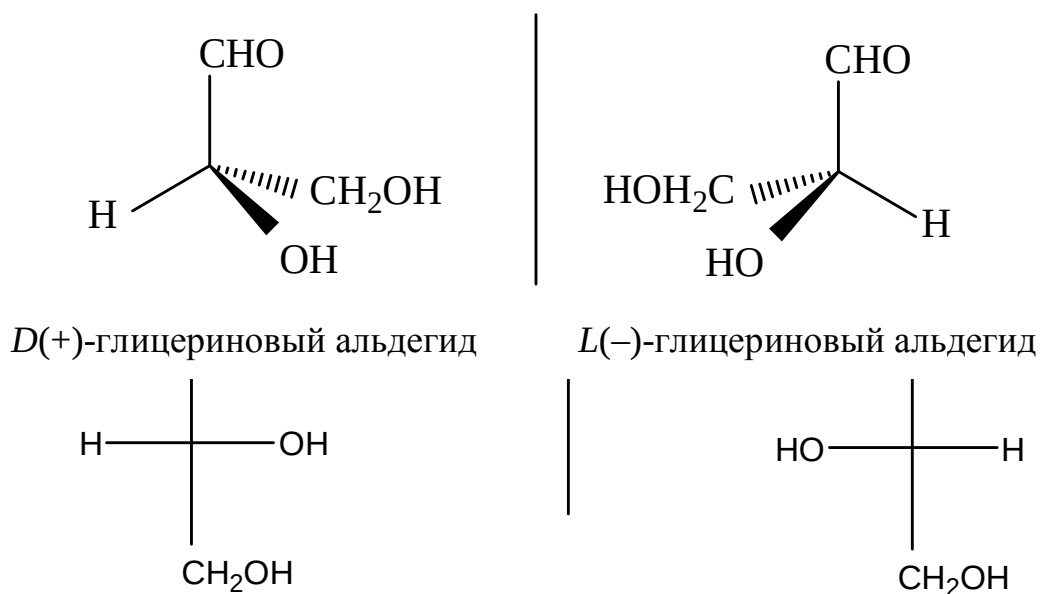
б) поворот всей формулы на 90° .

Если делают **четное** число перестановок или поворачивают формулу на бумаге на 180° , то конфигурация не меняется.

Относительная и абсолютная конфигурации

Относительную конфигурацию хиральных центров определяют по отношению к стандартному соединению с известной абсолютной конфигурацией – *глицериновому альдегиду*. Его правовращающему изомеру была приписана $D(+)$ -конфигурация, а левовращающему (энантиомеру) $L(-)$.

Знаки вращения не имеют прямой связи с конфигурацией и устанавливаются экспериментально.

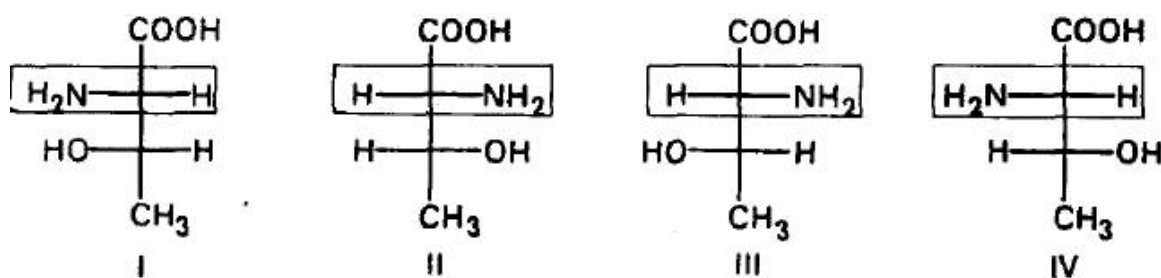


Так как D -, L -номенклатура не является универсальной, она имеет ограничения в применении.

Пример 3

Какие конфигурационные стереоизомеры возможны для 2-амино-3-гидроксипутановой кислоты?

В молекуле 2-амино-3-гидроксипутановой кислоты два центра хиральности (два асимметрических атома углерода). Следовательно, она может существовать в виде четырех конфигурационных стереоизомеров ($2^n = 4$ при $n = 2$).



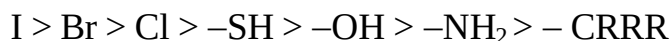
Сtereoизомеры I и II, III и IV – пары энантиомеров. Пары I и III, I и IV, II и III, II и IV не соотносятся как предмет и несовместимое с ним зеркальное изображение, они пары диастереомеров.

При отнесении 2-амино-3-гидроксипутановой кислоты к D - или L -стереохимическому ряду используется так называемый гидроксикислотный ключ (для аминок- и гидроксикислот). С конфигурацией глицеринового альдегида сравнивается конфигурация асимметрического атома с наименьшим номером. По этому правилу стереоизомеры I и IV относятся к L -ряду, а II и III – к D -ряду.

***R*-, *S*- номенклатура**

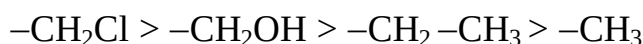
Для обозначения абсолютной конфигурации пространственных изомеров используют *R*-, *S*-номенклатуру. Она основана на принципе старшинства групп Кана–Ингольда–Прелога.

Старшинство заместителей определяется по атомному номеру элемента, связанного с центром хиральности:



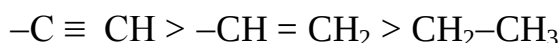
Водород – всегда младший.

Если номера атомов, связанных с центром хиральности, одинаковы, то сравниваются атомы во втором и т.д. слоях (рядах):



Из двух изотопов старшим будет более тяжелый.

Атомы, связанные двойной связью, считаются два, а связанные тройной связью – три раза:



Тетраэдрическую формулу молекулы располагают так, чтобы самый младший заместитель был направлен от наблюдателя. Если в полученном изображении изомера заместители при ассиметрическом атоме углерода располагаются в порядке снижения старшинства по часовой стрелке, то энантиомер имеет *R*-конфигурацию, если против часовой стрелки – то *S*.

Определение абсолютной конфигурации по формуле Фишера:

1. Преобразуют формулу Фишера путем четного числа перестановок у атома углерода так, чтобы младший заместитель был внизу на вертикальной линии (а второй по старшинству – вверху).

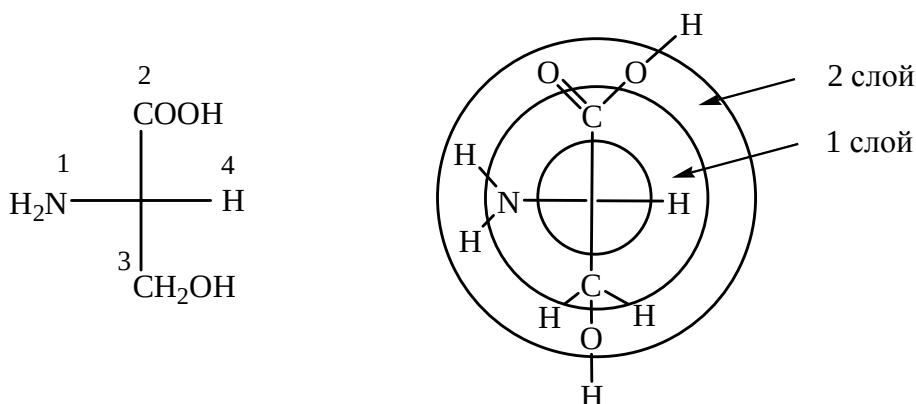
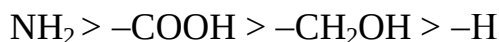
2. Если падение старшинства групп (1→2→3) происходит по часовой стрелке, то конфигурация *R* (правая), если против – то *S* (левая).

Пример 4

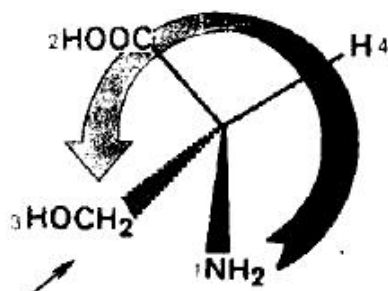
Обозначьте конфигурацию *L*-2-амино-3-гидроксипропановой кислоты (серина) по *R*-, *S*-системе.

Старшинство заместителей в *R*-, *S*-системе определяется атомным номером элемента, связанного непосредственно с центром хиральности. Самым старшим заместителем в молекуле *L*-2-амино-3-гидроксипропановой кислоты является аминогруппа (⁷N), самым младшим – водород (¹H). Для определения порядка старшинства между карбоксильной COOH и спиртовой CH₂OH группами, имеющими в первом «слое» одинаковые атомы (⁶C), сравнивают атомные номера элементов второго слоя. Кислород карбоксильной группы, связанный двойной связью с углеродом, считается дважды. Таким образом, заместители у хирального атома углерода в 2-амино-3-

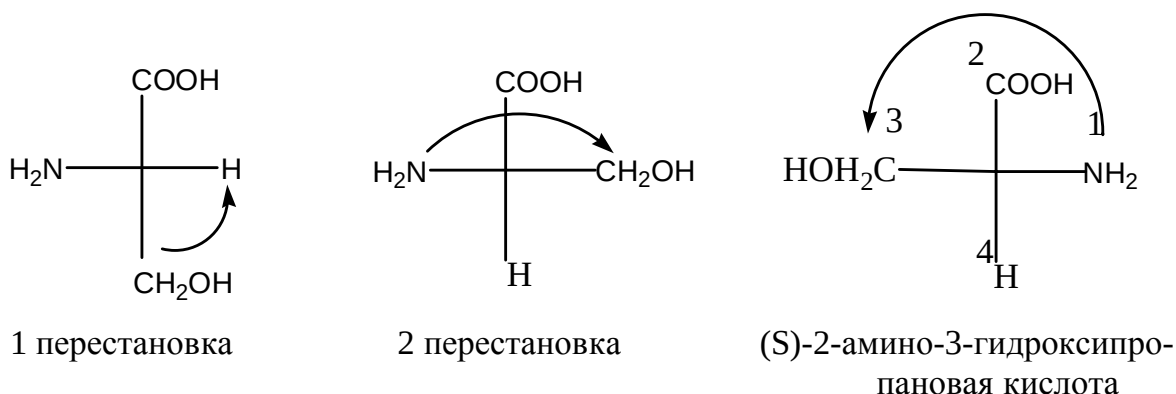
гидроксипропановой кислоте имеют следующий порядок уменьшения старшинства:



При обозначении конфигурации по *R*-, *S*-системе молекулярную модель *L*-серина располагают в пространстве так, чтобы младший заместитель был удален от глаза наблюдателя. Уменьшение старшинства при этом происходит против хода часовой стрелки, поэтому *L*-серину приписывают *S*-конфигурацию:



Или с помощью четного числа перестановок проекционную формулу Фишера преобразуют так, чтобы младший заместитель (H) оказался вверху или внизу проекции, что соответствует положению, наиболее удаленному от глаза наблюдателя. Остальные заместители при этом будут располагаться в порядке уменьшения старшинства. Если старшинство групп уменьшается по часовой стрелке, то конфигурация *R* (правая), если против – то *S* (левая). После двух перестановок видно, что хиральный центр в *L*-серине имеет *S*-конфигурацию:



Вопросы для подготовки

1. Предмет органической химии. Теория строения органических соединений А. М. Бутлерова. Строение атома углерода. Характерные степени окисления атома углерода. Типы гибридизации атомных орбиталей.

2. Виды изомерии органических молекул: структурная изомерия и ее виды; пространственная изомерия (стереоизомерия). Понятие о стереоизомерах, конформациях молекулы, конфигурации молекулы.

3. Конформационная изомерия органических молекул. Изображение конформаций с помощью проекционных формул Ньюмена. Виды конформаций. Энергетически выгодные и невыгодные конформации ациклических и циклических соединений.

4. Конфигурационная изомерия органических соединений, ее виды: геометрическая и оптическая изомерии.

4.1. Геометрическая изомерия. *Цис*-, *транс*-изомеры, *E*-, *Z*-изомеры.

4.2. Оптическая изомерия. Понятие об асимметрическом атоме углерода, хиральности. Изображение хиральных центров. Перспективные формулы и проекционные формулы Фишера. Оптическая активность. Понятие об энантиомерах, рацематах, диастериомерах, сходство и различие их свойств.

4.3. Абсолютная и относительная конфигурации хиральных центров. Конфигурационный стандарт. *D*-, *L*-номенклатура; *R*-, *S*-номенклатура. Правила старшинства Кана–Ингольда–Прелога.

Упражнения

1. Сколько существует изомерных алкенов с разветвленным углеродным скелетом из пяти атомов углерода? Запишите их структурные формулы и дайте названия по номенклатуре ИЮПАК.

2. Напишите формулы всех возможных изомеров алкадиенов состава C_6H_{10} . Назовите их по систематической номенклатуре ИЮПАК. Какие из них могут иметь геометрические изомеры?

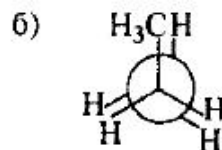
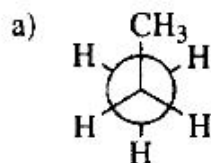
3. Выведите структурные формулы изомерных спиртов состава $C_5H_{11}OH$ с разветвленным углеродным скелетом. Назовите их согласно рациональной номенклатуре по систематической номенклатуре ИЮПАК.

4. Запишите структурные формулы всех изомерных алкинов состава C_5H_8 и дайте названия им по номенклатуре ИЮПАК.

5. Запишите структурные формулы всех изомерных карбоновых кислот состава $C_5H_{10}O_2$ и дайте названия им по номенклатуре ИЮПАК.

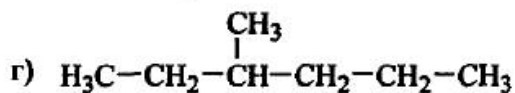
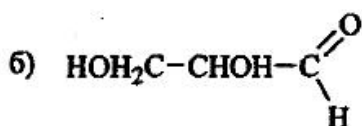
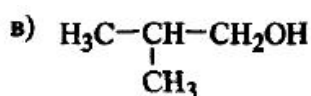
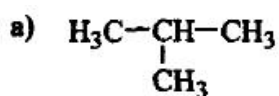
6. Запишите структурные формулы всех изомерных кетонов и альдегидов состава $C_5H_{10}O$ и дайте им названия по номенклатуре ИЮПАК.

7. Укажите, какая из двух показанных ниже конформаций пропана более устойчива. Дайте объяснения:



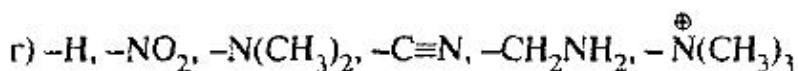
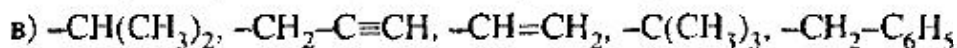
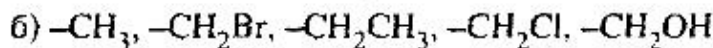
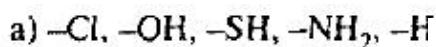
8. С помощью проекционных формул Ньюмена изобразите конформации этандиола-1,2. Какая из них более устойчива?

9. В каких случаях будет наблюдаться оптическая изомерия? Нарисуйте структуры оптических изомеров:

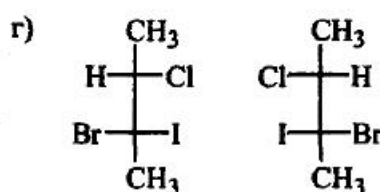
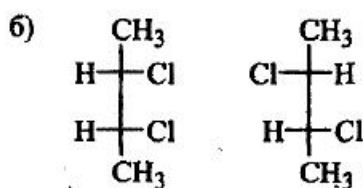
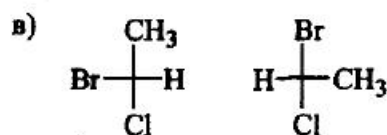
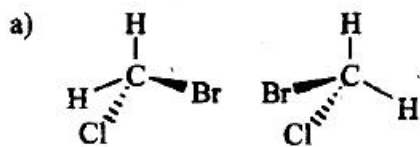


10. Сколько конфигурационных изомеров имеет 2-амино-4-гидрокси-3-метилпентановая кислота?

11. Расположите следующие заместители в порядке снижения их старшинства:



12. Покажите, какие из пар соединений являются идентичными, энантиомерами, диастереомерами? Определите абсолютную конфигурацию хиральных центров соединений (в):



13. Назовите по *R*-, *S*-системе *D*-2-гидроксипропановую кислоту.

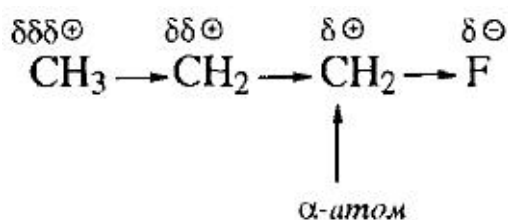
14. Составьте проекционные формулы Фишера 2-хлорбутана. Обозначьте по *R*-, *S*-системе конфигурацию хирального центра соединения.

СОПРЯЖЕННЫЕ СИСТЕМЫ. ЭЛЕКТРОННЫЕ ЭФФКТЫ

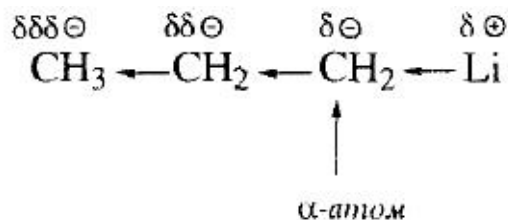
Цель занятия: научиться различать индуктивные и мезомерные эффекты заместителей и их влияние на реакционные центры молекул.

Индуктивный эффект – влияние заместителя на электронную плотность молекулы путем смещения электронов σ -связей.

I -эффект передается по цепи σ -связей с затуханием и наиболее сильное влияние оказывает на α -углеродный атом. Электроноакцепторные заместители, уменьшающие электронную плотность соседних σ -связей, оттягивают на себя общую электронную пару σ -связи, проявляют отрицательный индуктивный эффект ($-I_{\text{эф}}$). Электронодонорные заместители способствуют повышению электронной плотности в цепи и проявляют $+I_{\text{эф}}$:



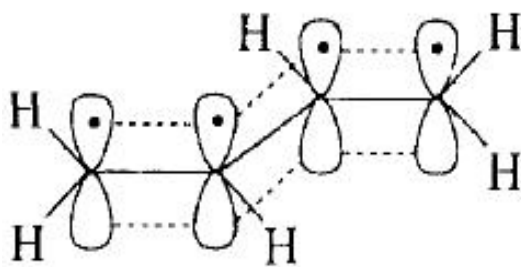
$-I_{\text{эф}}$ атома фтора



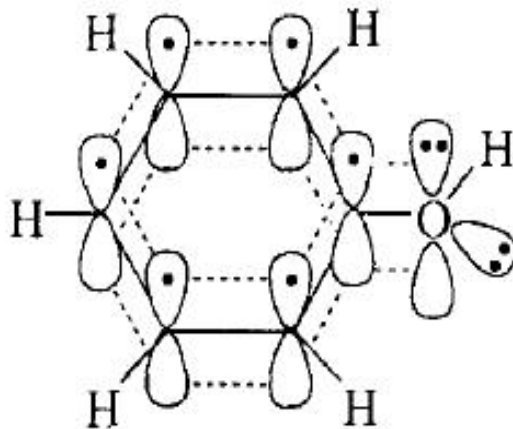
$+I_{\text{эф}}$ атома лития

Эффекты сопряжения

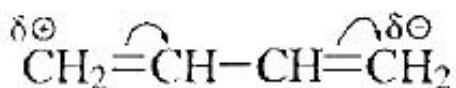
Эффекты сопряжения характерны для соединений, в которых сопряженными являются кратные связи и гетероатомы, имеющие неподеленные электронные пары (НЭП). Вследствие эффекта сопряжения электроны кратных связей, а также НЭП гетероатомов оказываются между более чем двумя атомами. Ковалентные связи в таких соединениях называют делокализованными. Благоприятные пространственные условия для делокализации π -электронов кратных связей и p -электронов гетероатомов по схеме бокового перекрывания показаны на примере молекул 1,3-бутадиена, бензола и фенола:



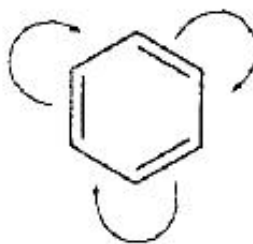
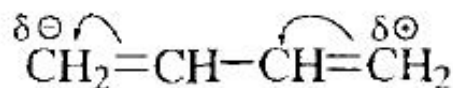
1,3-бутадиен



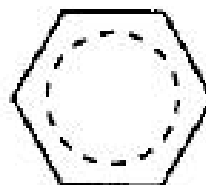
фенол



или



Комбинацию соответствующих прямых и изогнутых стрелок, понимаемую как делокализация («размазывание») электронной плотности по нескольким атомам молекулы, иногда заменяют штриховым изображением:



Эти формулы и формулы с наборами прямых и изогнутых стрелок изображают делокализованное состояние электронов в молекулах.

В эффектах сопряжения заместители, присоединенные к углеводородному фрагменту, могут проявлять как электронодонорное, так и электроноакцепторное влияние. Направление и глубина смещения (величина мезомерного эффекта) зависят от относительной электроотрицательности (ОЭО) заместителя, числа электронов, размера *p*-орбитали.

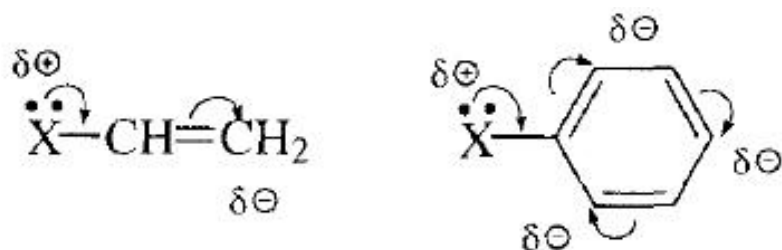
Мезомерный эффект ($M_{\text{эф}}$) – влияние заместителя на электронную плотность молекулы путем смещения π -электронов кратных связей или неподеленных электронных пар гетероатомов.

$M_{\text{эф}}$ передается в сопряженной системе без затухания.

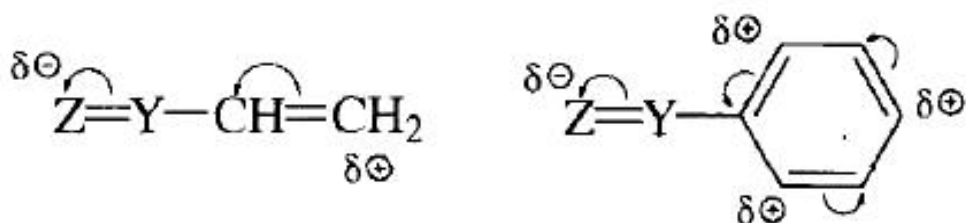
Заместители, способные к полной или частичной передаче пары электронов в сопряженную систему (электронодоноры), обладают положительным эффектом сопряжения (+*M*-эффект). Заместители, поляризующие сопряженную систему в противоположном направлении, оттягивают на себя электронную плотность. Они характеризуются отрицательным эффектом сопряжения (–*M*-эффект).

+ $M_{\text{эф}}$ обладают группировки, имеющие неподеленные пары электронов, или целый отрицательный заряд. Чем меньше ОЭО, тем выше способность заместителя предоставлять свою неподеленную пару электронов в сопряжение.

– $M_{\text{эф}}$ обладают участники сопряженной системы, содержащие кратную связь с электроотрицательным атомом, оттягивающим на себя делокализованную электронную плотность:



+M-эффект заместителя X

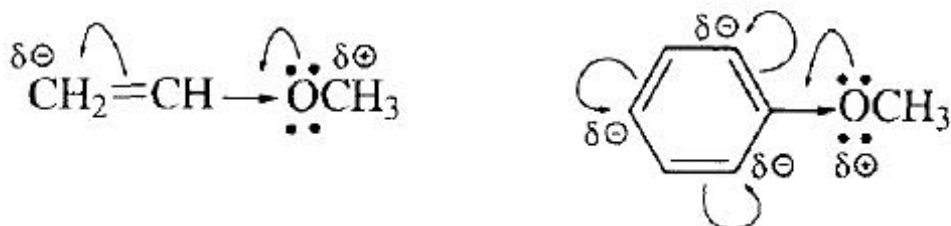


-M-эффект заместителя Z = Y

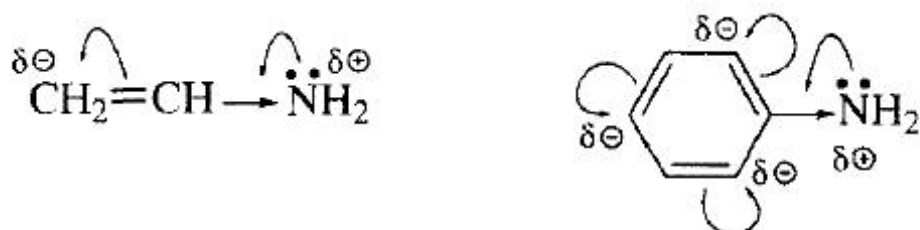
Заместители, способные к эффекту сопряжения, одновременно проявляют в соответствующих соединениях и индуктивный эффект. При этом *M*- и *I*-эффекты могут иметь как одинаковое, так и противоположное направление (табл. 4):



-M- и -I-эффекты формильной группы и цианогруппы



+M- и -I-эффекты метоксигруппы



+M- и -I-эффекты аминогруппы

Электронные эффекты заместителей

Заместитель	Электронный эффект		Суммарное влияние
	Индуктивный	Мезомерный	
-R	+I	-	Электронодонор
-NH ₂ , -NR ₂	-I	+M	Электронодонор (+M > -I)
-OH	-I	+M	Электронодонор (+M > -I)
-OR	-I	+M	Электронодонор (+M > -I)
-F, -Cl, -Br, -I	-I	+M	Электроноакцептор (-I > +M)
-NO ₂	-I	-M	Электроноакцептор
-COOH	-I	-M	Электроноакцептор
-SO ₃ H	-I	-M	Электроноакцептор
>C=O	-I	-M	Электроноакцептор

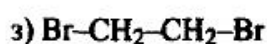
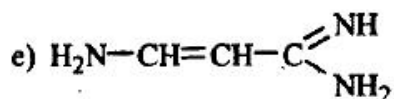
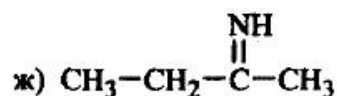
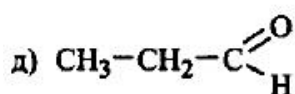
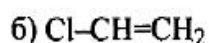
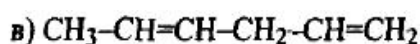
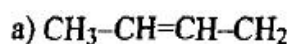
Чтобы определить, есть ли в молекуле *M*-эффект и каков его знак, надо: 1) найти в молекуле сопряженную систему связей; 2) установить тип сопряженной системы; 3) если сопряженная система симметрична, то в молекуле *M*-эффекта нет; 4) если в молекуле имеется *p,π*-сопряженная система, то возникает +*M*_{эф}; если же система несимметричная и в ней есть *π,π*-сопряжение, то возникает -*M*_{эф}.

Вопросы для подготовки

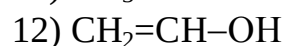
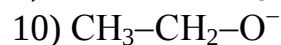
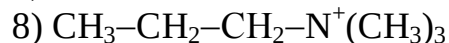
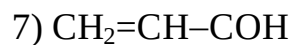
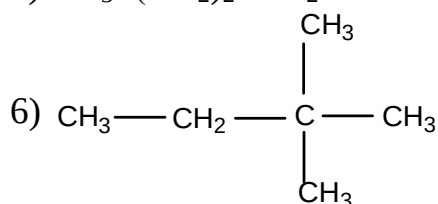
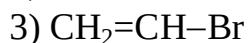
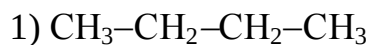
1. Понятие о взаимном влиянии атомов в молекуле. Электронные эффекты заместителей в насыщенных системах (индуктивный эффект).
2. Сопряжение ковалентных связей в молекуле. Особенности строения сопряженных систем на примерах молекул бутадиена-1,3, бензола и пропеновой кислоты. *p,π*-сопряжение и *π,π*-сопряжение.
3. Электронные эффекты заместителей в сопряженных системах. Мезомерный эффект. Суммарное влияние заместителей в молекуле. Электронодоноры и электроноакцепторы.

Упражнения

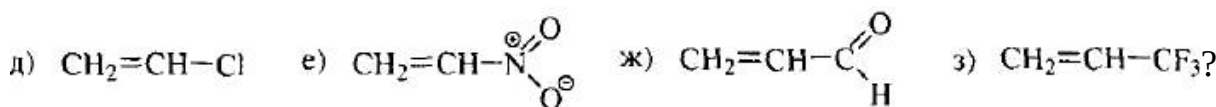
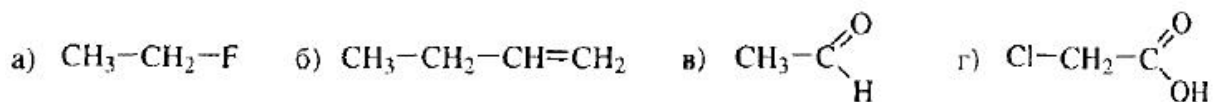
1. В каких случаях имеет место сопряжение? Укажите тип сопряжения:



2. В каких из изображенных соединений заместители проявляют $+I_{\text{эф}}$, $-I_{\text{эф}}$? Обозначьте графически названный эффект функциональных групп в молекулах:



3. Условными символами покажите направление индуктивного и мезомерного эффектов в следующих соединениях. Какие функциональные группы являются электронодонорными, а какие – электроноакцепторными:



АЛИФАТИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ И ЦИКЛОАЛКАНЫ

Цель занятия: изучение строения и свойств алифатических углеводородов.

Ациклические или алифатические углеводороды – соединения с открытой цепью углеродных атомов, могут быть насыщенными (предельными) и ненасыщенными (непредельными).

Ациклические углеводороды линейного или разветвленного строения, содержащие только простые связи и образующие гомологический ряд общей формулы C_nH_{2n+2} , называют **алканами** или парафинами.

Алкены (олефины) – непредельные углеводороды, содержащие одну двойную связь.

Гомологический ряд алкенов выражается общей формулой C_nH_{2n} .

Алкадиены (диолефины) – непредельные углеводороды, содержащие две двойные связи в углеродной цепи. Общая формула C_nH_{2n-2} .

Алкины – ненасыщенные углеводороды, содержащие тройную связь. Общая формула C_nH_{2n-2} .

Вопросы для подготовки

1. Строение, изомерия, номенклатура алканов, алкенов, алкадиенов и алкинов.

2. Характер химических связей в алканах, алкенах, сопряженных алкадиенах и алкинах.

3. Физические свойства.

4. Химические свойства алканов.

4.1 Реакции замещения. Механизм реакций свободнорадикального замещения (цепной механизм при взаимодействии с галогенами). Понятие о региоселективности реакций. Реакции нитрования (реакция М. И. Коновалова), сульфохлорирования, сульфохлорирования.

4.2 Реакции окисления (горение, окисление кислородом воздуха в присутствии катализаторов).

4.3 Термические превращения алканов (термический и каталитический крекинг, изомеризация).

5. Особенности химических свойств циклоалканов.

6. Способы получения и применение алканов.

7. Химические свойства алкенов.

7.1. Реакции присоединения: гидрирование; механизм реакций электрофильного присоединения (A_E), направление реакций A_E , правило В. В. Марковникова и отклонения от него. Присоединение галогенов, кислот, спиртов, гидратация, алкилирование. Качественные реакции на наличие двойной связи.

7.2. Реакции радикального галогенирования по $C_\alpha-H$ связи у алкенов.

7.3. Окисление кислородсодержащими окислителями: кислородом воздуха (горение); кислородом в присутствии катализаторов; перманганатом калия в нейтральной или слабощелочной среде (реакция Вагнера – качественная реакция на наличие двойной связи); окисление в более жестких условиях (с разрывом по двойной связи); озонирование.

7.4. Полимеризация алкенов. Особенности строения и свойств полимеров.

8. Способы получения и применение алкенов.

9. Химические свойства сопряженных алкадиенов.

9.1. Реакции присоединения к сопряженным алкадиенам. Соотношение изомерных продуктов присоединения в зависимости от условий проведения реакции, гидрирование, галогенирование, гидрогалогенирование.

9.2. Диеновые синтезы. Реакция Дильса-Альдера.

9.3. Реакции полимеризации. Каучуки. Мономеры, используемые для полимеризации. Виды синтетических каучуков, их применение.

10 Способы получения алкадиенов.

11. Химические свойства алкинов.

11.1. Реакции присоединения.

11.1.1. Гидрирование.

11.1.2. Электрофильное присоединение по тройной связи. Галогенирование, гидрогалогенирование, присоединение воды (реакция Кучерова), присоединение карбоновых кислот.

11.1.3. Нуклеофильное присоединение (A_N) по тройной связи. Винилирование. Присоединение спиртов (реакция Фаворского), синильной кислоты.

11.2. Реакции замещения у алкинов, имеющих концевую тройную связь. Образование ацетиленидов. Реакция Йоича. Взаимодействие металлических производных ацетилена с алкилгалогенидами. Образование алкинидов серебра и меди (качественная реакция на тройную связь).

11.3. Окисление алкинов сильными окислителями и в мягких условиях, озонирование.

11.4. Реакции взаимодействия с карбонильными соединениями.

11.5. Олигомеризация (димеризация, тримеризация, тетрамеризация).

12. Способы получения и применение алкинов.

Упражнения

1. Напишите схемы реакций и рассмотрите механизм хлорирования 2-метилбутана под действием УФ-облучения.

2. Рассмотрите механизмы реакций присоединения Br_2 и бромоводорода в неполярном растворителе: 1) к бутену-2; 2) к 2-метилбутену-2.

3. Приведите механизм реакций гидратации 2-метилбутена-2 в присутствии разбавленной серной кислоты.

4. Предскажите основные продукты реакций:

1) 3,3-диметилбутена-1 с водой в присутствии разбавленной серной кислоты;

2) 3-метилпентена-2 с бромоводородом;

3) 3-метилпентена-2 с Br_2 под действием УФ-облучения;

4) 2-гидрокси-3-этилпентана с серной кислотой при 160°C .

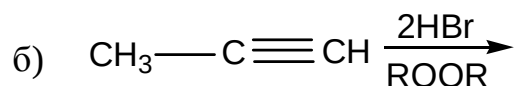
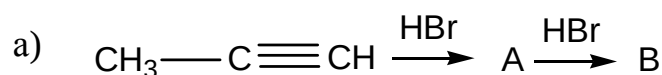
5. Какие продукты образуются при взаимодействии 1,3-пентадиена и 1,4-пентадиена со следующими реагентами: 1) 1 моль Br_2 в CCl_4 при 40°C ; 2) 1 моль Br_2 в CCl_4 при -40°C ; 3) избыток HCl ; 4) 1 моль H_2/Pt ; 5) избыток H_2/Pt ?

6. Какие продукты образуются в результате реакции гидратации по Кучерову с H_2O , H_2SO_4 , Hg^{2+} :

а) $\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—CH}\equiv\text{CH}$

б) $\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—C}\equiv\text{C—CH}_3$?

7. Сравните конечные продукты реакций:



8. Как получить, исходя из пропана и других необходимых реагентов, следующие соединения:

а) $\text{CH}_3\text{—CH=CHBr}$

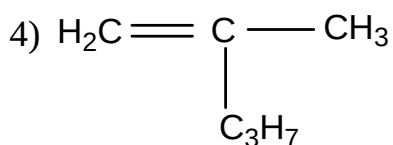
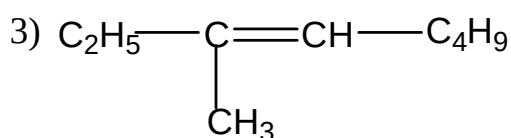
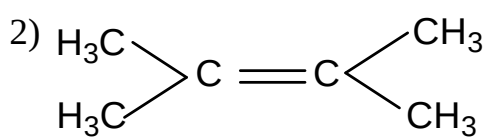
б) $\text{CH}_3\text{—CBr=CH}_2$

в) CH_3COCH_3

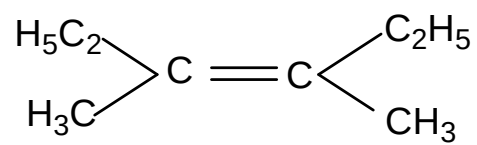
г) $\text{CH}_3\text{—CHBr—CH}_2\text{Br}$?

9. Какие продукты образуются при окислении алкенов: а) нейтральным водным раствором KMnO_4 ; б) раствором KMnO_4 в кислой среде при нагревании:

1) $\text{C}_2\text{H}_5\text{—CH=CH}_2$



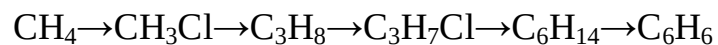
10. Для чего применяют окислительное расщепление алкенов? Приведите схему реакции озонлиза с последующим окислением H_2O_2 соединения



11. Составьте схемы реакций, укажите условия протекания реакции



12. Составьте схемы реакций, укажите условия протекания реакции



АРЕНЫ

Цель занятия: изучение строения и свойств ароматических соединений.

Соединения, содержащие π -электронные системы, удовлетворяющие критериям ароматичности, называют **ароматическими** соединениями.

Вопросы для подготовки

1. Строение молекулы бензола. Понятие ароматичности. Изомерия и номенклатура гомологов бензола.
2. Физические свойства бензола и гомологов бензола.
3. Химические свойства бензола.
 - 3.1. Механизм реакций электрофильного замещения. Взаимодействие с галогенами, нитрование, сульфирование, алкилирование, ацилирование.
4. Ориентирующее действие заместителей в бензольном ядре. Согласованная и несогласованная ориентация.
5. Реакции присоединения к бензолу (гидрирование, хлорирование на свету и озонирование в водной среде). Окисление кислородом.
6. Конденсированные аналоги бензола.
7. Получение и применение ароматических углеводородов.

Упражнения

1. Приведите механизмы реакций взаимодействия бензола: 1) с Br_2 в присутствии AlBr_3 ; 2) с $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Cl}$ в присутствии AlCl_3 ; 3) с концентрированной серной кислотой; 4) со смесью концентрированных азотной и серной кислот; 5) с $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ в присутствии AlCl_3 и HCl ; 6) с пропаналем в присутствии AlCl_3 ; 7) с $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$ в присутствии фосфорной кислоты.
2. Сравните активность хлорбензола, пропоксibenзола, этилбензола и бензойной кислоты в реакциях хлорирования в присутствии AlCl_3 . Как присутствующие заместители влияют на региоселективность электрофильного замещения?
3. Приведите схемы реакций и предскажите основные продукты при взаимодействии:
 - 1) *o*-нитробензойной кислоты, *m*-нитробензойной и *n*-нитробензойной кислоты с хлором в присутствии FeCl_3 ;
 - 2) *o*-нитротолуола, *m*-нитротолуола, *n*-нитротолуола с концентрированной серной кислотой;

- 3) *m*-хлорбензойной кислоты с концентрированными H_2SO_4 и HNO_3 ;
- 4) *n*-хлоранилина с бромом в присутствии уксусной кислоты;
- 5) *n*-хлортолуола с концентрированными H_2SO_4 и HNO_3 ;
- 6) *n*-толуидина с бромом в присутствии уксусной кислоты.

Какие факторы влияют на направление электрофильного ароматического замещения и соотношение изомеров? Как влияет объем имеющегося заместителя и атакующего реагента на соотношение полученных изомеров? Охарактеризуйте заместители по направляющему действию в данных реакциях электрофильного замещения.

4. Сравните продукты реакций взаимодействия пропилбензола с хлором на свету и в присутствии FeCl_3 .

5. Как получить *n*-нитробензойную кислоту из бензола, используя реакции электрофильного замещения?

ГАЛОГЕНОПРОИЗВОДНЫЕ УГЛЕВОДОРОДОВ, СПИРТЫ, ФЕНОЛЫ, ПРОСТЫЕ ЭФИРЫ

Цель занятия: изучение строения и свойств галогенопроизводных углеводородов, спиртов, фенолов, простых эфиров.

Галогенуглеводороды получают при замене одного или нескольких атомов водорода на атомы галогена.

Спирты (алкоголи) – производные углеводородов, в молекулах которых одна или несколько гидроксильных групп связаны с насыщенным атомом углерода в состоянии sp^3 -гибридизации.

Соединения, в которых гидроксильная группа связана с ароматическим ядром, называют **фенолами**.

Продукты замещения водородного атома гидроксильной группы спиртов или фенолов на алкильный или арильный радикал называются **простыми эфирами**: $R-O-R'$. Радикалы могут быть насыщенные, ненасыщенные, ароматические.

Вопросы для подготовки

1. Галогенопроизводные углеводородов. Номенклатура, изомерия.
 - 1.1. Физические свойства галогенопроизводных углеводородов.
 - 1.2. Механизмы реакций нуклеофильного замещения (S_N1 , S_N2). Влияние строения субстрата на течение реакции. Взаимодействие галогеналканов со щелочами, алкоголятами щелочных металлов, цианидами, сульфидами, аммиаком.
 - 1.3. Реакции отщепления галогеноводорода. Правило Зайцева.
 - 1.4. Реакции восстановления, алкилирования. Синтез металлоорганических соединений. Синтез алканов (реакция Вюрца). Галогенопроизводные углеводородов. Номенклатура, изомерия. Физические свойства.
 - 1.5. Способы получения. Практическое применение галогенуглеводородов.
2. Спирты. Строение, классификация, изомерия, номенклатура.
 - 2.1. Физические свойства спиртов.
 - 2.2. Химические свойства спиртов.
 - 2.2.1. Кислотно-основные свойства спиртов.
 - 2.2.2. Реакции нуклеофильного замещения гидроксильной группы: реакции с галогеноводородами, с галогенидами фосфора и серы. Проба Лукаса.
 - 2.2.3. Дегидратация спиртов (внутримолекулярная и межмолекулярная дегидратация). Взаимодействие с неорганическими кислотами.

2.2.4. Реакции ацилирования (образования сложных эфиров). Взаимодействие с карбоновыми кислотами, галогенангидридами и ангидридами карбоновых кислот.

2.2.5. Взаимодействие с альдегидами и кетонами.

2.2.6. Окисление спиртов. Реакции дегидрирования спиртов. Окисление спиртов перманганатом калия, бихроматом калия. Горение спиртов.

2.3. Многоатомные спирты. Качественная реакция на многоатомные спирты.

2.4. Получение одноатомных спиртов.

2.5. Применение спиртов.

3. Фенолы. Строение, номенклатура, изомерия.

3.1. Физические свойства фенолов.

3.2. Химические свойства фенолов.

3.2.1. Кислотно-основные свойства фенолов.

3.2.2. Взаимодействие с галогеналканами, образование простых эфиров; О-ацилирование (взаимодействие с галогенангидридами карбоновых кислот), образование сложных эфиров.

3.2.3. Реакции электрофильного замещения (бромирование, нитрование, алкилирование, сульфирование, ацилирование, алкилирование).

3.2.4. Реакции окисления и восстановления. Качественная реакция на фенолы.

3.3. Получение фенола.

3.4. Применение фенолов.

4. Простые эфиры. Строение, номенклатура.

4.1. Физические свойства простых эфиров.

4.2. Химические свойства.

4.2.1. Основность, взаимодействие с сильными кислотами Бренстеда и Льюиса и образование донорно-акцепторных комплексов.

4.2.2. Расщепление простых эфиров йодоводородной кислотой.

4.2.3. Окисление простых эфиров.

4.2.4. Свойства циклических простых эфиров.

4.3. Получение и применение простых эфиров.

Упражнения

1. Составьте уравнения взаимодействия с водным раствором щелочи 1-хлор-2-метилпропана.

2. Напишите схемы реакций взаимодействия 2-метил-бутанола-2 с металлическим натрием, соляной кислотой, раствором перманганата калия в кислой среде, уксусной кислотой в присутствии концентрированной серной кислоты.

3. Напишите схемы реакций взаимодействия: фенола с металлическим натрием, раствором гидроксида натрия, бромной водой, азотной кислотой.

4. В каком порядке увеличивается кислотность следующих спиртов в водном растворе: метанола, *трет*-бутилового спирта, пропанол-2, 2-хлорпропанол-1?

5. Составьте схемы реакций взаимодействия бутанола-1 и бутанола-2 с серной кислотой без нагревания и при нагревании до 140 и до 160 °С. Назовите продукты внутримолекулярной и межмолекулярной дегидратации.

6. Напишите схему реакции взаимодействия этиленгликоля с сульфатом меди в присутствии NaOH. Какие спирты можно различить с помощью этой реакции?

7. С помощью каких химических реакций можно различить изопропиловый и третбутиловый спирты? Напишите схемы реакций, назовите все полученные вещества.

8. Напишите схемы реакций взаимодействия указанных соединений. Какие продукты получатся при последующем кислотном гидролизе:

- 1) формальдегид с этилмагнийбромидом;
- 2) метилпропилкетон с пропилмагнийбромидом;
- 3) ацетальдегид с этилмагнийиодидом?

9. Составьте схемы реакций окисления раствором бихромата калия пропанола-1, бутанола-2, третбутилового спирта.

10. Рассмотрите механизм реакций:

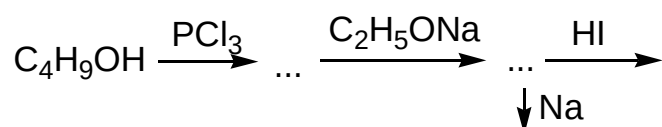
- а) щелочного гидролиза 2-бром-2-метилбутана;
- б) пропанола-1 и 2-метилпропанола-2 с концентрированной соляной кислотой.

11. Рассмотрите механизмы реакций в спиртовом растворе при 55 °С: 1) этоксида натрия с бромэтаном; 2) этоксида натрия с 2-бромпропаном; 3) этоксида натрия с 2-бром-2-метилпропаном. Какие продукты (замещения, элиминирования) преобладают в каждом случае?

12. Получите следующие простые эфиры с помощью реакций замещения: а) диметиловый эфир; б) метилизопропиловый эфир; в) *н*-бутилэтиловый эфир.

13. Какие вещества образуются при нагревании пропилэтилового эфира с концентрированной иодистоводородной кислотой, взятой в большом избытке?

14. Укажите условия протекания реакций

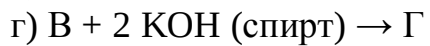
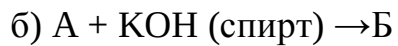


15. Как из этанола можно получить: бутан, этан, бромэтан, йодформ?

16. Укажите условия протекания реакции

пропин→пропан→1-хлорпропан→пропанол-1→пропилен→пропанол-2

17. Осуществите превращения, назовите все реагенты и продукты:



18. Напишите схемы синтеза пропанола-2, исходя из: а) олефина;
б) алкилгалогенида; в) по реакции Гриньяра.

КАРБОНИЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Цель занятия: изучение строения и свойств карбонильных соединений (альдегидов и кетонов).

Альдегиды и кетоны – производные углеводородов, которые содержат *карбонильную группу* $>C=O$, которую называют еще *оксо-группой* или *карбонилем*.

В альдегидах карбонильная группа находится на конце цепи и с нею связан алкильный или арильный радикал и атом водорода. В кетонах карбонильная группа связана с двумя радикалами и называется *кетогруппой*.

Вопросы для подготовки

1. Строение, классификация, изомерия и номенклатура альдегидов и кетонов.

2. Физические свойства альдегидов и кетонов.

3. Химические свойства.

3.1. Реакции нуклеофильного присоединения. Присоединение воды, присоединение спиртов (образование ацеталей и кеталей). Полимеризация альдегидов. Присоединение циановодорода, реакции с магнийорганическими соединениями, с гидросульфитом натрия.

3.2. Реакции присоединения–отщепления N-нуклеофилов. Взаимодействие с аммиаком, первичными аминами, гидроксиламином. Взаимодействие с галогеннуклеофилами (с галогенидами фосфора и серы).

3.3. α -галогенирование альдегидов и кетонов. Замещение по связи $C_{\alpha}-H$. Галоформная реакция.

3.4. Окисление альдегидов и кетонов. Качественные реакции на альдегидную группу.

3.5. Восстановление альдегидов и кетонов. Получение спиртов.

3.6. Альдольная и кротоновая конденсации. Перекрестные конденсации. Реакция диспропорционирования в растворах концентрированных щелочей (реакция Канниццаро).

3.7. Способы получения.

3.8. Применение альдегидов и кетонов.

Упражнения

1. Составьте схемы взаимодействия: 1) ацетальдегида с этиламином; 2) пропанона с метиламином; 3) этилпропилкетона с 2 моль этанола в кислой среде. Назовите продукты реакций.

2. Составьте схемы взаимодействия 2-метилбутанала: а) с хлоридом фосфора (V); б) с аммиаком; в) с гидроксиламином; г) с гидразином;

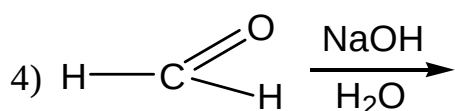
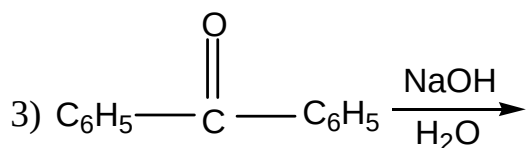
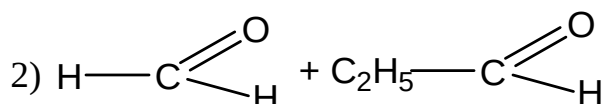
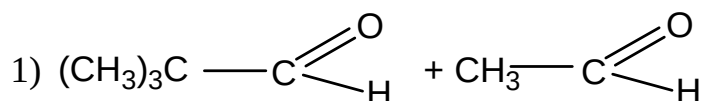
д) с избытком этанола; е) с циановодородом; ж) с гидросульфитом натрия. Рассмотрите механизмы реакции б) и г).

3. При взаимодействии каких соединений образуется 1,1-диметоксиэтан? Напишите схемы реакций. В какой среде это соединение устойчиво? Почему? Для каких целей применяют реакции ацетализации альдегидов и кетонов?

4. Составьте схему и рассмотрите механизм реакции альдольной и кротоновой конденсаций пропаналя в щелочной среде. Какова роль щелочного катализатора в реакции альдольной конденсации?

5. Напишите схему превращения 4-гидроксипентаналь в кислой среде.

6. Составьте схемы взаимодействия альдегидов и кетонов в щелочной среде, назовите продукты реакций:



7. Какое соединение образуется, если этилпропилкетон восстановить и полученный спирт обработать последовательно: 1) бромоводородом; 2) магнием в эфирном растворе; 3) формальдегидом; 4) разбавленным раствором хлороводородной кислоты; 5) металлическим натрием?

8. Получите метакриловую кислоту из диметилкетона.

9. С помощью каких реакций можно получить альдегиды из бутанола-1, бутена-1, 1,1-дихлорбутана, ацетилена?

КАРБОНОВЫЕ КИСЛОТЫ И ИХ ПРОИЗВОДНЫЕ

Цель занятия: изучение строения и свойств карбоновых кислот и их производных.

Карбоновые кислоты – органические соединения, содержащие карбоксильную группу COOH .

Вопросы для подготовки

1. Карбоновые кислоты. Строение, классификация, номенклатура.
2. Физические свойства карбоновых кислот.
3. Химические свойства предельных карбоновых кислот.
 - 3.1. Кислотные свойства карбоновых кислот.
 - 3.2. Реакции ацилирования. Галогенацилирование. Образование ангидридов карбоновых кислот и их свойства.
 - 3.3. Образование сложных эфиров карбоновых кислот. Гидролиз сложных эфиров.
 - 3.4. Образование амидов карбоновых кислот (N-ацилирование аммиака и аминов). Свойства амидов карбоновых кислот.
 - 3.5. Свойства нитрилов карбоновых кислот.
 - 3.6. Окисление α -углеродного атома карбоновых кислот. Декарбоксилирование карбоновых кислот, восстановление.
 - 3.7. Ненасыщенные карбоновые кислоты. Строение, изомерия, номенклатура. Физические свойства. Химические свойства.
4. Высшие ненасыщенные карбоновые кислоты в природе (жиры, воски, масла). Способы их получения и свойства.
5. Применение в карбоновых кислот и их производных промышленности.
6. Способы получения карбоновых кислот.

Упражнения

1. Составьте схемы реакций между веществами, назовите полученные продукты:
 - а) пропановой кислотой и этанолом в кислой среде; рассмотрите механизм реакции;
 - б) бутанолом и ангидридом пропановой кислоты;
 - в) пропаноилхлоридом и этанолом;
 - г) метилпропаноатом и пропанолом.
2. Расположите соответствующие реагенты из задания 1 в порядке усиления ацилирующей способности.

3. Составьте схемы реакций взаимодействия: а) уксусной кислоты с хлоридом фосфора (III), уксусной кислоты с тионилхлоридом (SOCl_2); б) бутановой кислоты с аммиаком; бутановой кислоты с метиламином; бутановой кислоты с диэтиламином.

4. Напишите схемы реакций гидролиза метилбензоата в кислой и щелочной средах. Покажите, в каком случае реакция необратима.

5. Установите строение сложного эфира, если известно, что при его гидролизе образуются бутанол-2 и формиат натрия. Напишите схему реакции. В какой среде протекает реакция гидролиза?

6. Напишите схемы реакций получения ацетамида, используя в качестве исходных веществ: а) соответствующий хлорангидрид; б) соответствующую кислоту; в) нитрил; г) соответствующий ангидрид.

7. Почему муравьиная кислота при относительно небольшой молекулярной массе имеет довольно высокую температуру кипения ($100,5\text{ }^\circ\text{C}$)?

8. Молочная кислота выпускается промышленностью в виде 40 % водного раствора. Почему нецелесообразно дальнейшее сгущение раствора путем упаривания при нагревании? Напишите схему реакции, протекающей при нагревании молочной кислоты.

9. Напишите схемы реакций: 1) получения бензойной кислоты из толуола; 2) получения уксусной кислоты из бутена-2; 3) получения пропионовой кислоты из пропанола.

10. Напишите схемы реакций получения бутановой кислоты: 1) с помощью галоформной реакции из соответствующего кетона; 2) гидролизом соответствующего нитрила; 3) карбоксилированием соответствующего металлоорганического соединения.

АМИНЫ, АМИНОКИСЛОТЫ, ПЕПТИДЫ

Цель занятия: изучение строения, классификации, свойств аминов и аминокислот; строения, структуры и свойств пептидов.

Амины – производные аммиака, в которых атомы водорода замещены углеводородными группами.

Аминокислоты – органические соединения, содержащие два типа функциональных групп: аминогруппу ($-\text{NH}_2$) и карбоксильную группу ($-\text{COOH}$).

В молекулах аминокислот положение аминогруппы относительно карбоксильной указывают буквами α , β , γ и т.д. Это соответствует цифрам 2, 3, 4 и т.д. соответственно.

Пептиды и белки представляют собой соединения, построенные из остатков α -аминокислот.

Условно считают, что пептиды содержат в молекуле до 100 аминокислотных остатков (что соответствует молекулярной массе до 10000), а белки – свыше 100 аминокислотных остатков (молекулярная масса от 100000 до нескольких миллионов). В состав большинства пептидов и белков входят 20 наиболее часто встречающихся α -аминокислот. В α -аминокислотах карбоксильная и аминогруппы связаны с одним и тем же α -углеродным атомом.

Вопросы для подготовки

1. Амины. Строение, изомерия, классификация, номенклатура.
 - 1.1. Физические свойства аминов.
 - 1.2. Химические свойства аминов. Основные свойства. Алкилирование аминов галогеналканами. Взаимодействие первичных аминов с альдегидами и кетонами (образование иминов). Реакции окисления азотистой кислотой. Ацилирование первичных и вторичных аминов (получение амидов).
 - 1.3. Способы получения аминов. Применение.
2. Аминокислоты. Строение, классификация, номенклатура.
 - 2.1. Физические свойства аминокислот. Оптическая активность аминокислот.
 - 2.2. Химические свойства аминокислот.
 - 2.2.1. Кислотно-основные свойства. Прототропная таутомерия.
 - 2.2.2. Реакции по аминогруппе: ацилирование, взаимодействие с карбонильными соединениями, основания Шиффа.
 - 2.2.3. Реакции по карбоксильной группе. Реакции со спиртами, тионилхлоридом, галогенангидридами карбоновых кислот. Взаимодействие с галогенидами серы, фосфора.

2.2.4. Способы защиты аминогруппы и карбоксильной группы. Изменение нуклеофильности аминогруппы и электрофильности карбоксильной группы.

2.2.5. Пептидный синтез.

2.2.6. Декарбоксилирование аминокислот. Комплексообразующие свойства. Отношение к нагреванию. Дезаминирование.

2.2.7. Качественные реакции на аминокислоты (с нингидрином, ксантопротеиновая реакция).

2.3. Способы получения аминокислот. Биологическая роль. Применение в промышленности.

3. Строение и свойства пептидной связи. Строение белков. Первичная, вторичная, третичная и четвертичная структуры. Биологическая роль белков.

Упражнения

1. Напишите схемы реакций взаимодействия пропиламина: а) с соляной кислотой; б) с водой; в) с хлорметаном; г) с бутаналем; д) с ацетоном; е) с уксусной кислотой; ж) с метанолом.

2. Напишите схемы реакций получения триалкиламина и четвертичного аммониевого основания взаимодействием диметиламина с бромэтаном. Какие еще реагенты необходимы?

3. Напишите схему реакции взаимодействия α -аланина (2-аминопропановой кислоты) с бензальдегидом. Какое из участвующих в реакции соединений выполняет роль нуклеофильного агента?

4. Какие продукты образуются при нагревании: 1) β -аминомасляной кислоты; 2) 6-аминогексановой кислоты; 3) аминуксусной кислоты; 4) 2-аминопентандиовой (глутаминовой) кислоты? Напишите схемы соответствующих реакций.

5. Какое соединение получится при действии азотистой кислоты на *L*- α -аланин? Напишите схему реакции и определите, обладает ли полученный продукт оптической активностью.

6. Каким образом с помощью реакции дезаминирования можно различить растворы аминокислот равной концентрации, но отличающиеся количеством аминогрупп? Приведите схемы реакций дезаминирования 2-амино-4-метилпентановой кислоты (лейцина) и 2,6-диаминогексановой кислоты (лизина).

7. Напишите схемы реакций: 1) взаимодействия 2-аминопропаноата калия с хлорангидридом уксусной кислоты; 2) взаимодействия 2-аминопропановой кислоты с этанолом в водном растворе HCl с последующим гидролизом в растворе NaOH.

8. Составьте схему реакции взаимодействия глицина с защищенной аминогруппой с SOCl_2 . Для чего защищают аминогруппы аминокислот?

9. Составьте схему реакции взаимодействия продукта, полученного в задании 8: а) с этанолом; б) с метиламином.

10. Напишите схему ксантопротеиновой реакции с 2-амино-2-фенилэтановой кислотой. Для чего используется эта реакция?

УГЛЕВОДЫ

Цель занятия: изучение строения и свойств моно-, ди- и полисахаридов.

Углеводы – это полифункциональные соединения, широко распространенные в животном и растительном мире.

Это класс органических соединений, которые являются полигидроксикальдегидами и полигидроксикетонами. Их структура, как правило, выражается общей формулой $C_n(H_2O)_n$, где $n > 3$.

Вопросы для подготовки

1. Классификация углеводов. Распространение углеводов в природе.
2. Моносахариды. Структурная и пространственная изомерии, понятие о диастереомерах. Проекционные формулы Фишера.
3. Стереοизомерия моносахаридов. Энантиοмеры. Принадлежность к *L*-, *D*-ряду. Эпимеры.
4. Цикло-оксо-таυтомерия (кольчато-цепная). Формулы Хеуорса. Пиранозные, фуранозные циклы. Понятие об α -, β -аномерах. Равновесная смесь таυтомеров. Явление мутаротации и его химическая сущность. Конформации моносахаридов.
5. Производные моносахаридов: дезоксисахара, аминосахара.
6. Химические свойства моносахаридов: комплексообразование; реакции с алкилирующими реагентами, образование гликозидов и их свойства, образование простых эфиров моносахаридов; реакции с ацилирующими реагентами и образование сложных эфиров. Сложные эфиры с серной и фосфорной кислотами. Реакции восстановления. Окисление в щелочной среде. Восстанавливающие и невосстанавливающие сахара. Окисление в нейтральной и кислой средах. Альдаровые и альдоновые кислоты. Окисление первичноспиртовой группы и образование уроновых кислот. Образование лактонов. Реакции дегидратации.
7. Альдольное расщепление межуглеродной связи.
8. Взаимные превращение альдоз и кетоз – эпимеризация моносахаридов (кето-енольное превращение).
9. Природные дисахариды: мальтоза, лактоза, сахароза, целлобиоза. Их строение, источники и биологическое значение. Восстанавливающие и невосстанавливающие дисахариды.
10. Брожение углеводов. Практическое значение.
11. Строение и биологическое значение полисахаридов: крахмала, гликогена и целлюлозы.

Упражнения

1. Покажите, какие таутомерные формы образует в водном растворе *D*-галактоза.

2. Напишите схемы реакций и назовите продукты, образующиеся:
а) при взаимодействии α -*D*-галактопиранозы с избытком метилиодида в щелочной среде с последующим кислотным гидролизом; б) при действии этанола на α -*D*-галактопиранозу в присутствии кислотного катализатора в безводной среде; в) при обработке β -*D*-галактопиранозы избытком уксусного ангидрида; г) при окислении *D*-галактозы азотной кислотой; д) при окислении *D*-галактозы бромной водой.

3. Напишите структурные формулы углеводов: а) мальтозы; б) целлобиозы; в) крахмала. Покажите гликозидные связи. Напишите схемы реакций гидролиза этих углеводов. Назовите продукты гидролиза. Обладает ли целлобиоза восстанавливающими свойствами? Если да, то покажите на примере реакции с реактивом Толленса.

ПРИМЕРНЫЕ ВАРИАНТЫ САМОСТОЯТЕЛЬНЫХ И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

Самостоятельная работа 1

Номенклатура, структурная и конформационная изомерия органических соединений

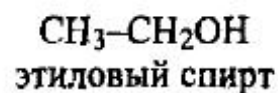
1. Выберите правильный ответ:

Нитроэтан $C_2H_5-NO_2$ и глицин H_2N-CH_2-COOH –: 1) структурные изомеры; 2) геометрические изомеры; 3) оптические изомеры.

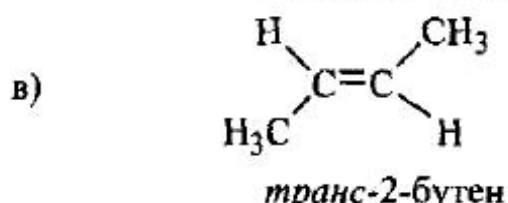
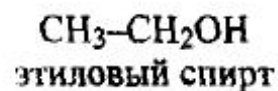
2. Какие из приведенных ниже пар являются структурными изомерами?



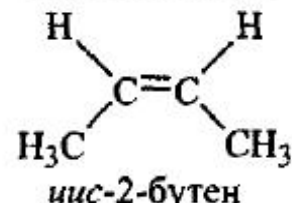
и



и



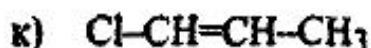
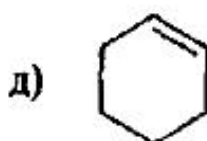
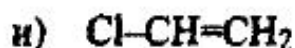
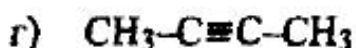
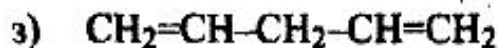
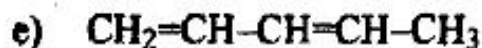
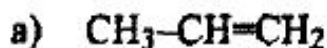
и



и

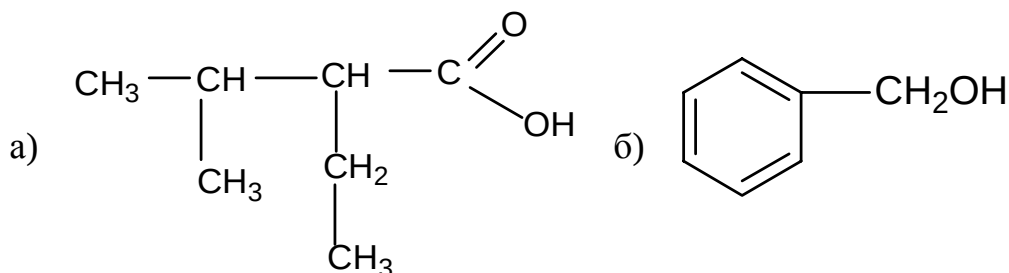


3. Какие из указанных ниже соединений могут обладать геометрической (*цис*-, *транс*-) изомерией:



4. Напишите структурные формулы следующих соединений: а) 4-метил-3,5-дибромгексин-1; б) 2,4-динитрофенол.

5. Назовите по номенклатуре ИЮПАК следующие соединения:

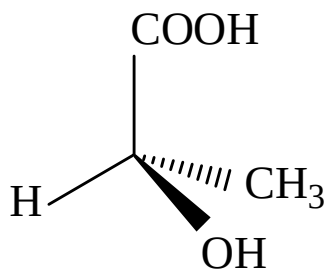


Самостоятельная работа 2

Оптическая изомерия органических соединений

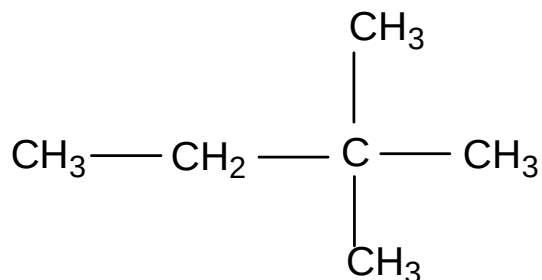
1. Обладают ли хиральностью молекулы: 2-бром-3-хлорпентан и $\text{HOCH-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CHON}$ (назовите соединение)? Если обладают, то напишите проекционные формулы Фишера возможных стереоизомеров этих соединений. Покажите диастереомеры и энантиомеры.

2. Назовите соединение, определите принадлежность его к *D*-, *L*-ряду и конфигурацию по *R*-, *S*-номенклатуре:



3. В каких из изображенных соединений заместители проявляют $-I_{\text{эф}}$, $+I_{\text{эф}}$? Обозначьте графически названные эффекты функциональных групп в молекулах:

- 1) $\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_2\text{-CH}_2\text{-Na}$
- 2) $\text{CH}_2=\text{CH-COOH}$
- 3) $\text{CH}_2=\text{CH-SO}_3\text{H}$
- 4) $\text{HOOC-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-N}^+(\text{CH}_3)_3$
- 5) $\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_2\text{-CH}_2\text{-Na}$
- 6)

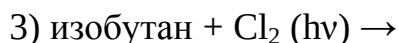
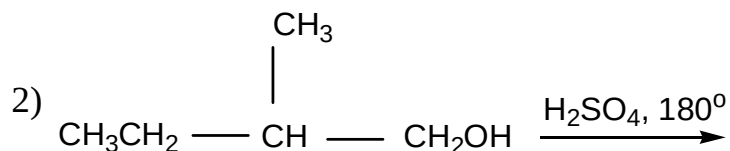
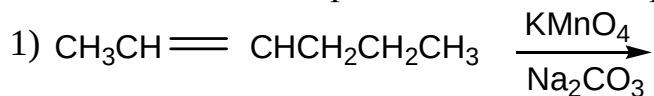


Самостоятельная работа 3

Алканы, алкены, алкины

1. Приведите механизм реакции гидробромирования пентена-1. Сформулируйте правило Марковникова.

2. Напишите схемы реакций, назовите продукты:

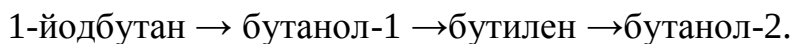


Самостоятельная работа 4

Галогенпроизводные углеводородов, спирты, фенолы, простые эфиры

1. Как получить дипропиловый эфир с помощью реакции межмолекулярной дегидратации. Назовите его по номенклатуре ИЮПАК. Назовите исходные вещества.

2. Укажите необходимые реагенты и условия реакции



3. Как получить пропанол-2 с помощью реактива Гриньяра?

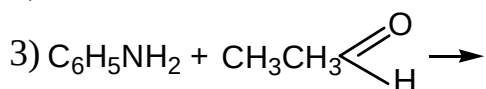
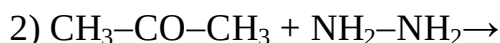
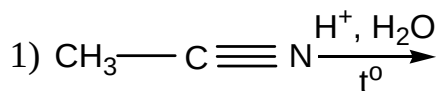
4. Напишите схему реакции взаимодействия этиленгликоля с сульфатом меди в присутствии NaOH. Какие спирты можно различить с помощью этой реакции?

Самостоятельная работа 5

Альдегиды, кетоны. Карбоновые кислоты и их производные

1. Какова роль щелочного катализатора в реакции альдольной конденсации 2-метилбутанала? Напишите схему реакции.

2. Напишите схемы реакций:



3. Напишите схемы реакций получения этилпропаноата, используя в качестве исходных веществ: а) соответствующий хлорангидрид; б) соответствующую кислоту; в) соответствующий ангидрид.

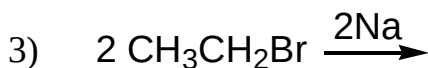
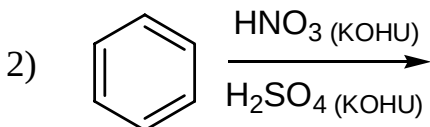
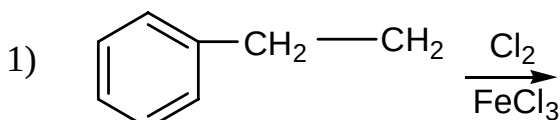
Самостоятельная работа 6

Амины. Аминокислоты

1. Напишите схемы реакций взаимодействия этиламина: 1) с соляной кислотой; 2) с водой; 3) с ацетоном; 4) с хлорпропаном.
2. Какие продукты образуются при нагревании: 1) α -аминопропановой кислоты; 2) 6-аминогептановой кислоты?
3. Напишите схему реакции декарбоксилирования 2-аминоэтановой кислоты.
4. Напишите схемы реакции взаимодействия 2-аминопропановой кислоты с этанолом в водном растворе HCl с последующим гидролизом в растворе NaOH.

Контрольная работа 1

1. Моторное топливо. Октановое число. Антидетонаторы.
2. Напишите схемы реакций, назовите все реагенты и продукты:



3. Напишите уравнение реакции взаимодействия 2-метилбутадиена-1,3 с HBr (1 моль). Рассмотрите механизм превращения, назовите его; объясните, почему в результате этой реакции возможно образование двух изомеров. Какой из этих изомеров будет являться главным продуктом реакции при 0 °C и при +20 °C?

Контрольная работа 2

1. Приведите схемы реакций взаимодействия 2-метилбутанала: а) с хлоридом фосфора (V); б) с аммиаком; в) с гидросиламином; г) с избытком этанола.
2. Напишите схемы реакций получения ацетамида, используя в качестве исходных веществ: а) соответствующий хлорангидрид; б) соответствующую кислоту; в) соответствующий ангидрид. Какие из исходных веществ более реакционноспособны в этих реакциях?

3. Приведите строение дисахарида, если известно, что он состоит из β -D-галактопиранозы и α -D-глюкопиранозы, связанных между собой (1→4) гликозидной связью. Каково его тривиальное название? Может ли он вступать в реакцию с реактивом Толленса? Если может, напишите схему реакции.

4. Расскажите о нахождении высших ненасыщенных карбоновых кислот в природе (жиры, воски, масла). Напишите уравнение реакции взаимодействия триолеоилглицерина с водородом при температуре 160 °C в присутствии катализатора. (Линолевая кислота $C_{17}H_{31}COOH$.)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грандберг, И. И. Органическая химия / И. И. Грандберг. – М. : Дрофа, 2002.
2. Грандберг, И. И. Практические занятия по органической химии / И. И. Грандберг. – М. : Дрофа, 2001.
3. Ким, А. М. Органическая химия / А. М. Ким. – Новосибирск : Сибирское университетское издательство, 2004.
4. Тейлор, Г. Основы органической химии для студентов нехимических специальностей / Г. Тейлор. – М. : Мир, 1989.
5. Травень, В. Ф. Органическая химия : учебник для вузов : в 2 т. / В. Ф. Травень. – М. : Академкнига, 2005.
6. Органическая химия / под ред. Н. А. Тюкавкиной. – М. : Дрофа, 2002. – Кн. 1: Основной курс.
7. Руководство к лабораторным занятиям по органической химии : учебное пособие для вузов / Н. Н. Артемьева, В. Л. Белобородов, Ю. А. Колесник ; под ред. Н. А. Тюкавкиной. – М. : Медицина, 1999. – 320 с.
8. Щербина, А. Э. Органическая химия. Задачи и упражнения : учеб. пособие / А. Э. Щербина, Л. Г. Матусевич, И. В. Сенько. – Минск : Новое знание, 2007. – 304 с.

Учебное издание

ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

2-е издание, исправленное и дополненное

С о с т а в и т е л ь
РАШЕВСКАЯ Ирина Владимировна

Редактор *Ю. С. Жидкова*
Компьютерная верстка *А. А. Стаценко*

Подписано в печать 17.01.11. Формат 60×84¹/₁₆.
Усл. печ. л. 3,02.
Заказ № 15. Тираж 100.

Издательство ПГУ
Пенза, Красная, 40
Тел./факс: (8412) 56-47-33; e-mail: iic@mail.pnzgu.ru

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Методические рекомендации
к практическим занятиям по органической химии
для студентов специальности
«Инженерная защита окружающей среды»

ПЕНЗА 2011