

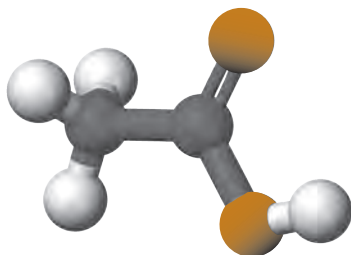
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ, КУЛЬТУРЫ И ИССЛЕДОВАНИЙ

МАРИЯ БОТНАРУ МАРИЯ РОМАН ЕВГЕНИЯ МЕЛЕНТЬЕВ

ХИМИЯ

Учебник для XI-го класса

РЕАЛЬНЫЙ ПРОФИЛЬ • ГУМАНИТАРНЫЙ ПРОФИЛЬ



Chişinău – 2020

CZU 547(075.3)

Б 861

Acest manual este proprietatea Ministerului Educației, Culturii și Cercetării

Manualul școlar a fost elaborat în conformitate cu prevederile Curriculumului la disciplină, aprobat prin ordinul Ministerului Educației, Culturii și Cercetării nr. 906 din 17 iulie 2019. Manualul a fost aprobat prin ordinul Ministerului Educației, Culturii și Cercetării nr. 849 din 24 august 2020.

Comisia de evaluare:

Coordonator: Bozadji Nadejda, profesoară, grad didactic superior, LT nr. 2

or. Ceadâr-Lunga, UTAG;

Chiosa Zinaida, profesoară, grad didactic superior, LT „L. Deleanu”, mun. Chișinău;

Cherdivară Maia, profesoară, grad didactic superior, LT „Ion Vatamanu”, or. Strășeni;

Mihailov Elena, profesoară, grad didactic superior, LT „C. Sibirski”, mun. Chișinău;

Pâslaru Olga, profesoară, grad didactic superior, LT „M.N. Vornicescu”, s. Lozova, r-nul Strășeni.

Министерство Образования, Культуры и Исследований				
Школа/Лицей				
Учебник №				
Год	Фамилия, имя учащегося	Учебный год	Состояние учебника	
			при получении	при возврате
1				
2				
3				
4				
5				

Классный руководитель должен проследить за правильным заполнением формуляра.

Учащиеся не должны делать пометки в учебнике.

Состояние учебника при получении и возврате оценивается как: новый, хороший, удовлетворительный, неудовлетворительный.

*Toate drepturile asupra acestei ediții aparțin editurii **Lumina**.*

Descrierea CIP a Camerei Naționale a Cărții

Ботнару, Мария.

Химия: Учебник для 11-го класса : Реальный профиль. Гуманитарный профиль / Мария Ботнару, Мария Роман, Евгения Мелентьев; comisia de evaluare: Bozadji Nadejda (coordonator) [et al.]; traducere în limba rusă: Иван Погребной; Министерство Образования, Культуры и Исследований. – Chișinău: Lumina, 2020 (F.E.-P. „Tipografia Centrală”). – 228 p.

Proprietate a Min. Educației, Culturii și Cercet. al Rep. Moldova. – 5659 ex.

ISBN 978-9975-65-466-1.

547(075.3)

Б 861

ISBN 978-9975-65-466-1

© Editura Lumina, 2020

© Maria Botnaru, Maria Roman, Eugenia Melentiev, 2020

© Ivan Pogrebnoi, traducere în limba rusă, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

	<i>От авторов</i>	5
1.	ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ	7
1.1.	Органические вещества в жизни современного человека	8
1.2.	Разнообразие органических соединений. Органические и неорганические вещества	10
	<i>Расширение</i> Разделение и очистка органических веществ	16
1.3.	Состав органических соединений	17
1.4.	Относительная плотность газов. Определение молярной массы газов	20
	<i>Расширение</i> Типы гибридизации атома углерода в органических соединениях	25
1.5.	Теория химического строения органических соединений	29
	<i>Расширение</i> Классификация органических веществ	33
	<i>Завершающая оценка знаний</i>	34
1.6.*	<i>Завершающая оценка знаний</i>	35
2.	УГЛЕВОДОРОДЫ – СОСТАВНАЯ ЧАСТЬ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ	37
2.1.1.	Предельные углеводороды – главные составляющие природного газа и нефти	38
2.1.2.	Алканы – насыщенные ациклические углеводороды	42
2.1.3.	Номенклатура алканов и их применение	44
2.1.4.	Химические свойства алканов и их применение	50
2.1.5.	Расчётные задачи по общей формуле алканов и уравнениям их реакций	55
	<i>Завершающая оценка знаний</i>	58
	<i>Расширение</i> Галогеноалканы (галогенопроизводные алканов)	59
2.1.6.*	Циклоалканы – насыщенные циклические углеводороды	62
2.1.7.*	Защита окружающей среды от загрязнений, образующихся при использовании природного газа, нефти и углянефти и угля	64
2.1.8.*	Определение углерода, водорода и галогенов в органических веществах. <i>Практическая работа № 1</i>	67
2.1.9.*	Расчётные задачи по общей формуле галогеноалканов, циклоалканов и уравнениям их реакций	68
2.1.10.*	<i>Завершающая оценка знаний</i>	71
2.2.	Ненасыщенные углеводороды	72
2.2.1.	Алкены	72
2.2.2.	Химические свойства алкенов	77
2.2.3.	Методы получения алкенов и их применение	80
2.2.4.	Пластические массы	84
2.2.5.	Расчётные задачи по общей формуле алкенов и уравнениям их реакций	88
2.2.6.	Алкадиены	90
2.2.7.	Состав и структура натурального и синтетического каучука	92
2.2.8.	Алкины	96
2.2.9.	Химические свойства алкинов	98
2.2.10.	Методы получения и применение алкинов	101
2.2.11.-		
2.2.12.*	Упражнения и расчётные задачи по общей формуле алкадиенов, алкинов и уравнениям их реакций	104
	<i>Завершающая оценка знаний</i>	108
2.2.13.*	<i>Завершающая оценка знаний</i>	109
2.3.	Ароматические углеводороды (арены)	110
2.3.1.	Бензол – представитель аренов	110
2.3.2.	Химические свойства бензола	114
2.3.3.*	Получение ароматических углеводородов и их применение	117
2.3.4.	Влияние ароматических углеводородов и их производных на окружающую среду и качество жизни	119
2.3.5.	Генетическая связь между углеводородами	123

2.3.6.	Расчетные задачи на основе реакции получения бензола и реакции характеризующие его	124
	<i>Завершающая оценка знаний</i>	127
2.3.7.	<i>*Завершающая оценка знаний</i>	128
3.	КИСЛОРОДСОДЕРЖАЩИЕ ПРОИЗВОДНЫЕ УГЛЕВОДОРОДОВ	129
3.1.	Гидроксисоединения	130
3.1.1.	Одноатомные насыщенные спирты	130
3.1.2.	Химические свойства спиртов	135
3.1.3.	Получение и применение спиртов.....	137
3.1.4.	Многоатомные спирты	141
3.1.5.	Фенол.....	145
3.1.6.	Идентификация гидроксилсодержащих соединений в продуктах, используемых в повседневной жизни. <i>Практическая работа № 2.</i>	151
3.1.7.-		
3.1.8.	Упражнения и расчетные задачи по уравнениям химических реакций, характерных для гидроксисоединений.....	152
3.1.9.	Генетическая связь гидроксильных соединений с другими классами органических веществ.....	156
	<i>Расширение Амины</i>	157
	<i>Завершающая оценка знаний</i>	164
3.1.10.*	<i>Завершающая оценка знаний</i>	165
3.2.*	Насыщенные карбонильные соединения	166
3.2.1.	Насыщенные монокарбонильные альдегиды.....	166
3.2.2.	Химические свойства и методы получения насыщенных карбонильных соединений	169
3.2.3.	Практическое применение карбонильных соединений и их влияние на качество жизни	174
3.2.4.	Расчётные задачи на вычисление по уравнениям химических реакций карбонильных соединений	176
3.2.5.	Генетическая связь между алканами, алкинами, спиртами и карбонильными соединениями	178
3.2.6.	<i>Завершающая оценка знаний</i>	180
3.3.*	Карбоновые кислоты	181
3.3.1.	Монокарбоновые насыщенные кислоты.....	181
3.3.2.	Химические свойства насыщенных монокарбоновых кислот.....	183
3.3.3.	Методы получения насыщенных монокарбоновых кислот и их применение ...	186
	<i>Расширение Практическое применение карбоновых кислот других типов</i>	190
3.3.4.-		
3.3.5.	Упражнения и расчетные задачи по уравнениям химических реакций карбоновых кислот	193
3.3.6.	Изучение свойств уксусной кислоты. <i>Практическая работа № 3</i>	196
3.3.7.	Сложные эфиры – функциональные производные карбоновых кислот	197
3.3.8.	Упражнения и расчетные задачи по уравнениям химических реакций, характерных для сложных эфиров.....	202
3.3.9.	Генетическая связь между карбоновыми кислотами, сложными эфирами и другими классами органических соединений	204
3.3.10.	<i>Завершающая оценка знаний</i>	206
4.	ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА В ЖИЗНИ И ПОВСЕДНЕВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ	207
4.1.	Генетическая связь между углеводородами и классами органических веществ	208
4.2.	Углеводороды и их производные в свете повседневного применения.....	211
4.3.	Практическое применение реакций идентификации производных углеводородов.....	216
4.4.	Обобщение теоретических знаний и их практическое применение	219
	<i>Упражнения и задачи для обобщения знаний по органической химии</i>	220
	ПРИЛОЖЕНИЯ	221

От авторов

Учебник, который ты только что раскрыл, позволит тебе расширить и углубить свои познания в **органической химии** – одном из основных разделов химии.

Огромный запас сведений, накопленный органической химией за время ее развития, позволяет решать разнообразные проблемы, которые перед ней стоят.

Однако, разобраться в этом запасе знаний, раскрыть для себя все «секреты» современной органической химии сможет лишь тот, кто в совершенстве овладел языком, понятным любому химику, – языком химических формул и уравнений химических реакций.

Учебник написан в соответствии с требованиями Куррикулума по химии для лицеев. Педагогический опыт, накопленный нами в преподавании химии учащимся лицеев и университета, позволил нам выбрать метод изложения – доступный и по-научному точный, без излишних упрощений. Только такой метод, по нашему глубокому убеждению, способствует наиболее полному усвоению и закреплению знаний при изучении органической химии. При этом изучение некоторых тем, касающихся номенклатуры органических соединений, отношений структура-свойства, внутримолекулярных электронных взаимодействий и др., служит основой для изложения органической химии как реальной науки и для стимулирования логического мышления будущего исследователя, преподавателя или инженера-химика.

Материал, изложенный в учебнике, сгруппирован в 4 разделах. Каждый раздел имеет титульный лист, в котором кратко представлено его содержание, а также указаны те субкомпетенции, которые должны быть развиты.

При рассмотрении классов органических соединений мы придерживались следующего порядка изложения: определение и классификация, номенклатура и изомерия, структура и реакционная способность, лабораторные и промышленные методы синтеза, химические свойства и применение. Названия органических соединений соответствуют рекомендациям номенклатуры IUPAC.

Каждая глава, в зависимости от ее сложности, содержит различные рубрики – **Задание (упражнения)**, **Лабораторный опыт**, **Расчетные задачи**, **Знаешь ли ты, что ...**, **Работа в группе**, **Творческое задание**, **Творческая задача**, **Вопросы и задачи для самопроверки** (после каждой изученной темы), которые должны облегчить усвоение излагаемого материала.

Демонстрационные опыты, порядок проведения которых следует строго соблюдать, может проводить перед классом один из учеников, группа учеников или преподаватель.

Три практические работы, завершающие некоторые темы или главы, предназначены для закрепления знаний и для оценки их усвоения учениками.

Разделы 2 и 3 содержат рубрики **Повтори и закрепи свои знания** со схемой, обобщающей основные методы получения и химические свойства соединений данного класса.

Рубрика **Завершающая оценка знаний** предназначена для проверки теоретических знаний, усвоенных учениками и соответствующих Куррикулуму. Задания в них представлены в двух вариантах (на усмотрение преподавателя, в зависимости от уровня подготовки учеников). Знак „*” имеют рубрики для реального профиля.

Рубрики **Расширение** и **Это интересно** предлагают вниманию одаренных учеников дополнительные сведения об изучаемом предмете. Эти сведения не обязательны для запоминания или оценивания, они помогают ученикам, увлекающимся химией, узнать что-то новое по данной теме.

Надеемся, что этот учебник поможет тебе на трудном, но интересном пути познания тайн мира органических соединений.

Обозначения рубрик и символов:

* – Задания, обязательные для учащихся реального профиля.

§ – Дополнительный материал для учеников, интересующихся химией (не для оценивания).

⊙ – Вопросы, для ответа на которые, ученик должен вспомнить усвоенное ранее.

Задание – упражнения для немедленного выполнения. Эти упражнения должны помочь ученику сконцентрировать свое внимание, направить его на наблюдение, сравнение, поиск и обнаружение нового в прочитанном; они облегчают усвоение новых знаний.

Лабораторный опыт – экспериментальное подтверждение того, что излагает учитель, а также теоретических выводов, сделанных ранее.

Текст, выделенный цветом – определения, которые нужно запомнить.

Расширение и Это интересно – дополнительные сведения для учеников реального профиля (не оцениваются).

Знаешь ли ты, что ... – любопытная информация, которая пробуждает интерес ученика к прочитанному, стимулирует активное усвоение данной темы.

Вопросы для самопроверки – задания для самостоятельной проверки учениками своих знаний по каждой пройденной теме (для классной или домашней работы).

Завершающая оценка знаний – проверка знаний, усвоенных при изучении данного раздела (по два варианта для двух профилей).

Повтори и закрепи свои знания – обобщение методов получения и химических превращений, характерных для класса соединений, описанного в данной главе.



ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ

Раздел

1



А. Бутлеров



Д. Менделеев

В этом разделе ты познакомишься с историей становления органической химии как науки и узнаешь о ее основных понятиях. Ты уже знаешь, что в основе изучения неорганических соединений лежит Периодический закон Д. И. Менделеева и Периодическая система химических элементов. Сейчас тебе предстоит узнать, что современная органическая химия стоит на крепчайшем фундаменте – Теории химического строения органических соединений, которую создал А. М. Бутлеров, и которая служит надежным компасом в изучении органических соединений. Ядром этой теории является представление о том, что свойства органических соединений определяются способом соединения атомов в их молекулах.

Принципы этой теории, которые ты усвоишь, послужат тебе путеводителем в изучении всего курса органической химии. Ты узнаешь, что органические соединения, число которых огромно, существуют благодаря свойству атомов углерода соединяться друг с другом в цепочки (линейные и разветвленные) практически неограниченной длины и разнообразия. Тебе необходимо знать, что углубленное изучение природы вещества, понимание пространственного расположения атомов в молекулах, знание электронной структуры химической связи помогут тебе сформировать собственный взгляд на объективные законы микромира, на сущность химических превращений и на материальное единство мира органических и неорганических соединений.

Субкомпетенции :

Изучив данный раздел, ты сможешь:

- выразить собственное мнение о влиянии органических соединений на качество жизни, о необходимости изучения органических соединений;
- отличать органические вещества от неорганических;
- сформулировать основные положения теории строения органических соединений, важность этой теории и понятия «изомер», «изомерия»;
- дать определение понятиям: органическое вещество, органогенные элементы, химическая структура, углеродные цепи;
- охарактеризовать углерод по его месту в Периодической системе, распределение электронов по уровням в основном и возбужденном состояниях, формы электронных облаков s и p ;
- указать причины разнообразия органических соединений;
- *узнать способы определения качественного и количественного состава органических веществ;
- решать расчетные задачи на установление эмпирической и молекулярной формул органических соединений.

1.1.

Органические вещества в жизни современного человека

В древние времена человек использовал в повседневной жизни природные органические вещества (дерево, шкуры животных, растительные продукты). В течение тысячелетий человечество постепенно научилось перерабатывать природные вещества в полезные продукты – дубить шкуры, извлекать из растений и животных лечебные мази, бальзамы, яды, получать из жиров мыло, извлекать сахар из свеклы и сахарного тростника, извлекать природный каучук из природных источников, использовать уголь, нефть и природный газ.

В настоящее время химики могут не только изменять свойства природных веществ, они могут синтезировать новые вещества, которые в природе не встречаются.

Органический синтез – это многостадийный химический процесс, в результате которого из несложных исходных веществ получают продукты, имеющие сложное строение.

В настоящее время количество синтетических органических веществ намного больше, чем продуктов, получаемых из природных источников. Это медикаменты, красители, пластмассы, взрывчатые вещества и др.

Органические вещества, получаемые из природных источников, называются **природными**, а полученные с помощью синтеза – **синтетическими**.

Современная органическая химия изучает как природные, так и синтетические вещества – их строение, методы получения, свойства, возможное практическое применение.

Химия органических веществ является дисциплиной, которая в последнее время стремительно развивается.

Важность изучения органической химии

Знание органической химии помогает понимать мир, в котором мы живем.

Основная цель практической химии – это использование химических веществ для блага человека.

В настоящее время, когда почти все страны ставят на первый план интенсивное развитие земледелия, увеличение производства сельскохозяйственной продукции, знание органической химии для тех, которые работают в области земледелия, лесоводства и биологии, является первостепенной необходимостью.

В земледелии высокий урожай при минимальных затратах не может быть получен без использования удобрений, многочисленных средств для борьбы с сорняками, болезнями и вредителями. Все это делается с целью уничтожения всего, что вредит культурным растениям. Гербициды и инсектициды являются органическими веществами, которые принадлежат к разным классам: толуидины, хлорпроизводные, нитрофенолы, полихлорфенолы и др. Кроме того, все эти продукты должны полностью исчезать через некоторое время или оставаться в очень малых количествах, не на-



капливаться в почве, а продукты их разложения не должны быть ядовитыми.

В итоге, все эти требования не выполняются и таким образом в воздухе, воде, почве и сельхозпродуктах обнаруживаются токсичные вещества. Некоторые гербициды при разложении образуют продукты, которые в иных случаях сохраняются в почве 8–10 лет. Растворимые в воде вещества просачиваются сквозь почву и попадают в подпочвенные воды и даже в родники. Влияние этих веществ на физиологию заметно ощущается не всегда, однако их накопление приводит к хроническим заболеваниям, и таким образом сказывается на качестве жизни.

Вследствие этого, для решения актуальных задач современного земледелия необходимо углубленное изучение влияния загрязнений органическими веществами.

Только знание органической химии может внести свой вклад в решение неотложных задач, связанных с интенсивной химизацией земледелия и загрязнением окружающей среды органическими веществами. Загрязнения – это большая проблема человечества.

Какова связь между органической химией и качеством жизни?

В настоящее время современные науки влияют на все области человеческой деятельности.

Роль органического синтеза в этом процессе широко известна. Роль органической химии в жизни человека тоже огромна. Существование жизни на Земле основывается на органических реакциях, которые протекают на молекулярном уровне в живом организме. С другой стороны, продукты промышленного органического синтеза делают нашу жизнь более легкой, более удобной и привлекательной.

Трудно представить себе нашу повседневную жизнь без пластмасс (рис. 1.1, а), без каучука, из которого делают скаты для автомобилей и самолетов (рис. 1.1, б), без прочных синтетических тканей (рис. 1.1, в), без продуктов для гигиены и косметики (рис. 1.1, г), без топлива, без веществ для защиты растений (рис. 1.1, д).

Неизвестно, как можно было обходиться без медикаментов (рис. 1.1, е), без разных пластмасс, из которых делают заменители костей зубов, суставов. Все они изготавливаются из продуктов промышленной органической химии.

1.2.

Разнообразие органических соединений. Органические и неорганические вещества

III A	IV A	V A	VIA	VII A
5 B	6 C	7 N	8 O	9 F
13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl
33 Ga	34 Ge	35 As	36 Se	37 Br
49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I

Рис 1.2. Положение органогенных элементов в Периодической системе.

В IX-м и X-м классах ты узнал, что кроме неорганических веществ существуют вещества, в составе которых наряду с другими элементами обязательно входит углерод. Такие вещества были названы **органическими веществами**. Именно они являются предметом изучения органической химии.

Известно, что все органические вещества являются соединениями углерода, однако, не все соединения углерода – это органические вещества. Некоторые вещества, такие как: оксиды углерода (CO и CO_2), угольная кислота (H_2CO_3) и его соли – карбонаты, карбиды металлов (Al_4C_3 , CaC_2) и др. являются неорганическими веществами.

Изучение химического состава веществ, выделенных из животных или растений (муравьиная, щавелевая, лимонная и др. кислоты), показало, что они существенно отличаются от минеральных веществ (которые были уже известны или были получены еще алхимиками). Было установлено, что в состав органических веществ, кроме углерода, входят чаще всего атомы небольшого числа других элементов: **водорода, кислорода, азота, галогенов, серы и фосфора**. Эти элементы называли **органогенными** (рис. 1.2). Среди них особо выделяется водород – он оказывается связанным с углеродом почти во всех органических веществах. Из этого можно сделать вывод, что водород в составе органических веществ играет такую же важную роль как и углерод.

В самом деле, известно огромное число органических веществ, в состав которых входит только углерод и водород и называющихся **углеводородами**. Органические соединения, содержащие кроме углерода и водорода и другие элементы, могут быть рассмотрены как производные углеводородов, получаемые при замещении одного или большего числа атомов водорода атомами других органогенных элементов. Это позволило немецкому химику К. Шорлеммеру дать в 1889 г. следующее определение органической химии:



Карл Шорлеммер
(1834–1892)
Немецкий химик.
Основатель химии
углеводородов

Органическая химия – это химия углеводородов и их производных.

Это определение не отделяет органическую химию от неорганической. В то же время, разделение органической химии и неорганической основано на важном фактическом материале. Упомянем здесь только некоторые из этих фактов:

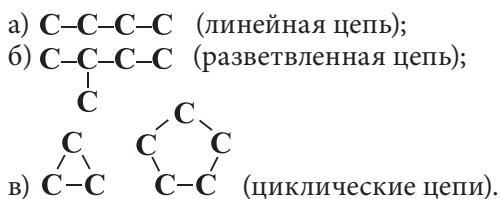
- а) многочисленность органических соединений (ок. 20 млн.);
- б) большое разнообразие органических соединений;
- в) особенные свойства органических соединений;
- г) большое практическое значение соединений углерода в развитии промышленности и экономики.

Особые свойства органических соединений

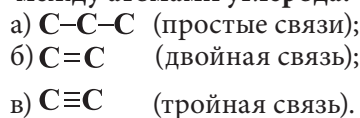
На первый взгляд, кажется неожиданным тот факт, что органические соединения, имеющие в составе лишь несколько элементов (C, H, O, N, S, Гал, Р), более многочисленны, чем соединения других элементов (ок. 20 млн. против 900 тыс.). Каждый год ученые открывают около 200 тыс. новых органических соединений.

Такое большое число органических соединений существует благодаря особому свойству атомов углерода соединяться между собой, образуя цепочки или циклы из большого числа атомов. Связи между атомами при этом могут быть разных типов.

Примеры углеродных цепей:



Примеры типов связей между атомами углерода:



Атомы углерода могут соединяться и с атомами органогенных элементов. Поэтому существуют соединения, называемые производными углеводородов. Они образуют различные классы органических соединений (таблица 1.1).

Таблица 1.1. Углеводороды и их производные

Тип углеводорода	Производные углеводородов (классы органических соединений)	Общая формула
Алканы Циклоалканы Алкены Алкадиены Алкины Арены	Галогенопроизводные	R-X ($\text{X}=\text{Cl}, \text{Br}, \text{I}, \text{F}$)
	Спирты, фенолы	$\text{R-OH}, \text{Ar-OH}$
	Нитросоединения	R-NO_2 ,
	Амины	$\text{R-NH}_2, \text{Ar-NH}_2$,
	Альдегиды, кетоны	$\text{R-CH=O}, \text{R-CO-R}$
	Карбоновые кислоты	R-COOH
	Сложные эфиры	R-COOR

R, Ar – углеводородные остатки.

Общие формулы показывают, что углеводороды являются базовыми соединениями, а их производные составляют все классы органических соединений. Они содержат атомы или группы атомов других органогенных элементов (функциональные группы).

Чтобы охарактеризовать органическое вещество, недостаточно указать его состав (молекулярную формулу), так как, за редким исключением, существует ряд соединений, имеющих одинаковую молекулярную формулу и отличающихся по свойствам. *Органические вещества, имеющие одинаковую молекулярную формулу, но разные свойства, называются изомерами.*

Например, известны два изомерных вещества с формулой $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$: одно жидкое – этиловый спирт, другое – газообразное – диметиловый эфир.

Изомерия является одной из причин разнообразия органических соединений. Всегда можно составить новое расположение и порядок связей атомов в молекуле, которая будет принадлежать новому органическому веществу.

Многочисленными опытами доказано, что органические и неорганические вещества подчиняются одним и тем же физическим и химическим законам. В то же время, между ними имеются и существенные различия (таблица 1.2).

Таблица 1.2. Основные различия между органическими и неорганическими веществами

Органические вещества	Неорганические вещества
■ Образованы ковалентными связями или имеют преимущественно ковалентный характер. ■ Лишь немногие из них растворимы в воде, и еще меньше среди них электролитов. ■ Имеют сравнительно низкие температуры плавления и кипения, большинство из них жидкие при обычной температуре. ■ Имеют плотность ≈ 1. ■ Легко разлагаются при нагревании, очень немногие выдерживают температуры выше 500°C. ■ Практически все способны гореть. ■ Реакции с их участием идут медленно, обратимо и не до конца.	■ Чаще всего образованы полярными ковалентными связями или имеют преимущественно ионный характер. ■ Большинство из них растворимы в воде и являются электролитами. ■ Имеют повышенные температуры плавления и кипения, большинство из них кристаллические. ■ Имеют различную и, как правило, высокую плотность. ■ Как правило, имеют высокую термическую устойчивость. ■ Очень немногие способны гореть. ■ Реакции неорганических веществ протекают быстро и часто необратимо.

Существенные различия свойств и реакционной способности органических и неорганических соединений сделали необходимой разработку специальных методов исследования органических соединений. Органические соединения широко применяются в промышленности и других отраслях экономики страны. Постоянно растущие запросы промышленности, агрономии, медицины, биологии и др. делают необходимым дальнейшее развитие органической химии.

Всё вышесказанное говорит о разделении химии на **неорганическую** и **органическую**.



ЛАБОРАТОРНЫЙ ОПЫТ

Опыт выполняется под тягой!

Горение органических соединений (спирт, парафин, целлюлоза)

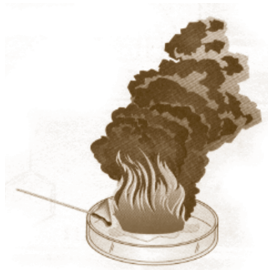


Рис. 1.3. Горение некоторых органических соединений.

1. Внеси в 3 фарфоровые пронумерованные чашки следующие вещества:
 - I. 1 мл 96%-го этилового спирта (медицинского);
 - II. небольшой (с кукурузное зерно) кусочек парафина;
 - III. несколько кусочков фильтровальной бумаги или вату.
2. Подожги с помощью спички содержимое чашек (рис. 1.3).
3. Наблюдай как горят эти вещества (цвет пламени, образование дыма).
4. После полного сгорания **исследуй** содержимое каждой чашки.
5. **Сформулируй** свои выводы.
6. **Ответь** на вопросы:
 - а) почему в чашках I и II ничего не осталось?
 - б) почему в чашке III имеется остаток от горения?

История развития органической химии

«Органическая химия является наукой обособленной настолько, что когда химик, изучавший неорганические вещества, переходит к изучению органических веществ, он вступает в область совершенно новую».

Якоб Берцелиус



**Якоб Берцелиус
(1779–1848)**

Знаменитый шведский химик, автор первого учебника по органической химии (1827).



**Фридрих Вёлер
(1800–1882)**

Немецкий химик. Выполнил ряд выдающихся исследований в органической химии.



Исследовательская лаборатория (1820 г.).

Термин **органическая химия** ввел в 1808 году шведский химик Якоб Берцелиус. Так он назвал раздел химии, который занимался изучением веществ, образующихся в живых организмах, как растительных, так и животных, и названных поэтому органическими веществами. Органические вещества отличались от неорганических, выделяемых из различных минералов. В то время была широко распространена виталистическая теория, согласно которой органические соединения могут образовываться только в живых организмах под действием особой, так называемой «жизненной силы». Многие видные ученые того времени были сторонниками этой теории. Считалось, что органические соединения невозможно синтезировать из неорганических веществ вне живого организма, в условиях лаборатории. Виталистическая теория оказала отрицательное влияние на развитие органической химии, удерживая химиков от попыток синтезировать органические вещества в лаборатории. Первый удар по виталистической теории нанесли знаменитые опыты немецкого химика Ф. Вёлера. В 1828 году он обнаружил, что при выпаривании при 100°C водного раствора неорганической соли – цианата аммония, получается органическое вещество – мочеви́на:



Цианат аммония

Мочевина

Синтез мочевины показал возможность получения искусственных органических соединений, ознаменовал начало новой эпохи в химии, эпохи органического синтеза. Он послужил толчком к новым открытиям в этой области, из которых упомянем следующие:

- синтез анилина русским химиком Н.Н. Зининым в 1842 г.;
- синтез уксусной кислоты немецким химиком Г. Кольбе в 1845 г.;
- синтез жиров и этилового спирта французским химиком М. Бертло в 1854 г. и им же в 1857 г. – метилового спирта, и в 1862 г. – ацетилена;
- синтез углеводов русским химиком А.М. Бутлеровым в 1861 г.

После этих открытий органическая химия начала бурно развиваться и ее достижения показали, что законы химии справедливы не только для неорганических веществ, но и для органических.

Знаешь ли ты, что ...

Синтез органических соединений развивается очень быстро: в 1880 г. их число составляло 12 000; в 1910 г. – 150 000; в 1940 г. – 500 000; в 1980 г. – свыше 4,5 миллионов, а в 2014 г. – около 18 миллионов соединений.

Источники органического вещества на Земле

Доступные человеку органические вещества распространены повсюду: на поверхности Земли (биосфера) – различные высшие растения и животные; в воде (гидросфера) – низшие растения, животные, планктон; в недрах Земли (литосфера) – залежи угля, нефти, а также природный газ.

Из курсов биологии и неорганической химии ты узнал о круговороте углерода в природе, в ходе которого образуются и расходуются органические вещества. В процессах окисления, к которым относится и дыхание животных, органические вещества претерпевают ряд превращений, конечными продуктами которых являются оксид углерода (IV) и вода.

В зеленых частях растений, в присутствии воды и под действием солнечного света, оксид углерода (IV) преобразуется в необходимые растениям органические вещества (углеводы, белки, жиры). Одним из продуктов при этом является газообразный кислород, который растения выделяют в окружающий воздух. Этот процесс называется *фотосинтезом* и упрощённо его можно записать следующим образом:



В действительности, процесс фотосинтеза протекает намного сложнее. Он регулируется особыми белками – ферментами. Его главным катализатором является хлорофилл – зеленый пигмент растений.

Главную часть синтезированных соединений растения используют для своего роста и развития. Этими растениями в дальнейшем питаются животные. В животном организме органические вещества растений перерабатываются в другие вещества, нужные животному для жизни и развития. Часть органических соединений, полученных с пищей, в животном организме расходуется как строительный материал для новых клеток, другая часть окисляется (с выделением энергии) до оксида углерода (IV) и воды, которые животное выделяет в окружающую среду. Так замыкается цикл превращений соединений углерода (рис. 1.4).

Кроме тех органических соединений, которые вырабатываются в процессе фотосинтеза, люди используют также различные органические полезные ископаемые: уголь, нефть и природные газы.

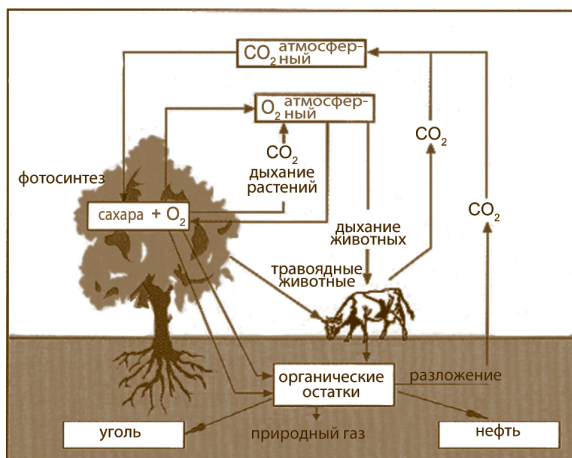


Рис. 1.4. Круговорот углерода в природе и образование органического вещества.

Органические вещества, добываемые в больших количествах из шахт или с помощью зондов, являются основным сырьем химической промышленности, которое затем превращается в различные готовые продукты, полезные для человека.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. **Укажи** предмет органической химии.
2. **Назови** и охарактеризуй органогенные элементы по их месту в Периодической таблице.
3. **Выбери** органические соединения из следующих веществ:
а) CO_2 ; б) CH_4 ; в) $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$; г) CH_3Cl ; д) CaC_2 ;
е) CH_3OCH_3 ; ж) HCOOH ; з) H_2CO_3 ; и) Al_4C_3 ; к) $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$.
4. **Дай определение** понятию «органическая химия», сформулированному Я. Берцелиусом.
5. **Объясни:**
а) в чем причина большого разнообразия органических соединений;
б) первоначальное значение термина «органическая химия»;
в) сущность виталистической теории;
г) какая реакция положила начало новой эре в развитии органической химии.
6. **Назови** авторов и их открытия, опровергнувших виталистическую теорию.
7. **Заполни** свободные места:
А. Углеводороды образованы двумя элементами
Б. Число органических соединений очень благодаря особым свойствам атомов элемента
В. Валентность углерода в органических соединениях равна
Г. Химические элементы, чаще всего входящие в состав органических веществ, называются
8. **Назови** источники органических веществ на Земле.
9. **Укажи**, чем отличаются природные соединения от синтетических. Приведи примеры.
10. **Объясни**, почему молекулярные формулы недостаточны для характеристики органического вещества.
11. **Составь** эссе о круговороте углерода в природе.

Работа в группе Заполните таблицу, показывающую отличия органических веществ от неорганических (каждый ученик приводит конкретный пример различия).

Характеристики	Соединения	
	органические	неорганические
1. Число известных соединений (причина)		
2. Химический состав (виды атомов)		
3. Кратность связей (простые, двойные, тройные)		
4. Типы химических связей		
5. Агрегатное состояние, летучесть, воспламеняемость		
6. Термическая устойчивость (горение)		
7. Растворимость в воде		
8. Существование изомерии		

РАСШИРЕНИЕ

Разделение и очистка органических веществ

***Выделение и очистка органических веществ**

Изучение органического вещества начинают с установления его состава. Однако, перед этим нужно удалить из вещества все примеси для того, чтобы вещество стало химически чистым, состояло из молекул одного типа. С этой целью вещество подвергают очистке.

Выделение и очистку органических веществ можно проводить различными методами. В лабораторной практике чаще всего применяют следующие: перекристаллизацию, возгонку, перегонку и экстракцию.

Перекристаллизацию применяют для выделения и очистки твёрдых веществ. Она основана на различной растворимости компонентов смеси в каком-либо растворителе при температуре его кипения. Из полученного насыщенного раствора при охлаждении выкристаллизовывается чистое вещество. Кристаллы отделяют от раствора фильтрованием при пониженном давлении (рис. 1.5).

Возгонка основана на явлении сублимации – свойстве некоторых твёрдых веществ при нагревании переходить в газообразное состояние минуя жидкое. Пары вещества при охлаждении конденсируются, образуя кристаллы более чистые, чем исходное вещество (рис. 1.6).

Экстракция применяется для разделения жидких или твёрдых веществ в тех случаях, когда компоненты смеси сильно отличаются по растворимости в каком-либо растворителе. Её осуществляют с помощью делительных воронок (рис. 1.7).

Перегонка применяется для разделения, как правило, жидких смесей веществ, имеющих различные температуры кипения. Установка для перегонки показана на рис. 1.8.

Степень чистоты органических веществ определяют путем измерения некоторых их характеристик, называемых **физическими константами**. К ним относятся **температура плавления, температура кипения, показатель преломления** и др. Значения этих констант для различных веществ приведены в химических справочниках.

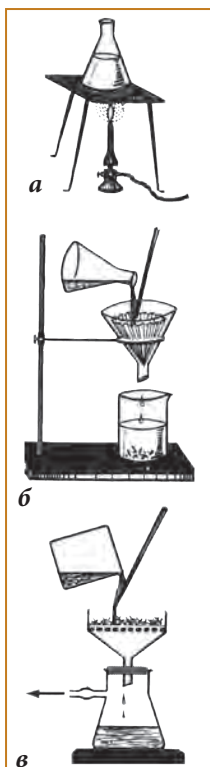


Рис. 1.5.
Действия при кристаллизации:
а – растворение вещества; б – фильтрование горячего раствора; в – фильтрование кристаллов под вакуумом.



Рис. 1.6.
Приборы для возгонки.

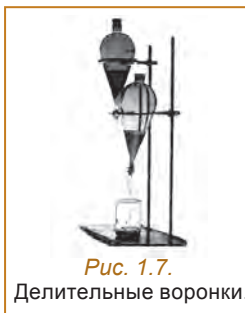


Рис. 1.7.
Делительные воронки.



Рис. 1.8.
Установка для перегонки.

1.3.*

Состав органических соединений

Органические соединения, образовавшиеся в природных условиях или синтезированные в лаборатории, чаще всего находятся в виде смесей. Для выявления и изучения свойств вещества требуется его выделение и очистка, потому что только химически чистое вещество (состоящее из молекул одного и того же типа) обладает постоянными физико-химическими свойствами. Для этого используются различные физические приемы и методы (см. стр. 16).

Идентифицировать и определять химический состав можно только для химически чистого вещества.

Качественный элементный анализ

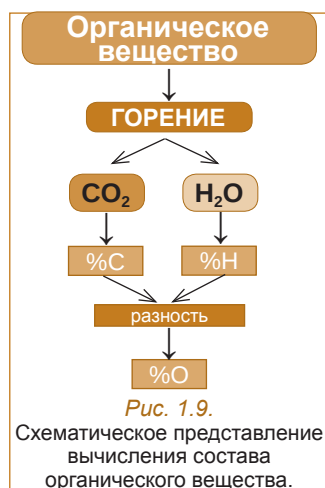
Качественный элементный анализ устанавливает природу атомов, присутствующих в органическом веществе. Небольшое количество хорошо высушенного (почему?) вещества смешивают с оксидом меди (II) CuO и нагревают до высокой температуры. Углерод и водород вещества при этом окисляются до оксида углерода (IV) и воды:



Для определения других органогенных элементов (азота, серы, галогенов) пробу вещества прокалывают с металлическим натрием. При этом образуются неорганические соединения, которые легко определить характерными реакциями (таблица 1.3).

Таблица 1.3. Качественные реакции на углерод, водород, галогены

Элемент	Качественная реакция
Углерод	$\text{CO}_2 + \text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{H}_2\text{O}$
Водород	$\text{CuSO}_4 + 5\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ Безводный (белый) Кристаллогидрат (синий)
Галоген	$2\text{CHCl}_3 + 5\text{CuO} \rightarrow \underbrace{\text{CuCl}_2 + 4\text{CuCl}}_{\text{пламя зеленого цвета}} + 2\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ (проба Бейльштейна)

**Количественный элементный анализ**

Метод количественного определения углерода и водорода в органическом веществе, состоящем из углерода, водорода, возможно, кислорода, обычно основан на тех же реакциях, что и качественный элементный анализ.

Если вещество содержит другие органогенные элементы, то кроме сжигания используются иные методы, с помощью которых их определяют количественно. Кислород определяется по разности между 100 и суммой массовых долей остальных элементов, выраженной в процентах (рис. 1.9).

По результатам качественного и количественного анализов определяется природа и численное содержание атомов в молекуле, а главное – химическая формула органического вещества. Она выражает сокращенное описание простого или сложного вещества с использованием символов. Для органических веществ известно несколько типов формул: эмпирическая или **брутто**, **молекулярная** и **структурная**.

Эмпирическая формула показывает природу элементов, присутствующих в веществе, и самое простое соотношение чисел атомов элементов в его молекуле.

Примеры: CH ; CH_2O ; CHCl .

Существует много веществ, имеющих одинаковую эмпирическую формулу (Э. ф.). Поэтому её нельзя применять как характеристику физических и химических свойств вещества. Для этого служит молекулярная формула (М. ф.).

Молекулярная (реальная) формула показывает природу атомов и их реальное число в молекуле вещества.

Примеры: $(\text{CH}_2\text{O})_6$; $(\text{CH}_2\text{O})_2$; $(\text{CH}_2)_5$.

Она может быть идентичной эмпирической формуле или быть в целое число раз кратной ей, то есть $\text{М. ф.} = (\text{Э. ф.}) \cdot n$. Молекулярную формулу иногда называют брутто-формулой.

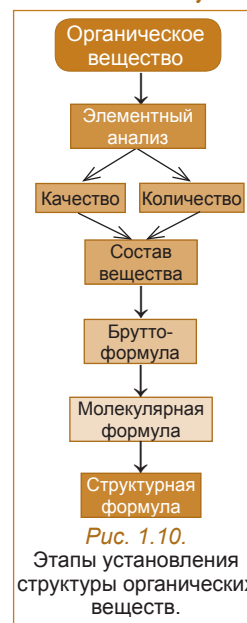
Для установления молекулярной формулы кроме эмпирической формулы нужно знать молекулярную массу вещества, потому, что $n = \frac{M_r(\text{М. ф.})}{M_r(\text{Э. ф.})}$.

Молекулярную массу чаще всего указывают в условии задачи или определяют экспериментально.

Определять молекулярную формулу необходимо, но недостаточно, т.к., известно много веществ с одной и той же молекулярной формулой, но с разными свойствами. Они называются изомерами. Поэтому, необходимо устанавливать структурную формулу. Структурная формула показывает последовательность связей атомов в молекуле.

Каждое органическое вещество имеет строго определенную структуру.

Зная структурную формулу, можно установить химические свойства и наоборот.



ЛАБОРАТОРНЫЙ ОПЫТ

Определение углерода и водорода в сахаре

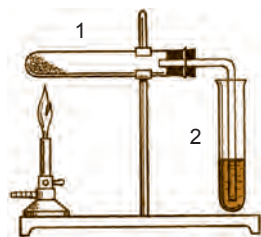


Рис. 1.11. Определение С и Н в сахаре.

1. **Собери** установку согласно рисунку 1.11.
2. **Внеси** в сухую пробирку 1 примерно 0,5 г смеси сахара и CuO (1:1). Закрой пробирку пробкой со стеклянной трубкой для выделения газов, а конец трубки введи в другую пробирку (2) с 0,5 мл прозрачного раствора $\text{Ca}(\text{OH})_2$.
3. **Осторожно нагревай** в пламени горелки содержимое пробирки 1. Выделяющийся газ барботируется в раствор известковой воды.
4. **Наблюдай** появление белого осадка в пробирке 2 и капель воды на стенках пробирки 1.
5. **Объясни** наблюдения и запиши уравнения протекающих реакций (см. стр. 17).

Примеры решений задач**I. Установление эмпирической и молекулярной формул по массовым долям элементов в веществе.****Задача 1**

Количественным элементным анализом установлено, что органическое вещество содержит 52,17% С, 13,05% Н и 34,78% О. Молекулярная масса вещества равна 46. Установите эмпирическую и молекулярную формулы вещества.

Дано:

$$\omega(\text{C}) = 52,17\%$$

$$\omega(\text{H}) = 13,05\%$$

$$\omega(\text{O}) = 34,78\%$$

$$M(\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z) = 46 \text{ г/моль}$$

$$\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z - ?$$

Решение:

1. Обозначим через x, y, z числа атомов в молекуле вещества $\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z$.

2. Определим x, y, z делением масс элементов на соответствующие атомные массы (для удобства будем считать массу пробы вещества равной 100 г, тогда массы элементов будут равны их массовым долям).

$$\text{Пример: } m(\text{C}) = \frac{\omega(\text{C})\% \cdot 100}{100\%} \rightarrow m(\text{C}) = \omega(\text{C})$$

$$\text{Отсюда, } x:y:z = \frac{m(\text{C})}{M(\text{C})} : \frac{m(\text{H})}{M(\text{H})} : \frac{m(\text{O})}{M(\text{O})} = \frac{52,17 \text{ г}}{12 \text{ г/моль}} : \frac{13,05 \text{ г}}{1 \text{ г/моль}} : \frac{34,78 \text{ г}}{16 \text{ г/моль}} = 4,35 : 13,05 : 2,17$$

3. Разделим каждую величину на наименьшую из них, т. е. на 2,17.

$$\text{Получим: } x : y : z = 2 : 6 : 1$$

4. Запишем простейшую формулу: $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ (эмпирическая формула).

5. Вычислим молекулярную массу вещества по найденной эмпирической формуле:

$$M_r(\text{Э.ф.}) \text{C}_2\text{H}_6\text{O} = 2 \cdot 12 + 6 \cdot 1 + 1 \cdot 16 = 46 \quad M = 46 \text{ г/моль}$$

6. Сравним это значение с экспериментальным значением молекулярной массы. Можем сделать вывод, что эмпирическая формула $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ в то же время является и молекулярной формулой вещества, так как множитель „ n ” равен 1.

От в е т: молекулярная формула органического вещества $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$.

II. Установление эмпирической и молекулярной формул по отношению масс элементов в веществе.**Задача 2**

В молекуле органического вещества массы углерода и водорода относятся как 6:1. Молярная масса вещества равна 56 г/моль. Установите эмпирическую и молекулярную формулы вещества.

Дано:

$$m(\text{C}):m(\text{H}) = 6:1$$

$$M = 56 \text{ г/моль}$$

$$\text{C}_x\text{H}_y - ?$$

Решение:

1. Обозначим через x и y числа атомов в молекуле вещества C_xH_y .

2. Вычислим эмпирическую формулу по отношению масс:

$$x:y = \frac{m(\text{C})}{M(\text{C})} : \frac{m(\text{H})}{M(\text{H})} = \frac{6}{12} : \frac{1}{1} = 0,5 : 1 = 1 : 2$$

Значит, эмпирическая формула – CH_2 , а молекулярная – $(\text{CH}_2)_n$; $M_r(\text{CH}_2) = (12 + 2) = 14$.

3. Определим множитель n из соотношения $n = \frac{M_r(\text{М.ф.})}{M_r(\text{Э.ф.})} = \frac{56}{14} = 4$.

Значит, молекулярная формула: $(\text{CH}_2)_4 = \text{C}_4\text{H}_8$.

От в е т: молекулярная формула вещества C_4H_8 .

1.4.

**Относительная плотность газов.
Определение молярной массы газов**☉ **Что является относительной плотностью газов?**

Относительная плотность газов показывает, во сколько раз один газ тяжелее или легче другого газа. Для определения относительной плотности (D) одного газа относительно другого необходимо взять равные объемы этих газов в одних и тех же условиях (температура, давление) и взвесить их.

Согласно закону Авогадро, в этих двух объемах газов в одинаковых условиях (т., д.) содержится одинаковое число молекул, отличающихся по массе.

Допустим, что имеются 2 газа (1) и (2), имеющих одинаковые объемы $V_1 = V_2$. Масса первого газа равна m_1 , а второго m_2 . Относительная плотность вычисляется по формуле:

$$D = \frac{m_1}{m_2}.$$

Отношение масс равных объемов двух газов в одинаковых условиях называется относительной плотностью одного газа по отношению к другому.

Если объемы газов равны, то и число молекул тоже равно.

Из формулы $n = \frac{m_1}{M_1}$ следует что $m_1 = n \cdot M_1$; $m_2 = n \cdot M_2$.

Значит, $D = \frac{n \cdot M_1}{n \cdot M_2}$ или $D = \frac{M_1}{M_2}$, значит $M_1 = D \cdot M_2$.

Следовательно, относительная плотность одного газа по отношению к другому равна отношению их молярных масс.

Пользуясь этой формулой, можно вычислить молярную массу любого газа, если известна его относительная плотность по отношению к другому газу, молярная масса которого известна.

Обычно относительная плотность газа определяется по отношению к водороду, $D(H_2)$ или воздуху $D(возд.)$. Принимая во внимание, что молярная масса водорода $M(H_2)$ равна 2 г/моль, а воздуха $M(возд.)$ 29 г/моль, получаем

$M = 2 \text{ г/моль} \cdot D(H_2)$ и $M = 29 \text{ г/моль} \cdot D(возд.)$.

Относительная плотность является безразмерной величиной, в отличие от реальной плотности газа, которая измеряется в г/см³.

☉ **Что представляет собой плотность газа в реальных условиях?**

Используя молярный объем и молярную массу газа, можно вычислить массу одного литра газа (при н.у.), которое обозначается:

$$\rho = \frac{M}{V_m}$$

Например, плотность метана CH_4 при н.у. определяется следующим образом:

$$\rho(CH_4) = \frac{M}{V_m} = \frac{16 \text{ г/моль}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,714 \text{ г/л}.$$

Если известна плотность газа при н.у., то можно вычислить молярную массу данного газа по формуле:

$$M = \rho \cdot V_m$$

Таким образом, молярная масса любого газа может быть вычислена при использовании следующих соотношений:

$$M_1 = D \cdot M_2; M = \rho \cdot V_m; M = \frac{m}{n}; \frac{m}{M} = \frac{V}{V_m}, \text{ значит } M = \frac{m \cdot V_m}{V}.$$

Где D – относительная плотность газа; ρ – плотность газа при н.у.; n – количество вещества; m – масса газа; V – объем газа при н.у.

Практическое применение

I. Расчеты на основе связи между относительной плотностью газов и молярной массой.

Задача 1

Относительная плотность по воздуху паров некоторого органического вещества равна 1,586. Вычислить молярную массу вещества.

Дано:
 $D(\text{возд.}) = 1,586$
 $M(\text{вещ.}) - ?$

Решение:

Замечание: молярная масса воздуха – 29 г/моль.

Вычисляем молярную массу вещества по формуле:

$$D(\text{возд.}) = \frac{M(\text{вещ.})}{M(\text{возд.})}; \quad M(\text{вещ.}) = D(\text{возд.}) \cdot M(\text{возд.});$$

$$M(\text{вещ.}) = 1,586 \cdot 29 \text{ г/моль} = 46 \text{ г/моль}$$

От в е т: молярная масса вещества равна 46 г/моль.

II. Расчеты на основе связи между плотностью газов при н.у. и молярной массой.

Задача 2

Установите молекулярную массу органического вещества, содержащего 85,72% С и 14,28% Н, если плотность газа при нормальных условиях равна 2,5 г/л.

Дано:
 $\omega(\text{C}) = 85,72\%$
 $\omega(\text{H}) = 14,28\%$
 $\rho = 2,5 \text{ г/л}$
 Формула – ?

Решение:

1. Вычисляем молярную массу вещества по формуле:

$$M(\text{вещ.}) = \rho \cdot V_m; \quad M(\text{вещ.}) = 2,5 \text{ г/л} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 56 \text{ г/моль}.$$

2. Предположим, что масса вещества равна 100 г, тогда масса С и Н будет равна их массовым долям, соответственно.

$$m(\text{C}) = \omega(\text{C}); \quad m(\text{C}) = 85,72 \text{ г}; \quad m(\text{H}) = \omega(\text{H}); \quad m(\text{H}) = 14,28 \text{ г}.$$

3. Обозначим через x и y число соответствующих атомов в формуле вещества C_xH_y :

$$x : y = \frac{m(\text{C})}{M(\text{C})} : \frac{m(\text{H})}{M(\text{H})} = \frac{85,72 \text{ г}}{12 \text{ г/моль}} : \frac{14,28 \text{ г}}{1 \text{ г/моль}} = 7,14 : 14,28 = 1:2.$$

4. Запишем простейшую формулу CH_2 (брутто-формула), однако молекулярная формула $(\text{CH}_2)_n$, где n – это коэффициент умножения.

5. Находим молекулярную массу брутто-формулы: $M_r(\text{CH}_2) = 14$

$$\text{6. Определяем значение } n \text{ из соотношения: } n = \frac{M_r(\text{М.ф.})}{M_r(\text{Э.ф.})} = 56:14 = 4.$$

Таким образом, молекулярная формула $(\text{CH}_2)_4 \rightarrow \text{C}_4\text{H}_8$.

От в е т: молекулярная формула органического вещества C_4H_8 .

III. Определение состава органического вещества по его относительной плотности и массовым долям составляющих его элементов.

Задача 3

В результате количественного элементного анализа установлено, что органическое вещество содержит 80% С и 20% Н, а относительная плотность его паров по водороду равна 15. Требуется определить брутто- и молекулярную формулу этого вещества.

Метод I

Дано:	Решение:
$\omega(\text{C}) = 80\%$	1. Вычисляем молярную массу вещества по формуле:
$\omega(\text{O}) = 20\%$	$D(\text{H}_2) = \frac{M(\text{вещ.})}{M(\text{H}_2)}$; $M(\text{вещ.}) = D(\text{H}_2) \cdot M(\text{H}_2) = 15 \cdot 2 \text{ г/моль} = 30 \text{ г/моль}$.
$D(\text{H}_2) = 15$	
Формула – ?	

2. Допустим, что масса пробы вещества равна 100 г, тогда массы углерода и водорода будут равны их массовым долям. Так как сумма массовых долей С и Н равна 100%, вещество не содержит других элементов.

$$m(\text{C}) = \frac{\omega(\text{C}) \cdot 100\%}{100 \text{ г}}; \quad m(\text{C}) = \omega(\text{C}); \quad m(\text{C}) = 80 \text{ г}; \quad m(\text{H}) = 20 \text{ г}.$$

3. Обозначим через x и y число атомов в формуле вещества C_xH_y .

Далее:

$$x : y = \frac{m(\text{C})}{M(\text{C})} : \frac{m(\text{H})}{M(\text{H})}; \quad x : y = \frac{80 \text{ г}}{12 \text{ г/моль}} : \frac{20 \text{ г}}{1 \text{ г/моль}} = 6,6 : 20 = 1 : 3$$

4. Запишем простейшую формулу: CH_3 (брутто-формула), однако молекулярная формула должна быть $(\text{CH}_3)_n$, где n – это коэффициент умножения.

5. Определим относительную молекулярную массу вещества по брутто-формуле:
 $M_r(\text{CH}_3) = 12 + 1 \cdot 3 = 15$.

6. Определяем значение n , исходя из соотношения $n = \frac{M_r(\text{М.ф.})}{M_r(\text{Э.ф.})} = \frac{30}{15} = 2$.

Значит, молекулярная формула $(\text{CH}_3)_2 = \text{C}_2\text{H}_6$.

О т в е т: молекулярная формула органического вещества C_2H_6 .

*Метод II

Обычно, если известны массовые доли (в процентах) и молекулярная масса, молекулярная формула вычисляется минуя брутто-формулу. Для этого используется следующее соотношение:

$$\omega(\text{E}) = \frac{n \text{Ar}(\text{E})}{M_r} \cdot 100\%, \quad n(\text{E}) = \frac{\omega(\text{E}) \cdot M_r}{\text{Ar}(\text{E}) \cdot 100\%},$$

которое получают из следующей пропорции: M_r ----- 100%,
 $n \text{Ar}(\text{E})$ ----- $\omega(\text{E})\%$,

где $n(\text{E})$ – число атомов соответствующего элемента; $\omega(\text{E})$ – массовая доля элемента; M_r – относительная молекулярная масса вещества; $\text{Ar}(\text{E})$ – относительная атомная масса элемента.

Используя соотношение, приведенное в условии задачи, находим, что число соответствующих атомов будет равно:

$$n(\text{C}) = \frac{80\% \cdot 30 \text{ г/моль}}{12 \text{ г/моль} \cdot 100\%} = 2; \quad n(\text{H}) = \frac{20\% \cdot 30 \text{ г/моль}}{1 \text{ г/моль} \cdot 100\%} = 6,$$

откуда следует, что молекулярная формула: C_2H_6 .

О т в е т: молекулярная формула органического вещества C_2H_6 .

IV. Установление молекулярной формулы по массе сожжённого вещества, массе образовавшихся оксида углерода (IV) и воды.

Задача 4

Относительная плотность паров органического вещества по водороду равна 36. При сгорании в кислороде 3,6 г этого вещества образовалось 11 г CO_2 и 5,4 г H_2O . Определите молекулярную формулу вещества.

Решение:

Дано:	1. Рассчитаем относительную молекулярную массу вещества по формуле:
$m(\text{в-ва}) = 3,6 \text{ г}$	$D = \frac{M(\text{в-ва})}{M(\text{H}_2)}$; $M(\text{в-ва}) = M(\text{H}_2) \cdot D(\text{H}_2) = 2 \text{ г/моль} \cdot 36 = 72 \text{ г/моль}.$
$m(\text{CO}_2) = 11 \text{ г}$	2. Рассчитаем количество вещества CO_2 :
$m(\text{H}_2\text{O}) = 5,4 \text{ г}$	$M(\text{CO}_2) = 44 \text{ г/моль}; \nu = \frac{m}{M} = \frac{11 \text{ г}}{44 \text{ г/моль}} = 0,25 \text{ моль}.$
$D(\text{H}_2) = 36$	
Формула – ?	

3. Определим массу углерода из соотношения:

$$\nu(\text{CO}_2) = \nu(\text{C}) = 0,25 \text{ моль}; \quad m(\text{C}) = \nu(\text{C}) \cdot M(\text{C}) = 0,25 \text{ моль} \cdot 12 \text{ г/моль} = 3 \text{ г}.$$

4. Рассчитаем количество вещества H_2O и массу водорода:

$$M(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ г/моль}; \quad \nu = \frac{m}{M} = \frac{5,4 \text{ г}}{18 \text{ г/моль}} = 0,3 \text{ моль}.$$

Так как 1 моль H_2O содержит 2 моля H: $\nu(\text{H}) = 0,3 \text{ моль} \cdot 2 = 0,6 \text{ моль};$

$$m(\text{H}) = \nu(\text{H}) \cdot M(\text{H}) = 0,6 \text{ моль} \cdot 1 \text{ г/моль} = 0,6 \text{ г}.$$

5. Вычислим сумму масс углерода и водорода в органическом веществе:

$$m(\text{C}) + m(\text{H}) = 3 \text{ г} + 0,6 \text{ г} = 3,6 \text{ г}.$$

Делаем вывод, что сожжённое вещество было углеводородом (не содержало других элементов).

6. Устанавливаем эмпирическую формулу:

$$\nu(\text{C}) : \nu(\text{H}) = 0,25 : 0,6 = 2,5 : 6 = 5 : 12.$$

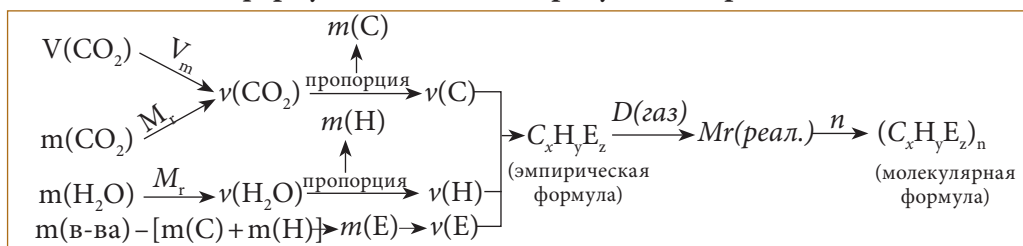
Эмпирическая формула: C_5H_{12} ; $M_r(\text{C}_5\text{H}_{12}) = 72.$

$$M_r(\text{Э.ф.}) = M_r(\text{М.ф.}) = 72.$$

О т в е т: молекулярная формула вещества C_5H_{12} .

Работа в группе Решите нижеприведённые задачи, пользуясь алгоритмом, показанным в схеме 1.3. Вместо обозначений в схеме подставьте данные из условий задач или данные, полученные в ходе расчётов.

Схема 1.3. Алгоритм решения расчётных задач на установление формулы вещества по продуктам сгорания



ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

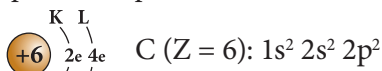
1. Проба органического вещества массой 4,3 г была сожжена в кислороде. При этом образовалось 6,72 л (н. у.) CO₂ и 6,3 г H₂O. Относительная плотность паров вещества по водороду равна 43. Определите молекулярную формулу вещества.
(O.: C₆H₁₄)
2. *Органическое вещество имеет относительную плотность по воздуху 1,587 и содержит C, H и O. При сжигании 2,3 г этого вещества получилось 4,4 г оксида углерода (IV) и 2,7 г воды. Определите молекулярную формулу вещества.
(O.: C₂H₆O)
- 3.* Проба алкана массой 8,6 г была сожжена и продукты сгорания были барботированы через раствор Ba(OH)₂. Выпавший осадок имел массу 118,2 г. Определите молекулярную формулу алкана.
(O.: C₆H₁₄)
4. Определите молекулярную формулу органического вещества, если при сжигании его пробы массой 1,5 г образовалось 4,4 г CO₂ и 2,7 г H₂O. Один литр паров этого вещества имеет массу 1,34 г (н. у.).
(O.: C₂H₆)
5. Относительная плотность паров углеводорода по водороду равна 42 (н. у.). При сжигании 0,25 моля этого углеводорода образуется по 1,5 моля CO₂ и H₂O. Определите молекулярную формулу углеводорода.
(O.: C₆H₁₂)
6. Газообразное органическое вещество содержит C, H и O. Проба этого газа массой 2,05 г имеет объём 1 литр. При сжигании этой пробы образовалось 3,95 г CO₂ и 2,44 г H₂O. Установите молекулярную формулу вещества.
(O.: C₂H₆O)
7. Жидкое органическое вещество содержит углерод, водород и кислород. В ходе количественного анализа пробу 4,25 мг этого вещества сожгли и получили 8,14 мг CO₂ и 5,08 мг H₂O. Определите массовые доли каждого элемента в веществе. Какова его эмпирическая формула?
(O.: ω(C)=52,2%; ω(H)=13,3%; ω(O)=34,5%; C₂H₆O)
8. Определите молекулярную формулу органического вещества, если при сжигании его пробы массой 4,5 г образовалось 8,8 г CO₂ и 6,3 г H₂O и 1,4 г азота. Плотность паров этого вещества по воздуху равна 1,55.
(O.: C₂H₇N)

РАСШИРЕНИЕ

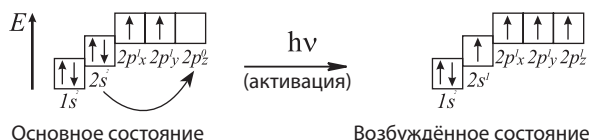
Типы гибридизации атома углерода в органических соединениях

Ты уже знаешь, что органических соединений очень много, и что причина этого – особые свойства атомов углерода. Для того, чтобы лучше разобраться в этом, рассмотрим повнимательнее строение атома углерода.

Углерод в Периодической системе занимает место под номером 6. Его атом содержит 6 электронов и в основном (невозбуждённом) состоянии имеет следующее электронное строение:



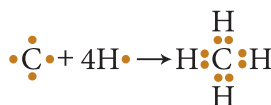
Таким образом, атом углерода на первом уровне (s) имеет два электрона, на втором – два электрона s и два электрона p.



Имея по одному электрону на двух подуровнях 2p, он должен был бы быть двухвалентным. Однако во всех органических соединениях углерод четырёхвалентен. Это объясняется тем, что из-за близости энергий подуровней 2s и 2p один из электронов подуровня 2s, получив небольшую порцию энергии, переходит на свободную орбиталь подуровня 2p ($2p_z$). Так образуется возбуждённое состояние атома углерода (C^*), имеющее следующее электронное строение:



В результате перераспределения электронов по подуровням в возбуждённом атоме углерода появляются четыре электрона, способных образовать четыре пары с электронами других атомов. Так атом углерода приобретает конфигурацию с 8 электронами.



*Если изобразить четыре валентных электрона в виде орбиталей в возбуждённом атоме углерода, то получится одна сферическая (s) орбиталь и 3 гантелеобразных (p) симметричных взаимно перпендикулярных орбитали p_x , p_y , p_z .

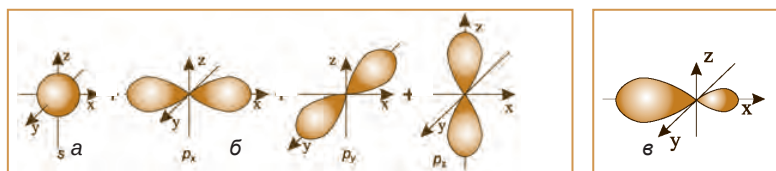


Рис. 1.12. Формы орбиталей: а – орбиталь s; б – орбитали p (p_x , p_y , p_z); в – гибридная орбиталь.

Нетрудно понять, что различные по форме орбитали (s и p) при взаимодействии с орбиталями других атомов должны образовывать химические связи, отличающиеся по свойствам. Однако, экспериментально было установлено, что

четыре образовавшиеся связи атома углерода идентичны по прочности и длине. Это говорит об идентичности тех орбиталей в атоме C^* , которые образуют связи. Для объяснения идентичности связей атома углерода американский химик Лайнус Полинг (Linus Pauling) ввел представление о гибридизации орбиталей.

Согласно теории гибридизации, орбитали различной энергии и симметрии (формы) могут взаимодействовать между собой, изменяя свою форму и взаимное расположение и становясь одинаковыми по энергии и форме. Такие орбитали называются *гибридными*, а их образование – *гибридизацией*.

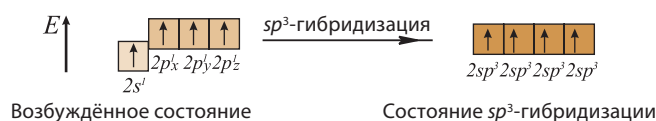
Взаимодействие атомных орбиталей, приводящее к их эквивалентности по форме и энергии, называется гибридизацией.

Представление о гибридизации орбиталей призвано объяснить свойства химических связей. Считается что в свободных атомах гибридизация не происходит.

Гибридные орбитали способны к более сильному взаимодействию с другими орбиталями, поэтому химическая связь, образованная ими, прочнее связи, образованной электронами негибридных орбиталей (s или p). Гибридизация происходит тогда, когда в образовании связи участвуют электроны различных типов (например, s и p), при этом число гибридных орбиталей всегда равно числу исходных негибридных орбиталей.

sp³-Гибридизация

В атоме углерода, находящемся в состоянии sp^3 -гибридизации, четыре валентных электрона ($2s^1 2p^3$) расположены на четырех sp^3 -гибридных орбиталях одинаковой формы и энергии:



Оси sp^3 -гибридных орбиталей направлены к вершинам тетраэдра, в центре которого находится атом углерода (рис. 1.13).

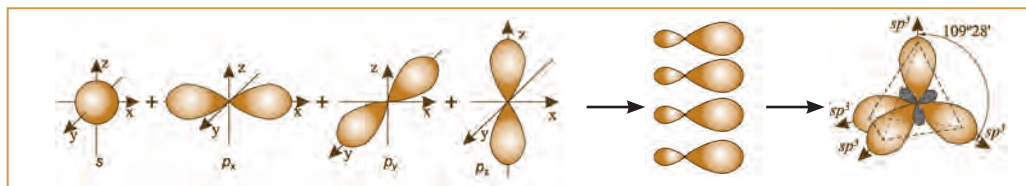
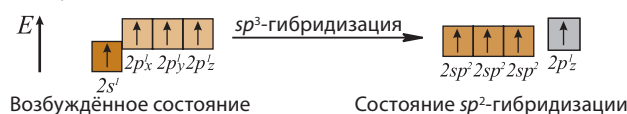


Рис. 1.13. Образование sp^3 -гибридных орбиталей.

Атом углерода в состоянии sp^3 -гибридизации находится в соединениях с простыми связями (алканы, галогенопроизводные и др.).

sp²-Гибридизация

В атоме углерода в состоянии sp^2 -гибридизации одна $2s$ -орбиталь взаимодействует с двумя $2p$ -орбиталями ($2p_x$ и $2p_y$), образуя три одинаковые sp^2 -гибридные орбитали. Их энергия больше, чем у s -орбитали, и меньше, чем у оставшейся негибридизованной $2p_z$ -орбитали.



В отличие от sp^3 -орбиталей, оси трех sp^2 -орбиталей находятся в одной плоскости, под углами 120° . В этом состоянии атом углерода имеет три одноэлектронных sp^2 -орбитали, которыми он образует три простые σ -связи, и одну одноэлектронную негибризованную орбиталь, ось которой перпендикулярна плоскости осей sp^2 -орбиталей (рис. 1.14).

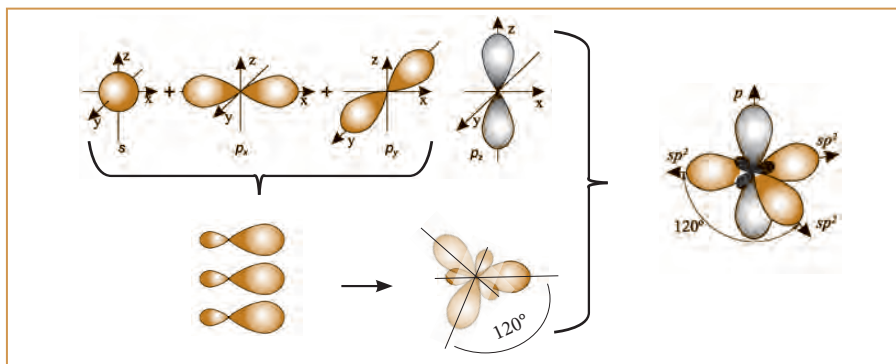
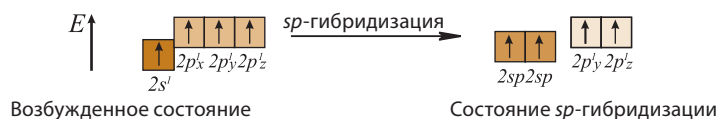


Рис. 1.14. Образование sp^2 -гибридных орбиталей.

Атом углерода в состоянии sp^2 -гибридизации находится в соединениях с двойными связями и в свободных радикалах.

sp -Гибридизация

В атоме углерода, в состоянии sp -гибридизации, одна $2s$ -орбиталь взаимодействует с одной $2p$ -орбиталью ($2p_x$), образуя две одинаковые sp -гибридные одноэлектронные орбитали, которыми он образует две простые σ -связи, и две одноэлектронные негибризованные орбитали.



sp -Гибридные орбитали находятся на одной линии и заняты каждая одним π -электроном, в то время как негибризованные $2p$ -орбитали находятся на осях, перпендикулярных оси sp -орбитали (рис. 1.15).

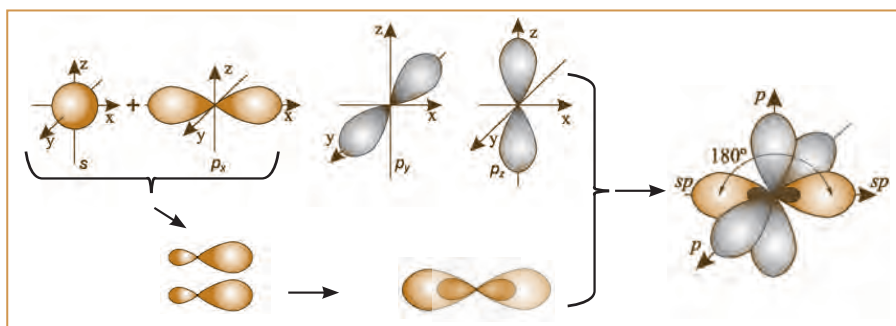


Рис. 1.15. Образование sp -гибридных орбиталей.

sp -Гибридные атомы углерода находятся в молекулах с тройными связями (алкины).

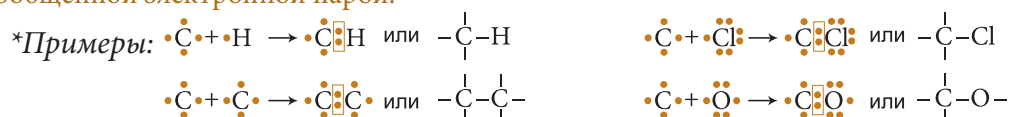
Ковалентная связь в органических соединениях

Ты уже знаешь, что в молекулах органических веществ атомы органогенных элементов соединены между собой ковалентными связями.

Образование ковалентных связей может быть описано как через образование обобщённых электронных пар, так и с помощью метода электронных орбиталей.

Ковалентная связь – это связь между атомами за счет образования обобщённых электронных пар или, иными словами, за счет взаимодействия атомных орбиталей.

Простой связью называется такая связь, которая обеспечивается одной обобщённой электронной парой.

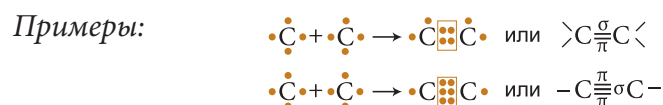


В то же время, образование ковалентной связи можно описать, применяя представления о взаимодействии атомных орбиталей связывающихся атомов. Это взаимодействие приводит к слиянию атомных орбиталей и образованию новой орбитали, общей для обоих атомов, в которой электронная плотность выше, чем в исходных орбиталях.

Установлено, что чем больше электронная плотность в образовавшейся орбитали, тем более прочной оказывается химическая связь. Характер взаимодействия орбиталей зависит от их формы и взаимного расположения. Связь наиболее прочна в том случае, когда место наибольшей электронной плотности находится на линии, соединяющей ядра атомов. В этом случае говорят об образовании σ -связи (сигма).

Связь между атомами может быть обеспечена двумя или тремя обобщёнными электронными парами. Такие связи называются кратными.

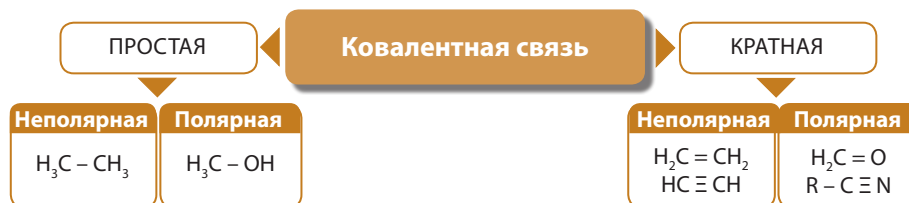
Ковалентные связи называются кратными, если они образованы двумя или тремя обобщёнными электронными парами.



Место наибольшей электронной плотности может находиться вне линии, соединяющей ядра атомов (например, в этилене или ацетилене). В этом случае говорят об образовании π -связи (пи).

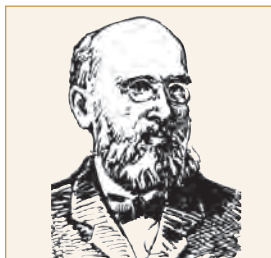
В случае молекул, состоящих из атомов различных элементов, электронные пары смещены в сторону атома с большей электроотрицательностью. Такие связи называются полярными ковалентными связями.

Схема 1.2. Типы ковалентных связей в органических соединениях



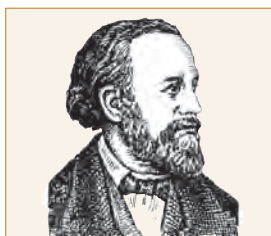
1.5.

Теория химического строения органических соединений



А.М. Бутлеров
(1828–1886)

Русский химик, автор теории химического строения органических соединений. Предсказал и изучил изомеры многих органических соединений.



Э. Фрэнкленд
(1825–1899)

Английский химик-органик. Ввел понятие о способности элементов к насыщению (1852), впоследствии – создал учение о валентности.

Предпосылки разработки теории химического строения

В начале XIX-го века назрела необходимость создания теории, которая могла бы объяснить, почему:

- именно углерод и водород могут образовывать такое большое число соединений, называемых углеводородами?
- органические соединения более многочисленны, чем неорганические?
- углерод показывает переменную валентность, и какова же, всё-таки, валентность углерода в органических соединениях?
- существуют органические соединения с одинаковым составом и молекулярной массой, но с различными свойствами (впоследствии названные Берцелиусом изомерами)?

Одной из предпосылок создания теории химического строения стала формулировка понятия о связывании атомов в молекуле.

В XIX веке жили и трудились многие видные ученые, из которых упомянем Ф. Кекуле (Friedrich August Kekule), Э. Франкленда (Edward Frankland) и Г. Кольбе (Hermann Kolbe), и, особенно, Александра Михайловича Бутлерова, которые обобщили и научно интерпретировали открытия, сделанные до 1860 года. Благодаря их усилиям в органическую химию было введено понятие о химическом строении, которое есть не что иное, как способ соединения атомов в молекуле.

В 1861 году А.М. Бутлеров впервые сформулировал положения этой теории (схема 1.3).

Схема 1.3. Основные положения теории химического строения

Атомы в молекуле соединены, в соответствии с их валентностью, в определенном порядке, называемом **химическим строением**.

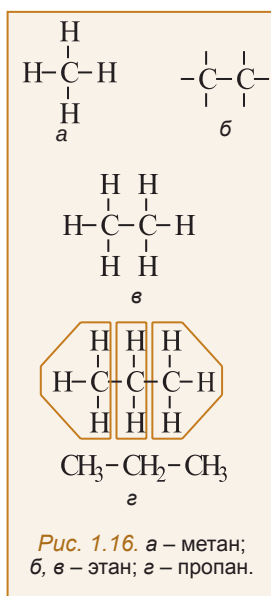
Основные положения теории химического строения органических соединений

Свойства вещества определяются не только его составом, но и химическим строением его молекул.

Одному и тому же качественному и количественному составу могут соответствовать несколько формул химического строения, этим объясняется **явление изомерии**.

Атомы в молекуле взаимно влияют друг на друга и поэтому их реакционная способность зависит не только от их природы, но и от природы связанных с ними атомов.

Попробуем разобраться в этих положениях. В качестве примера возьмем углеводороды, изученные в 9-м классе. Рассмотрим порядок связи атомов в молекуле самого простого углеводорода – метана (CH_4). Обозначив валентности элементов черточками, мы сможем изобразить порядок связи атомов в молекуле метана единственным образом – как на *рис. 1.16, а*.



Учитывая, что все атомы в молекуле этана (C_2H_6) образуют одну молекулу, нетрудно догадаться, что в этой молекуле атомы углерода соединены между собой (рис. 1.16,б) и у них остается по три свободных валентности, которые могут быть насыщены шестью атомами водорода (рис. 1.16,в). На рис. 1.16,г изображена последовательность связей в молекуле пропана.

Атомы углерода, последовательно соединенные между собой ковалентными связями, образуют **углеродную цепь**.

В органической химии широко применяются несколько типов формул.

Молекулярная формула показывает, из каких элементов состоит вещество, а также число атомов каждого элемента, входящих в молекулу.

Химические формулы, показывающие порядок связей атомов в молекуле, называются **структурными формулами**.

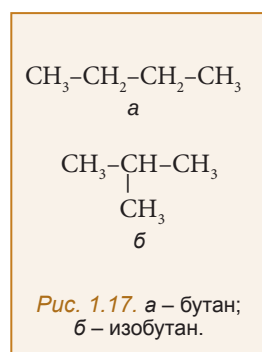
Структурная формула изображает последовательность связей атомов в молекуле, но не отражает их расположения в пространстве.

Структурные формулы бывают полные, в которых показаны все химические связи (рис. 1.16,а,б,в), а также сокращенные (рис. 1.16,г), в которых показаны связи между атомами углерода, а связи атомов водорода не показаны, например, для бутана: $CH_3-CH_2-CH_2-CH_3$. В этой формуле черточки означают связи между атомами углерода, но не между атомами углерода и водорода.

Изомерия

Каким образом порядок связи атомов в молекуле влияет на свойства вещества?

Особый вклад в решение этой проблемы принадлежит А. Бутлерову, который на основании своей теории предсказал существование двух изомеров углеводорода C_4H_{10} (в углеводородах, начиная с C_4H_{10} , возможны различные способы соединения атомов в молекуле). В 1867 году он синтезировал предсказанный изомер, и тем самым экспериментально подтвердил справедливость теории химического строения. Этот изомер был назван изобутаном (рис. 1.17,а,б), так как он отличался от нормального бутана структурой молекулы и свойствами, имея тот же состав – C_4H_{10} . Изомерия является причиной многочисленности органических соединений.



Изомерия – это явление существования соединений с одинаковым составом и молекулярной массой, но с различной структурой молекул и, следовательно, с различными свойствами.

Соединения с одинаковым составом и одинаковой молекулярной массой, но с различными свойствами называются изомерами. Причиной различий в свойствах у изомеров являются различия в структуре их молекул.

Явление изомерии очень широко распространено. Об этом явлении ты узнаешь более детально при изучении различных классов органических веществ.

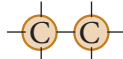
Углеродные цепи

Одной из особенностей атомов углерода является их способность соединяться между собой различными способами, образуя цепочки разных видов.

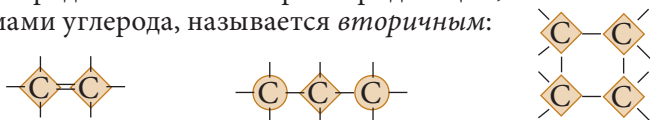
Совокупность атомов углерода, связанных ковалентными связями, называется углеродной цепью.

Атомы углерода, находящиеся в разных местах цепочек, отличаются друг от друга по своим свойствам из-за того, что атом углерода может быть связан с различным числом других атомов углерода и в зависимости от этого числа он может называться по-разному¹.

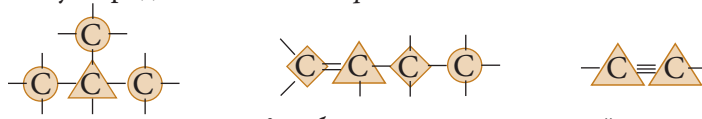
1) Атом углерода в состоянии sp^3 -гибридизации, связанный только с одним другим атомом углерода, называется *первичным*:



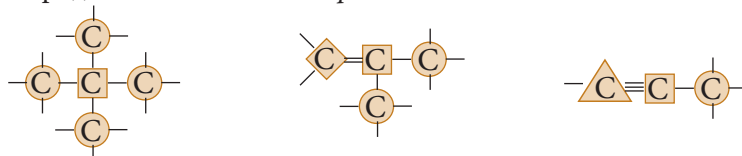
2) Атом углерода в состоянии sp^3 -гибридизации, связанный только с двумя другими атомами углерода, называется *вторичным*:



3) Атом углерода в состоянии sp^3 -гибридизации, связанный только с тремя другими атомами углерода, называется *третичным*:



4) Атом углерода в состоянии sp^3 -гибридизации, связанный с четырьмя другими атомами углерода, называется *четвертичным*:



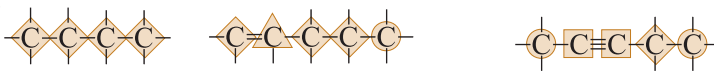
Особое свойство атомов углерода связываться между собой в длинные цепи и циклы делает возможным существование огромного числа органических соединений.

Углеродные цепи, в которых атом углерода связан только простыми σ -связями, называются насыщенными.

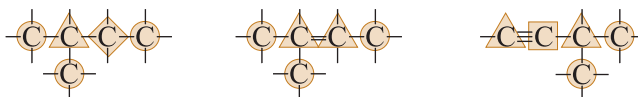
Углеродные цепи, в которых имеются атомы углерода, связанные двойными ($\sigma\pi$) или тройными ($\sigma\pi\pi$) связями, называются ненасыщенными.

В зависимости от способа соединения атомов углеродные цепи могут быть:

а) линейными (насыщенными и ненасыщенными):

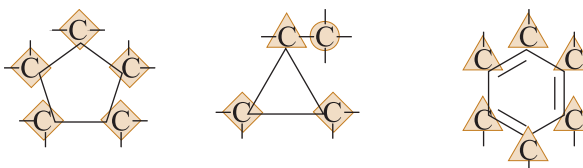


б) разветвлёнными (насыщенными и ненасыщенными):

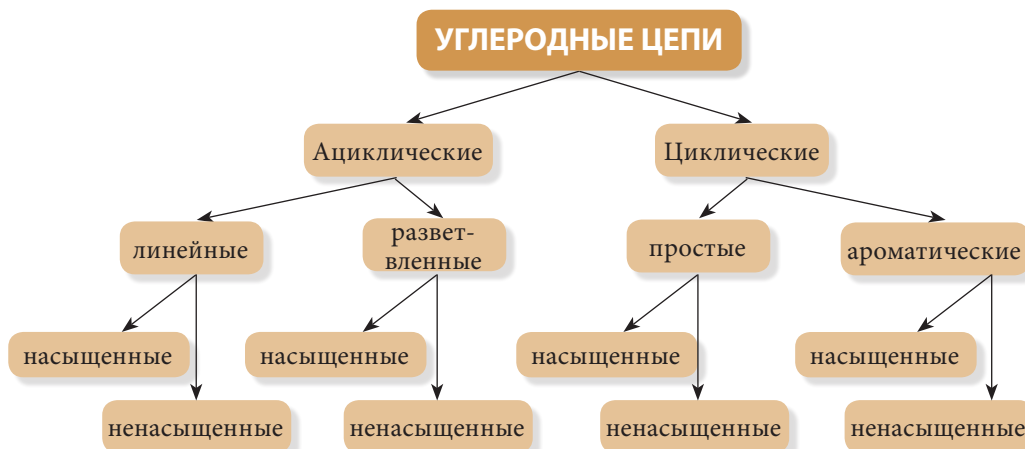


¹ В приведённых примерах типы атомов углерода – первичный, вторичный, третичный и четвертичный – выделены соответственно: кружком, ромбом, треугольником, квадратом.

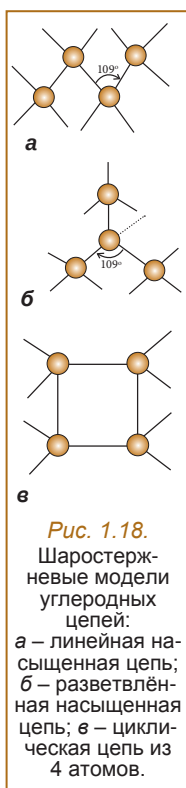
в) циклическими насыщенными (простыми и с боковыми цепями) и ароматическими:



Эти типы углеродных цепей позволяют разделить органические соединения на два больших класса: **ациклические соединения** и **циклические соединения**.



Напиши по одному примеру для каждого типа цепи. Укажи тип каждого атома углерода.



ЛАБОРАТОРНЫЙ ОПЫТ

Моделирование углеродных цепей разных видов

- Моделирование линейной насыщенной цепи из 4 атомов углерода:**
 - а) изготовь** из пластилина четыре шарика одного цвета и размера. Это будут атомы углерода;
 - б) соедини** эти шарики тремя палочками (спичками) под углом около 109° в форме зигзага;
 - в) вставь** в концевые шарики по три палочки под углами около 109° , так, чтобы они с четвёртой образовали оси тетраэдра;
 - г) вставь** в оставшиеся шарики 2 и 3 по две палочки под углами около 109° (рис. 1.18, а);
 - д) проверь** возможность вращения атомов углерода вокруг простых связей.
- Моделирование разветвлённой цепи из 4 атомов углерода:**
 - а) изготовь** из пластилина четыре шарика одного цвета и размера;
 - б) соедини** три шарика двумя палочками под углом около 109° ;
 - в) вставь** в центральный шарик палочку, имеющую на другом конце четвёртый шарик (рис. 1.18, б).
- Моделирование циклической цепи из 4 атомов углерода:**
 - а) изготовь** из пластилина четыре шарика и приготовь 12 палочек;
 - б) соедини** эти шарики четырьмя палочками в форме цикла;
 - в) вставь** в каждый шарик по две палочки, которые будут обозначать свободные валентности атомов углерода (рис. 1.18, в).

РАСШИРЕНИЕ Классификация органических веществ

Из углеводородов (обозначаемых общей формулой R–H), при замещении одного или нескольких атомов водорода на атом или группу атомов (X) из других органогенных элементов, образуются производные углеводородов, которые составляют классы органических соединений.

Атомы или группы атомов других элементов, кроме углерода, которые содержат химические свойства, характерные для данного класса соединений, называются функциональными группами.

Органические вещества могут быть представлены общей формулой R–X, где R означает углеводородный остаток, а X – функциональную группу.

Вещества, содержащие одну и ту же функциональную группу и обладающие сходными физическими и химическими свойствами, составляют гомологические ряды.

Природа функциональных групп способствует систематизации миллионов органических веществ и объединению их в классы, что упрощает и облегчает их изучение.

В таблице 1.4 представлены основные функциональные группы углеводородных производных и классы веществ, к которым они относятся.

Таблица 1.4. Основные функциональные группы и классы органических соединений

Функциональная группа	Название группы	Название классов соединений	Общая формула
$\diagup \text{C}=\text{C} \diagdown$	Двойная связь	Алкены	C_nH_{2n}
$-\text{C}\equiv\text{C}-$	Тройная связь	Алкины	$\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$
$-\text{X} (\text{F}, \text{Cl}, \text{Br}, \text{I})$	Галоген	* Галогенопроизводные	R^1-X
$-\text{OH}$	Гидроксильная	Спирты, фенолы	$\text{R}-\text{OH}, \text{Ar}-\text{OH}$
$-\text{*OR}$	*Алкоксигруппа	*Простые эфиры	$\text{*R}-\text{OR}$
$-\text{NO}_2$	Нитрогруппа	Нитросоединения	$\text{R}-\text{NO}_2$
$\diagup \text{C}=\text{O}$	Карбонильная группа	Альдегиды и *Кетоны	$\text{R}-\text{CH}=\text{O}$ $\text{*R}-\overset{\text{O}}{\underset{\text{ }}{\text{C}}}-\text{R}$
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \text{ } \\ \text{-C-} \\ \text{OH} \end{array}$	*Карбоксильная группа	*Карбоновые кислоты	$\text{*R}-\text{COOH}$
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \text{ } \\ \text{-C-} \\ \text{O-} \end{array}$	*Сложноэфирная группа	*Сложные эфиры	$\text{*R}-\overset{\text{O}}{\underset{\text{ }}{\text{C}}}-\text{O}-\text{R}$

R^1 – углеводородный остаток

Молекулы некоторых органических веществ могут содержать несколько одинаковых функциональных групп и они называются полифункциональными; если группы разные, то это вещества со смешанными функциями.

ЗАВЕРШАЮЩАЯ ОЦЕНКА ЗНАНИЙ

Гуманитарный профиль

1. **Объясни**, какое влияние оказывает органическая химия на жизнь современного человека в следующих областях:
а) современное сельское хозяйство; б) лёгкая промышленность;
в) автомобильная промышленность; г) медицина.
Аргументируй ответы конкретными примерами органических веществ и промышленных материалов.
2. **Обоснуй** область исследования и основные задачи органической химии.
3. **Выбери** органические вещества из следующего ряда соединений и помести их в колонки А и Б:
 CaC_2 , H_2CO_3 , C_2H_6 , CO_2 , CH_2O , CH_3Cl , CaO , CH_3OH , CaCO_3 , $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$.
4. **Назови** нескольких ученых-химиков, которые внесли свой вклад в органическую химию и органический синтез.
5. **Объясни**, в чем причина такого большого количества органических веществ (20 млн.) по сравнению с неорганическими (900 тыс.).
6. **Заполни** свободные места в следующих утверждениях:
А. В органических соединениях могут образовываться одинарные связи (...), двойные (...) и тройные (...).
Б. Органические соединения содержат цепочки углеродных атомов, которые называются... и могут быть...
7. **Дай** определение понятию ковалентная связь: а) полярная; б) неполярная.
8. **Смоделируй** образование ковалентных связей между атомами в молекулах:
а) H_2 ; б) N_2 ; в) CH_4 ; г) O_2 ; д) C_2H_6 ; е) C_2H_4 .
9. **Напиши** слово/слова из скобок, которые правильно заканчивают высказывания:
а) Вещества, выделенные из животных и растений, называются неорганические/органические.
б) Термин «органическая химия» ввел в 1808 г. ученый (Ф. Вёлер/Я. Берцелиус).
в) Любое органическое вещество обязательно содержит (углерод/кислород).
г) Углеродная цепь в форме квадрата называется (линейная/циклическая).
д) Расположение атомов в молекуле представлено (молекулярной/структурной формулой).
е) Вещества с одинаковой молекулярной, но разной структурной формулой называются (гомологами/изомерами).

1.6.*

ЗАВЕРШАЮЩАЯ ОЦЕНКА ЗНАНИЙ

1. **Перечисли** основные предпосылки при разработке теории строения органических соединений.
2. **Дай определения и объясни:**
 - А. а) типы углеродных связей;
б) типы связей в органических веществах.
 - Б. Какая разница между:
а) первичным и вторичным атомами С;
б) простой, двойной или тройной связью.
3. **Выбери** правильный ответ:
Сколько веществ представлено в следующих структурных формулах:
а) $\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—CH}_3$; б) $\text{CH}_3\text{—}\overset{\text{CH}_3}{\underset{|}{\text{CH}}}\text{—CH}_2\text{—CH}_3$; в) $\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—CH}_3$;
 - г) $\text{CH}_3\text{—}\overset{\text{CH}_3}{\underset{\text{CH}_3}{|}{\text{C}}}\text{—CH}_3$;
 - д) $\text{H—}\overset{\text{H}}{\underset{\text{H}}{|}}\text{C—}\overset{\text{H}}{\underset{\text{H}}{|}}\text{C—}\overset{\text{H}}{\underset{\text{H}}{|}}\text{C—H}$;
 - е) $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ | \quad | \\ \text{H—C—C—H} \\ | \quad | \\ \text{H—C—H} \\ | \\ \text{H} \end{array}$.

А. 2; Б. 3; В. 4; Г. 5.
4. **Представь** для веществ с молекулярной формулой C_5H_{10} :
а) ненасыщенную цепь; б) насыщенную цепь (какая у нее форма?).
5. **Отметь** типы атомов углерода в следующей структурной формуле:

$$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \\ | \quad | \\ \text{CH}_3\text{—C—CH}_2\text{—CH—CH}_3 \\ | \\ \text{CH}_3 \end{array}$$
6. **Покажи** структуру цепи, которая содержит:
а) четыре первичных атома углерода, два третичных, один вторичный и один четвертичный;
б) пять вторичных атома углерода, один третичный и один первичный.
7. **Выбери** правильный ответ:
А. Полярная ковалентная связь может быть образована между:
а) двумя атомами С;
б) атомом С и атомом N;
в) атомом С и атомом О;
г) атомом С и атомом Cl.
Б. Какая связь самая короткая:
а) $\text{—}\overset{|}{\underset{|}{\text{C}}}\text{—}\overset{|}{\underset{|}{\text{C}}}\text{—}$; б) >C=C< ; в) $\text{—C}\equiv\text{C—}$.
8. **Смоделируй** образование ковалентных связей между атомами веществ, которые содержат:
а) 2 атома С, один атом Cl и 3 атома Н; б) 2 атома С, 1 атом О и 6 атомов Н; в) 1 атом С, 1 атом N, 1 атом О и 1 атом Н.
9. **Реш** задачу: определи молекулярную формулу органического вещества, которому соответствует массовое соотношение $\text{C:H:O} = 6:1:8$ и молекулярная масса 60 г/моль.
(О.: $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$)

ПОВТОРИ И ЗАКРЕПИ СВОИ ЗНАНИЯ: КЛЮЧЕВЫЕ ПОНЯТИЯ



- ◆ **Органическое вещество** – соединение, которое имеет в своем составе, наряду с другими элементами, обязательно углерод.
- ◆ **Органогенные элементы** – это элементы, которые входят в состав органических соединений (ими являются: C, H, O, N, S, P, Гал.).
- ◆ **Углеводороды** – органические вещества, состоящие только из углерода и водорода.
- ◆ **Органическая химия** – раздел химии, в котором изучаются соединения углерода и их превращения:
 - Исследует методы синтеза органических веществ и устанавливает их строение.
 - Изучает физико-химические свойства синтезированных и природных органических веществ.
- ◆ В органических веществах атомы органогенных элементов соединены ковалентными связями.
- ◆ **Ковалентные связи** есть двух типов: простые (σ) и кратные – двойные (σ и π) и тройные (π и σ и π). Простая связь образуется при взаимодействии только одних электронных пар (C-C, C-H, C-O). Кратные связи образуются при взаимодействии двух или трех электронных пар (>C=C< ; >C=O ; $\text{—C}\equiv\text{C—}$).
- ◆ Во всех органических веществах четырехвалентный атом **углерода** и **галогенов** – **одновалентны**, **кислорода** – **двухвалентные**, **азота** – **трехвалентные**.
- ◆ **Формулы**, используемые в органической химии, могут быть **брутто**, **молекулярные** и **структурные**.
- ◆ **Брутто-формулы** – показывают природу элементов и их простейшее соотношение.
- ◆ **Молекулярная формула** – показывает атомы, каких элементов и в каком соотношении входят в молекулу вещества.
- ◆ **Структурная формула** – показывает порядок связей атомов в молекуле.
- ◆ **Изомерия** – существование веществ имеющих один и тот же состав и молекулярную формулу, но разное строение.
- ◆ **Изомеры** – вещества, имеющие один и тот же состав, одну и ту же молекулярную формулу, но различное строение и различные свойства.
- ◆ **Цепь** – цепь атомов углерода, соединенных ковалентными связями. Цепи могут быть линейными, разветвленными и циклическими.
- ◆ **Химический синтез** – химический процесс, состоящий из нескольких стадий (химических реакций) для получения химических продуктов сложного строения.
- ◆ **Природные вещества** – органические вещества, извлекаемые из природных источников.
- ◆ **Синтетические вещества** – органические продукты, синтезируемые в лаборатории или в промышленности.
- ◆ **Гербициды** – органические вещества, используемые для борьбы с сорняками.
- ◆ **Инсектициды** – органические вещества, используемые для борьбы с вредными насекомыми.
- ◆ **Пестициды** – органические вещества, которые стимулируют рост растений.



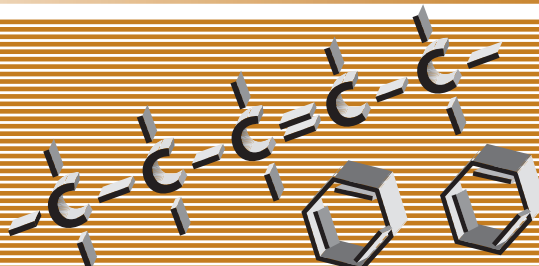
УГЛЕВОДОРОДЫ – СОСТАВНАЯ ЧАСТЬ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

Раздел

2



В. Марковников



Ф. Кекуле

Углеводороды являются самыми простыми органическими веществами – их молекулы состоят только из атомов **углерода** и **водорода**. Способность атомов углерода соединяться в различного вида цепочки делает число возможных углеводородов практически бесконечным. Существуют несколько типов (гомологических рядов) углеводородов.

Название гомологического ряда	Характеристика	Общая формула
Алканы (парафины)	Углеродные цепи линейные либо разветвлённые. Молекулы содержат только простые ковалентные связи. Атомы углерода полностью насыщены водородом.	$C_nH_{2n+2}; n \geq 1$
Циклоалканы (циклопарафины)	Циклические углеродные цепи. Атомы в молекуле соединены только простыми ковалентными связями.	$C_nH_{2n}; n \geq 3$
Алкены (олефины)	Имеют линейные или разветвлённые цепи. Кроме простых связей молекулы содержат одну двойную связь (за исключением этилена $CH_2=CH_2$).	$C_nH_{2n}; n \geq 2$
Алкадиены (диены)	Имеют линейные или разветвлённые цепи. Кроме простых связей молекулы содержат две двойные связи (за исключением аллена $CH_2=C=CH_2$).	$C_nH_{2n-2}; n \geq 3$
Алкины (ацетилены)	Имеют линейные или разветвлённые цепи. Кроме простых связей молекулы содержат одну тройную связь.	$C_nH_{2n-2}; n \geq 2$
Ароматические углеводороды (арены)	Характерно наличие в молекулах бензольного цикла. Молекула содержит только простые связи и секстет электронов, общий для шести атомов углерода.	$C_nH_{2n-6}; n \geq 6$

Субкомпетенции:

Изучив данный раздел, ты сможешь:

- различать насыщенные, ненасыщенные, ароматические углеводороды;
- называть углеводороды по IUPAC;
- составлять формулы возможных изомеров по имеющейся молекулярной формуле;
- описывать физические и химические свойства углеводородов, их нахождение в природе, получение и применение;
- проводить химические расчёты по уравнениям реакций, характерных для углеводородов различных типов;
- *опытным путем обнаруживать углерод, водород и хлор в органических соединениях.

2.1.1.

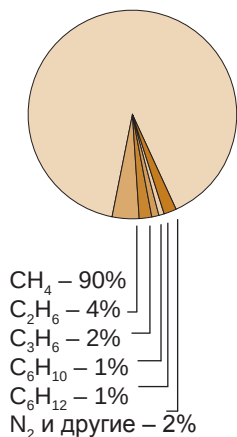
Предельные углеводороды – главные составляющие природного газа и нефти

Рис. 2.1. Состав природного газа в объемных процентах.



Рис. 2.2. Природный газ: 1 – добыча; 2 – хранение; 3 – переработка.

Главными природными источниками углеводородов являются природный газ, нефть и каменный уголь.

Залежи природного газа обычно находятся там же, где залежи нефти или угля.

Месторождения этих природных источников находятся в Азии, Европе, Африке, Северной и Центральной Америке. Главными экспортерами нефти являются Россия, Кувейт, Саудовская Аравия, Ирак, Иран, Индонезия, Ливия, Алжир. Более скромными запасами нефти обладают Румыния, Украина и Республика Молдова. На юге нашей страны было открыто месторождение нефти.

Природный газ, независимо от месторождения, является смесью предельных углеводородов, в которой преобладает метан (75–98%). Состав природного газа зависит от места его добычи. На *рис. 2.1* показаны главные компоненты природного газа. Большие количества метана скапливаются в угольных шахтах. Природный газ в свободном состоянии образует большие скопления в земной коре. Смесь метана с кислородом или воздухом взрывается от искры. Это служит причиной сильных взрывов, которые происходят время от времени в угольных шахтах, и из-за этого метану дали название «рудничный газ».

Природный газ добывают с помощью скважин и передают потребителям по трубопроводам (*рис. 2.2*).

Нефть. Латинское название нефти – *petroleum*, происходит от слов *petra* (камень) и *oleum* (масло).

Нефть образовалась, по-видимому, из древних отложений на дне некоторых морей. Эти отложения были результатом разложения морской микрофауны и флоры. Они претерпели ряд биологических превращений без доступа кислорода (анаэробные) под действием бактерий, затем последовали медленные химические изменения при каталитическом действии горных пород, в контакте с которыми они находились.

Нефть представляет собой смесь твердых и газообразных углеводородов, растворенных в жидких углеводородах. Наряду с нормальными алканами, нефть содержит разнообразные углеводороды (изоалканы, циклоалканы, арены с боковыми цепями) и примеси азот-, кислород- и серосодержащих органических соединений. Химический состав сырой нефти различен у разных месторождений из-за того, что каждое месторождение образовалось в определенных условиях, зависевших от географической зоны, температуры, давления, катализаторов, ферментов и, особенно, бактерий.

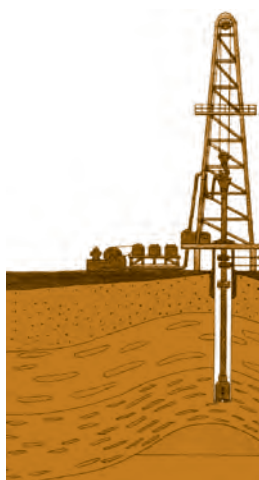


Рис. 2.3. Буровая скважина.



Рис. 2.4. Нефтеперерабатывающий завод.

Месторождения нефти находятся в земной коре на разных глубинах (до 4000 м). Для того, чтобы поднять нефть на поверхность с глубин, на которых она образовалась миллионы лет назад, в земле бурят скважины (рис. 2.3). Добытую нефть освобождают от воды и механических примесей и транспортируют на нефтеперерабатывающие заводы (рис. 2.4).

Физические свойства. Нефть – вязкая жидкость бурого цвета с голубовато-зеленой флуоресценцией и характерным запахом. Она легче воды и нерастворима в ней. Поэтому, попадая в воду в результате аварий при морской транспортировке, нефть образует на ней пленку, препятствующую доступу кислорода к воде и вызывающую гибель морских организмов. Как смесь различных соединений, нефть не имеет постоянной температуры кипения, непрерывно перегоняясь в интервале 30–360°C.

Каменный уголь образовался из растений в результате биологических и химических превращений в анаэробных условиях. В ходе этих превращений содержащийся в материале кислород улетучился в виде H_2O и CO_2 , азот – в виде NH_3 и N_2 . Содержание углерода увеличивалось одновременно с возрастом месторождения.

По содержанию углерода различают три типа ископаемых углей:

- а) *торф* – имеет ок. 50% С и малую теплотворную способность;
- б) *бурый уголь* – имеет ок. 55-65% С, при горении выделяет много дыма;
- в) *каменный уголь* – самый распространённый уголь с 75-90% С;
- г) *антрацит* – уголь высшего качества с 98% С, при горении выделяет много тепла и мало дыма.

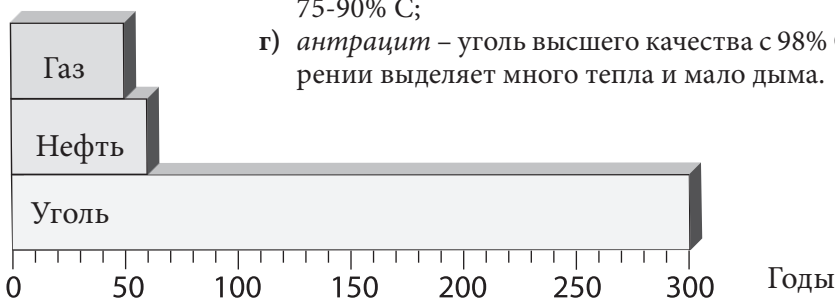


Рис. 2.5. Возможная продолжительность (годы) использования различных источников энергии, возникающих из природных запасов Земли.

Если исходить из мирового расхода нефтепродуктов за 2000 г. (3503,6 млн. т), то мировых запасов нефти (142,1 млрд. т) хватит на 50–65 лет, т. е. приблизительно до 2058 года.

Знаешь ли ты, что ...

Из всех стран Среднего Востока, Саудовская Аравия является самым крупным производителем нефти в мире, ее доля в мировой добыче составляет 25%, Ирака – 10,8%, Арабских Эмиратов – 9,3%, Ирана – 8,6%.

Переработка нефти

При перегонки нефти в лаборатории (рис. 2.6) установлено, что она делится на фракции: в приемнике собирается жидкость с низкой температурой кипения, затем температура повышается и отгоняются углеводороды с более высокой молекулярной массой. У нефти очень сложный состав. В промышленности сырую нефть вначале перегоняют при атмосферном давлении. Это *первичная перегонка*. При пониженном давлении проводится *вторичная перегонка*.

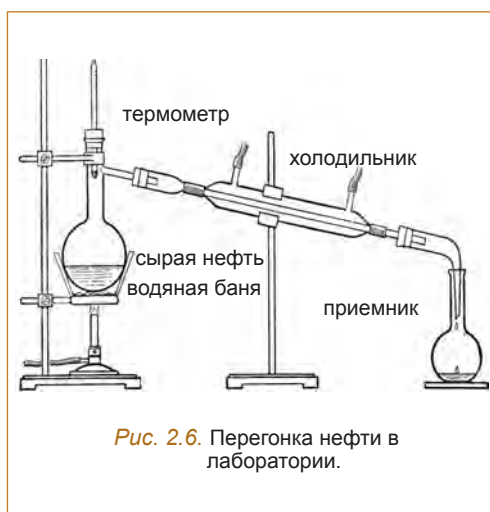


Рис. 2.6. Перегонка нефти в лаборатории.

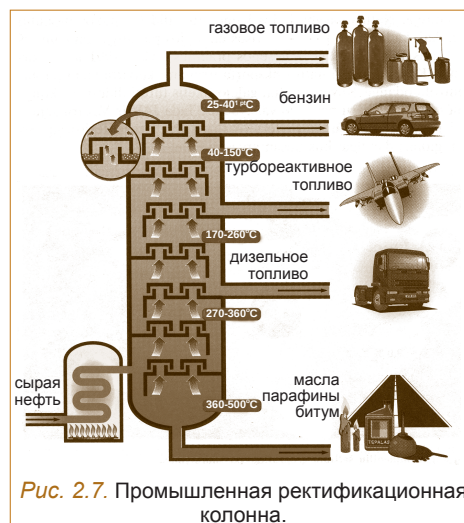


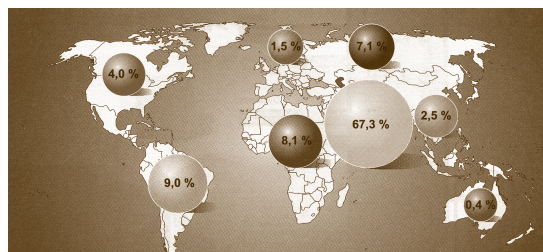
Рис. 2.7. Промышленная ректификационная колонна.

Первичная перегонка нефти проводится в установке, состоящей из фракционной колонны, высотой более 60 метров, внутри которой находятся специальные тарелки, через которые пары нефти проходят снизу вверх, а жидкий конденсат стекает сверху вниз (рис. 2.7).

Бензины, получаемые при первичной перегонке парафиносодержащих нефтей, имеют низкое октановое число (50–70), потому что содержат неразветвленные алканы. Для повышения октанового числа до 100 к бензину добавляют антидетонаторы, либо чистый изооктан, либо тетраэтилсвинец $Pb(C_2H_5)_4$ (не более 0,5%). Однако свинец попадает в атмосферу вместе с выхлопными газами, представляет собой один из опаснейших факторов загрязнения окружающей среды.

Работа в группе Используя данные рисунка 2.8, отметьте регионы наиболее богатые нефтью.

Рис. 2.8. Распределение запасов нефти по регионам.



Продукты вторичной переработки нефти (масла и парафины) имеют высокую степень чистоты. Они поставляются на нефтехимические комбинаты, оборудованные всевозможными установками, на которых сырье превращается в продукты, имеющие важное практическое применение. Сырые масла подвергаются депарафинизации и превращаются в ценные смазки и парафин (таблица 2.1).

Таблица 2.1. Основные фракции нефти

Фракция	Интервал перегонки, °C	Состав	Применение
<i>а) Первичная перегонка</i>			
Газы	<40	$C_1 - C_4$	Газовое топливо
Легкий бензин (петролейный эфир)	40-100	$C_5 - C_8$	Растворители, жидкое топливо
Тяжелый бензин (лигроин)	100-180	$C_7 - C_{10}$	Топливо. Сырье для вторичной переработки
Уайт-спирит	150-190	$C_8 - C_{12}$	Турбореактивное топливо
Керосин	200-270	$C_{10} - C_{15}$	Тракторное топливо
Солярка	270-360	$C_{16} - C_{20}$	Дизельное топливо. Сырье для вторичной переработки
Мазут	>360	$>C_{20}$	Жидкое топливо. Сырье для вторичной переработки
<i>б) Вторичная перегонка</i>			
Масла	–	$C_{18} - C_{22}$	Смазка для автомобилей
Парафин	–	$C_{23} - C_{29}$	Технические цели, медицина, свечи
Битум	–	остатки	Дорожные покрытия

Продукты переработки нефтехимии (растворители, детергенты, пластмассы, синтетические волокна и др.) входят в основные элементы существования современного человека. Они успешно заменяют природные материалы, которые более дороги. Благодаря этому, многие страны заложили нефтехимию в основу своего развития.

Месторождения нефти представляют очень большую ценность и в последние годы они активно разрабатываются. В последнее время человечество зависит от нефти. В некоторых странах нет месторождений нефти, другие обладают огромными запасами и осуществляют мировой контроль за ее расходом. Именно нефтепродукты влияют на международные отношения и являются причиной военных конфликтов между странами на Земле.

Знаешь ли ты, что...

В настоящее время природный газ обеспечивает 21% мирового потребления энергии.

2.1.2.

Алканы – насыщенные ациклические углеводороды

Определение

Углеводороды, содержащие в молекулах только простые ковалентные σ C–C и σ C–H связи и имеющие общую формулу C_nH_{2n+2} (где n – число атомов углерода), называются **алканами**.

Гомологический ряд алканов

Простейшим **насыщенным углеводородом** является метан, его молекулярная формула CH_4 . Другие углеводороды этого ряда формально могут быть представлены как производные метана, образующиеся при введении в его молекулу метиленовой группы $-CH_2-$, называемой **гомологической разностью**. Из метана, таким образом, получается следующий представитель ряда – этан, C_2H_6 (рис. 2.1). Далее, из этана получается пропан (C_3H_8) и т. д. (таблица 2.2).

Ряд соединений сходной структуры, в котором любые два соседних представителя различаются на один и тот же структурный фрагмент ($-CH_2-$), называется **гомологическим рядом**, а члены такого ряда называются **гомологами**.

Таблица 2.2. Гомологический ряд алканов

Название	Молекулярная формула	Структурная формула	Упрощенная структурная формула
Метан	CH_4	$\begin{array}{c} H \\ \\ H - C - H \\ \\ H \end{array}$	CH_4
Этан	C_2H_6	$\begin{array}{c} H & H \\ & \\ H - C & - C - H \\ & \\ H & H \end{array}$	$CH_3 - CH_3$
Пропан	C_3H_8	$\begin{array}{c} H & H & H \\ & & \\ H - C & - C & - C - H \\ & & \\ H & H & H \end{array}$	$CH_3 - CH_2 - CH_3$
Бутан	C_4H_{10}	$\begin{array}{c} H & H & H & H \\ & & & \\ H - C & - C & - C & - C - H \\ & & & \\ H & H & H & H \end{array}$	$CH_3 - (CH_2)_2 - CH_3$
Пентан	C_5H_{12}	$\begin{array}{c} H & H & H & H & H \\ & & & & \\ H - C & - C & - C & - C & - C - H \\ & & & & \\ H & H & H & H & H \end{array}$	$CH_3 - (CH_2)_3 - CH_3$
Гексан	C_6H_{14}	$\begin{array}{c} H & H & H & H & H & H \\ & & & & & \\ H - C & - C & - C & - C & - C & - C - H \\ & & & & & \\ H & H & H & H & H & H \end{array}$	$CH_3 - (CH_2)_4 - CH_3$

Химические свойства соединений одного и того же гомологического ряда очень похожи, так как имеют подобное строение.

Однако, физические свойства зависят от длины цепи (от молекулярной массы).

Молекула метана – первого представителя гомологического ряда алканов может быть представлена на рис. 2.9. Его 4 атома водорода соединены с одним атомом углерода и направлены в пространстве к вершинам правильного тетраэдра, в центре которого находится ядро атома углерода.

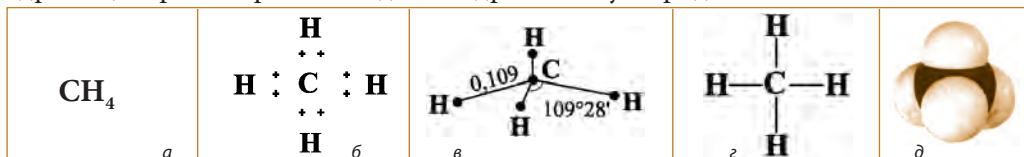


Рис. 2.9. Модели изображения молекулы метана: а – молекулярная формула; б – электронная формула; в – пространственная формула; г – структурная формула; д – модель пропорций.

Электронная и пространственная структуры насыщенных углеводородов подобны структурам метана. Например, в молекуле этана $\text{CH}_3\text{-CH}_3$, каждый атом углерода связан с тремя атомами водорода с образованием шести σ -связей (C-H), а оба атома углерода образуют σ -связь (C-C).

Таким образом, в молекуле этана семь σ -связей (рис. 2.10).

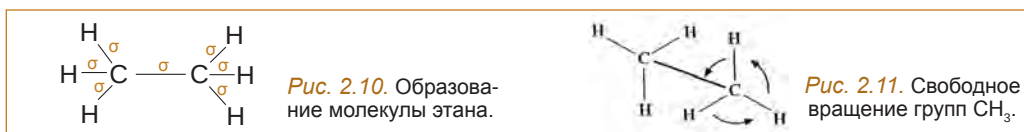


Рис. 2.10. Образование молекулы этана.

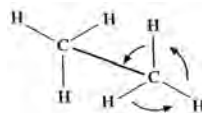


Рис. 2.11. Свободное вращение групп CH_3 .

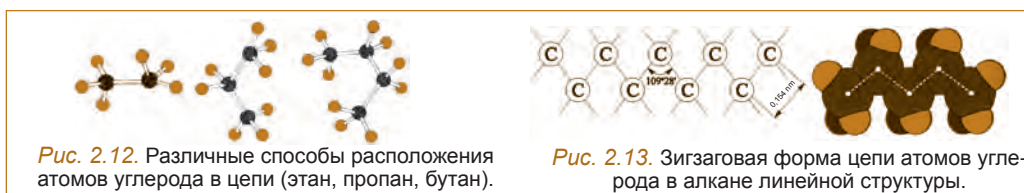


Рис. 2.12. Различные способы расположения атомов углерода в цепи (этан, пропан, бутан).



Рис. 2.13. Зигзаговая форма цепи атомов углерода в алкане линейной структуры.

σ -Связь обладает прочностью и плохо поляризуется. Длина простой связи (C-C) равна 0,154 нм, а связь (C-H) имеет длину 0,109 нм (в метане). Атомы углерода принимают тетраэдрическую конфигурацию, все валентные углы равны $109^\circ 28'$ (с небольшим отклонением у высших алканов).

Связь C-C в алканах позволяет свободное вращение связанных с нею групп (рис. 2.11). Углеводороды с линейной цепью вследствие свободного вращения фактически могут изгибаться, приобретая различные формы (рис. 2.12). Однако, наиболее стабильной является форма «зигзага», когда все атомы углерода находятся в одной плоскости (рис. 2.13).

Творческая работа

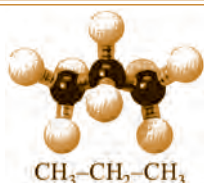


Рис. 2.14. Шаростержневая модель молекулы пропана.

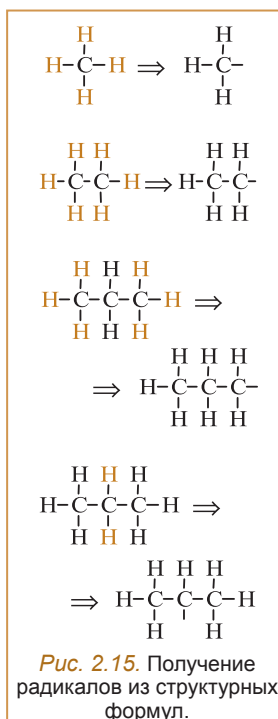
Изготовление молекулярных моделей алканов

Пример: Моделирование молекулы пропана (C_3H_8):

а) **изготовь** 8 шариков одного цвета и диаметра, которые будут изображать 8 атомов водорода; б) **изготовь** из пластилина другого цвета шарики, которые будут изображать 3 атома углерода; в) **соедини** шарики большего диаметра (атомы углерода) с помощью палочек под углом примерно 109° ; г) **отметь** на них другие точки под таким же углом и вставь палочки, которые будут связями; д) **проверь** возможность вращения вокруг связей C-C (рис. 2.14).

2.1.3.

Номенклатура алканов



При составлении названий органических соединений применяются правила, установленные Международным союзом чистой и прикладной химии (IUPAC, International Union of Pure and Applied Chemistry). Совокупность всех правил называется **номенклатурой**.

За первыми четырьмя нормальными (неразветвлёнными) алканами закреплены их тривиальные названия – метан, этан, пропан и бутан. Корнями названий остальных нормальных алканов служат греческие числительные, соответствующие количеству атомов углерода в молекуле (пента-, гекса- и т.д.). Согласно правилам, названия алканов должны иметь окончание **-ан**, например, пентан, гексан, гептан и т.д. Алканы с разветвлёнными цепями называются **изоалканами** (таблица 2.3).

Если из структурной формулы алкана убрать один атом водорода, то оставшаяся часть структуры называется **радикалом** (и обозначается R) (рис. 2.15).

Название радикала образуется из названия алкана путем замены окончания **-ан** на **-ил**. В молекулах алканов с более чем двумя атомами углерода водород может быть удален с **первичного**, **вторичного** или **третичного атомов** углерода. Так получают разнообразные радикалы, называемые алкильными группами (таблица 2.3).

Таблица 2.3. Некоторые алканы и соответствующие алкилы

Алкан		Соответствующий алкил	
Название	Структура	Название	Структура
Алкан	$C_n H_{2n+2}$	Алкил	$C_n H_{2n+1} -$
Метан	CH_4	Метил	$-CH_3$
Этан	CH_3-CH_3	Этил	$-CH_2-CH_3$
Пропан	$CH_3-CH_2-CH_3$	Пропил	$-CH_2-CH_2-CH_3$
		*Изопропил	$CH_3-\underset{ }{CH}-CH_3$
Бутан	$CH_3-CH_2-CH_2-CH_3$	Бутил	$-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$
		♦ втор-Бутил	$CH_3-\underset{ }{CH}-CH_2-CH_3$
Изобутан	$\begin{array}{c} CH_3 \\ \\ CH_3-CH-CH_3 \end{array}$	♦ изо-Бутил	$\begin{array}{c} CH_3 \\ \\ -CH_2-\underset{ }{CH}-CH_3 \end{array}$
		♦ трет-Бутил	$\begin{array}{c} CH_3 \\ \\ CH_3-\underset{ }{C}-CH_3 \end{array}$

Словом «радикал» также обозначаются реальные частицы, которые получают при гомолитическом разрыве ковалентной связи (стр. 38).

Задание 2.1. Напиши и назови все одновалентные радикалы алкана C_5H_{12} .

При составлении названий разветвлённых алканов применяют следующие правила:

1. Выбирают самую длинную цепь атомов углерода. Название нормального алкана, соответствующего этой главной цепи, будет корнем названия всего соединения.
2. Главную цепь нумеруют арабскими цифрами, начиная с того конца, к которому ближе разветвление.
3. Перед корнем записывают в алфавитном порядке названия всех радикалов, которые являются заместителями в главной цепи, с указанием перед ними их позиций в этой цепи. Количество чисел в названии должно быть равно количеству заместителей.
4. Если один и тот же радикал встречается несколько раз, то его места в цепи обозначают цифрами, затем указывают умножительную приставку (*ди-*, *три-* и т.д.) и название радикала.
5. Все части названия соединяют в одно слово знаками препинания: между двумя числами ставится запятая, между числом и буквой – черточка (рис. 2.16).

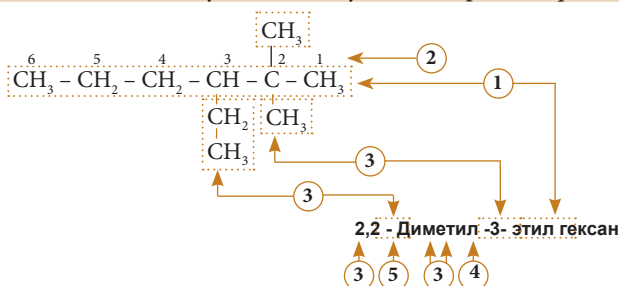
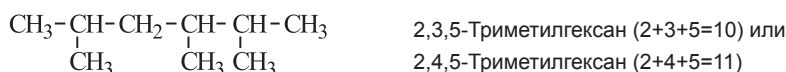


Рис. 2.16. Пример составления систематического названия разветвлённого алкана.

6. Если в главной цепи разветвления находятся на одинаковых расстояниях от ее концов, то направление нумерации выбирается таким, чтобы положения разветвлений получили как можно меньшие номера.

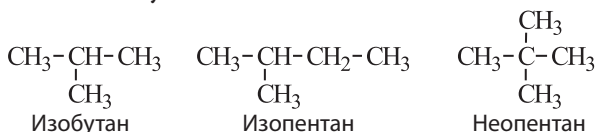
Задание 2.2. Выбери правильное название для данного алкана:



Параллельно с систематическими названиями (обычно) для некоторых разветвленных углеводородов используют несистематические названия:

Углеводород	Число изомеров
CH_4	1
C_2H_6	1
C_3H_8	1
C_4H_{10}	2
C_5H_{12}	3
C_6H_{14}	5
C_8H_{18}	18
$\text{C}_{10}\text{H}_{22}$	75

Рис. 2.17. Количество изомеров некоторых формул алканов.



Изомерия алканов. Изомерия углеродного скелета

В процессе изучения органической химии ты встретишься с различными типами изомерии.

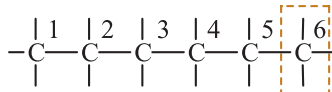
Изомеры появляются тогда, когда одни и те же атомы по разному соединяются между собой. Для метана, этана и пропана существует единственный способ соединения атомов в молекулу, поэтому у этих веществ нет изомеров. Четыре атома углерода могут соединиться в цепь двумя способами, поэтому существуют два вещества состава C_4H_{10} . Таким образом, алкан C_4H_{10} имеет 2 изомера (рис. 2.17), C_5H_{12} – 3 изомера, C_6H_{14} – 5 изомеров.

Различия в свойствах, например, бутана и изобутана, обусловлены различным строением их углеродного скелета. Такие изомеры называются **изомерами углеродного скелета**.

Для правильного и систематического написания всех изомеров углеродной цепи следует соблюдать определённые правила.

Алгоритм составления структурных формул изомеров углеродного скелета

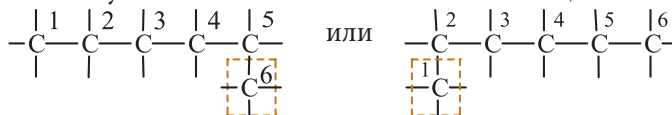
- 1** Вначале напишем изомер с линейной цепью:



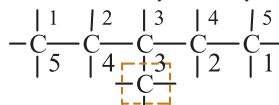
- 2** Укоротим цепь на один атом углерода и соединим этот атом со вторым атомом углерода оставшейся цепи. Так мы получим второй изомер:



*Радикал не может быть соединен с концевым атомом оставшейся цепи, поскольку в этом случае он окажется в составе главной цепи:

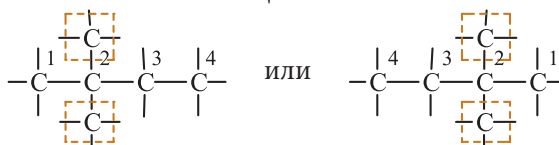


- 3** *Переместим присоединенный атом на следующий атом углерода главной цепи, при этом получим новый изомер. Операцию перемещения мы можем повторять столько раз, сколько позволит главная цепь (не следует допускать повторения изомеров):

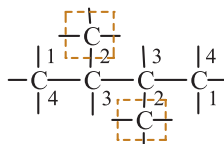


- 4** *Укоротим главную цепь еще на один атом углерода (теперь главная цепь укорочена на два атома углерода) и поместим эти два атома:

- а) на один и тот же атом главной цепи:



- б) на разные атомы главной цепи (различными способами):



- 5** Заполним полученные углеродные скелеты изомеров атомами водорода, помня о том, что атом углерода четырехвалентен.

Задание 2.3. Напиши все изомеры состава C_6H_{14} .

Число изомеров углеродной цепи насыщенных ациклических углеводородов резко увеличивается с увеличением числа атомов углерода в молекуле (почему?).

Физические свойства алканов

В зависимости от числа атомов углерода, алканы могут быть газообразными, жидкими или твердыми. Первые четыре алкана (C_1 – C_4) газообразны, алканы от C_5 до C_{15} – жидкости, все последующие – твердые вещества (таблица 2.4).

Таблица 2.4. Физические свойства некоторых нормальных алканов

Алкан	Формула	Т. кип., °C	Плотность d, г/см ³	Агрегатное состояние (н. у.)
Метан	CH_4	–161,6	0,424	Газ
Этан	CH_3-CH_3	–88,6	0,546	Газ
Пропан	$CH_3-CH_2-CH_3$	–42,2	0,583	Газ
Бутан	$CH_3-(CH_2)_2-CH_3$	–10,5	0,579	Газ
Пентан	$CH_3-(CH_2)_3-CH_3$	+36,1	0,626	Жидкий
Гексан	$CH_3-(CH_2)_4-CH_3$	68,8	0,659	Жидкий
*Гептан	$CH_3-(CH_2)_5-CH_3$	98,4	0,684	Жидкий
*Октан	$CH_3-(CH_2)_6-CH_3$	125,7	0,703	Жидкий
*Нонан	$CH_3-(CH_2)_7-CH_3$	149,5	0,718	Жидкий
*Декан	$CH_3-(CH_2)_8-CH_3$	173,0	0,730	Жидкий
♦*Гексадекан	$C_{16}H_{34}$	287,0	0,775	Твердый

Температуры кипения нормальных алканов растут с увеличением числа атомов углерода. Температуры кипения разветвлённых алканов ниже температур кипения нормальных алканов с тем же числом атомов углерода (рис. 2.18), причем тем ниже, чем более разветвлена углеродная цепь.

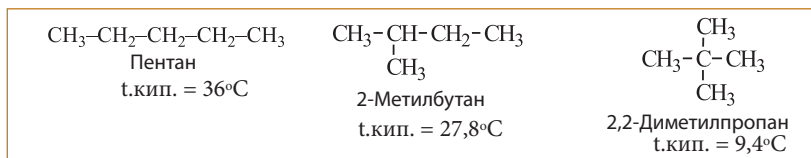


Рис. 2.18. Температуры кипения изомеров углеводорода состава C_5H_{12} .

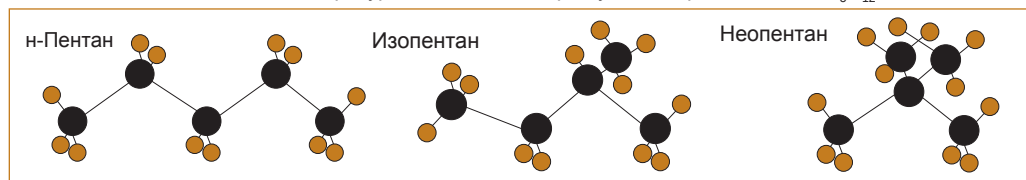


Рис. 2.19. Шаро-стержневые модели изомеров, имеющих состав C_5H_{12} .

Алканы, будучи неполярными, нерастворимы в воде и полярных растворителях, но очень хорошо растворимы в неполярных органических растворителях, таких, как, например, углеводороды других типов. Жидкие алканы применяются как растворители для многих органических веществ.

Знаешь ли ты, что...

Газообразные алканы не имеют запаха, и для того, чтобы можно было обнаружить утечку газа, в него добавляют очень малые дозы вещества с сильным неприятным запахом (органические соединения серы, называемые меркаптанами), которые можно легко определить по запаху.

Получение алканов

Алканы получают как из природных источников, так и путем синтеза.

А. Природные источники. Метан находится в природе под разными названиями:

а. газ метан является основным компонентом природного газа ($\approx 95\%$), в нем есть и другие углеводороды (C_2H_6 , C_3H_8 , и др.);

б. болотный газ получил такое название, когда был открыт на поверхности болот. Он образуется при медленном разложении органических материалов в отсутствии воздуха (в стоячей воде);

в. рудничный газ представляет природную газовую смесь, которая накапливается в шахтах в угольных слоях. В этой смеси преобладает метан, который взрывается при контакте с воздухом;

г. биогаз образуется при разложении сельскохозяйственных отходов при действии некоторых бактерий. Основным компонентом биогаза является метан, который может использоваться в качестве топлива;

д. попутные газы выделяются при бурении нефтяных скважин. Они состоят из метана и других газообразных углеводородов. Метан извлекается из нефтяных месторождений зондированием.

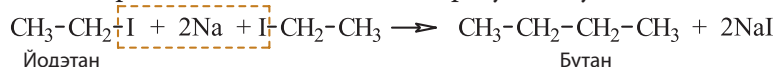
Содержание метана в природных газах приведено в рисунке 2.20.

Б. * Получение алканов в лаборатории.

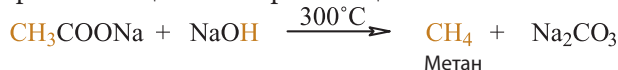
1. Разложение карбида алюминия (Al_4C_3) водой:



2. *Взаимодействие алкилгалогенидов с металлическим натрием. Для синтеза симметричных углеводородов применяется реакция Вюрца (1855), которую проводят действием металлического натрия на какой-либо алкилийодид или алкилбромид. Так, из йодэтана образуется бутан:



3. Декарбоксилирование солей карбоновых кислот. Так, метан можно получить при нагревании ацетата натрия со щелочью:



ЛАБОРАТОРНЫЙ ОПЫТ

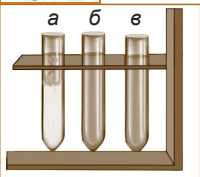


Рис. 2.21. Результат:
а – вазелин и вода;
б – вазелин и бензин;
в – вазелин и CCl_4 .

Изучение физических свойств алканов

1. **Помести** в три пробирки по 0,2 г вазелина (смесь высших алканов).
2. **Прибавь** в каждую пробирку по 2 мл следующих жидкостей: воды, бензина, четыреххлористого углерода (CCl_4) и взболтай содержимое пробирок. Что ты видишь?
3. **Сделай вывод**, что вазелин не растворяется в воде и плавает на ее поверхности, но хорошо растворяется в CCl_4 и бензине (рис. 2.21). Почему?
4. **Аргументируй** ответ, пользуясь правилом: *неполярные вещества растворяются в неполярных растворителях, полярные вещества растворяются в полярных растворителях.*

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Дай определение понятиям:

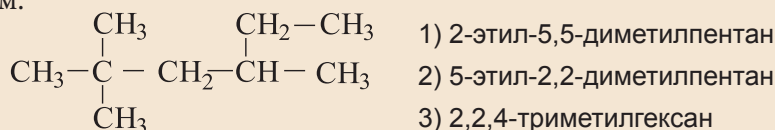
- а) гомологи; б) изомеры;
в) изомеры цепи; г) радикал.

2. Объясни:

- а) алгоритм составления систематических названий разветвленных алканов;
б) путь образования радикалов и их названия;
в) тип каждого атома углерода и число каждого типа в следующих соединениях:
А. 2,2-диметилбутан; Б. 2,3-диметилбутан;
В. 2,2,3-триметилпентан; Г. 2,3,4-триметилпентан.

3. Определи:

А. Правильное название предельного углеводорода со следующим строением:



Б. Структурную формулу и назови углеводород, содержащий:

- а) 6 первичных и 2 четвертичных атомов углерода;
б) 4 первичных, 1 четвертичный и 1 вторичный атомов углерода;
в) 4 первичных и 1 четвертичный атомов углерода.

4. Заполни свободные места в следующих утверждениях:

- а)* В молекуле метана все четыре связи С-Н являются и направлены в пространстве
б) н-Бутан является метана и 2-метилпропана.
в) Гексан образует изомеров цепи.

5. Ответь И (истинно) или Л (ложно) в следующих утверждениях:

- | | И | Л |
|---|--------------------------|--------------------------|
| а) Нумерация атомов углерода в цепи алкана начинается с того конца, где разветвление ближе. | ☐ | ☐ |
| б) Существует 3 радикала, имеющих формулу C_3H_7- . | ☐ | ☐ |
| в) Алканы содержат в молекуле связи С-С и С-Н. | ☐ | ☐ |
| г) Соединения со сходными свойствами и структурой называются гомологами. | ☐ | ☐ |

6. Выбери правильный ответ:

А. Углеводород с молекулярной формулой C_5H_{12} имеет:

- а) 3 изомера; б) 4 изомера; в) 5 изомеров; г) 6 изомеров.

Б.* Относительная плотность этана по воздуху равна:

- а) 0,51; б) 1,04; в) 1,51; г) 2,11.

7.* Установи структурную формулу предельного углеводорода, который содержит только первичные и четвертичные атомы углерода, если известно, что 1,12 л (н.у.) этого вещества имеет вес 2,9 г. (О.: C_4H_{10})

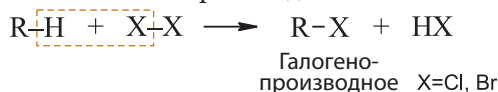
2.1.4.

Химические свойства алканов
и их применение

Алканы называются также **парафинами** (от лат. *parum affinis* – лишенные сродства). Это название говорит о том, что алканы обладают пониженной реакционной способностью по сравнению с другими углеводородами. Низкая реакционная способность алканов объясняется тем, что в их молекулах содержатся только простые σ -связи. Они очень прочны, разрываются с трудом и поэтому алканы обладают большой химической стабильностью. Однако, при высокой температуре (300–400°C) и при освещении связи C–C и C–H в алканах разрываются и происходят химические реакции (*замещение, элиминирование, изомеризация, термическое разложение, горение*).

А. Реакции замещения.

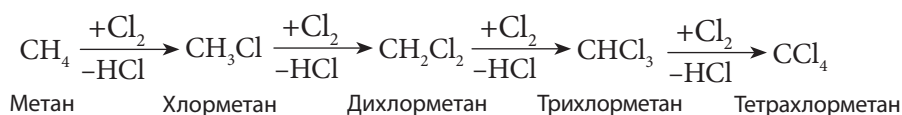
Реакции замещения, характерные для алканов – это такие реакции, в ходе которых происходит замещение одного или нескольких атомов водорода на атомы галогенов, с образованием галогенопроизводных:



Самыми широко используемыми галогенами являются хлор и бром. Фтор очень активен, а йод обладает низкой активностью, поэтому он не вступает в реакции замещения.

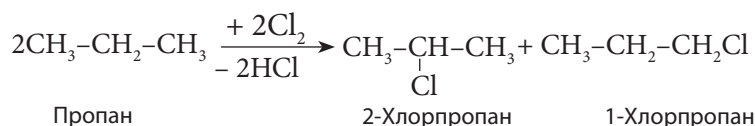
Галогенирование алканов легко протекает в случае первых членов их гомологического ряда, высшие члены этого ряда галогенируются значительно медленнее. Реакция протекает при 400–600°C или при освещении, при этом всегда образуется смесь моно- и поли-хлоралканов.

При галогенировании атомы водорода могут быть последовательно замещены на атомы галогена. Так, при хлорировании метана образуется смесь галогенопроизводных, их используют в качестве органических растворителей:



Полученные продукты находят очень широкое применение. Тетрахлорметан или четыреххлористый углерод (CCl_4) применяется в химчистке для удаления пятен и при тушении пожара.

Хлорирование алканов с большим числом атомов углерода дает смесь изомерных продуктов:

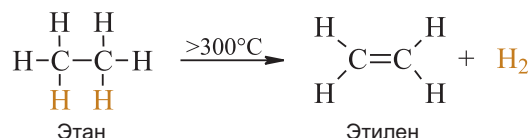


Состав смеси зависит от реакционной способности связей C–H, которая уменьшается в ряду: $\text{H}-\text{C}_{\text{трет.}} > \text{H}-\text{C}_{\text{втор.}} > \text{H}-\text{C}_{\text{перв.}}$

Б. Реакции элиминирования (дегидрирования).

Дегидрирование – это отрыв двух атомов водорода от соседних атомов углерода и образование между ними двойной связи.

Дегидрирование является эндотермическим процессом и поэтому требует повышенной температуры ($>300^{\circ}\text{C}$) и пониженного давления (происходит увеличение объема реакционной смеси):



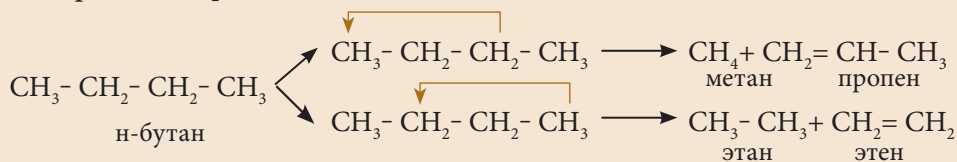
С увеличением числа атомов углерода в молекуле становятся возможными различные способы отщепления водорода.

В.* При термическом разложении алканов происходит разрыв связей С–С под действием высокой температуры. Этот процесс проводимый при 650°C называется *термическим крекингом*, если же его проводят при более высокой температуре то его называют – *пиролизом*.

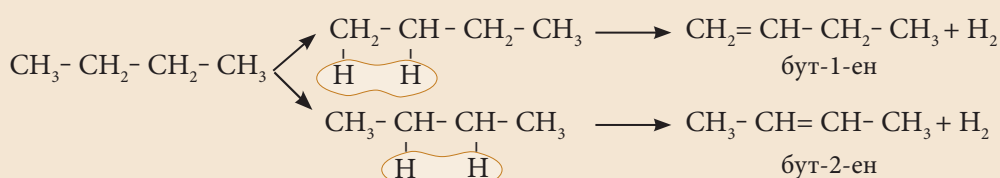
*Процессы крекинга высших углеводородов играют важную роль в современной химической технологии, так как являются основными путями производства низших алкенов и алканов.

При термическом разложении н-бутана при 600°C происходят следующие химические реакции:

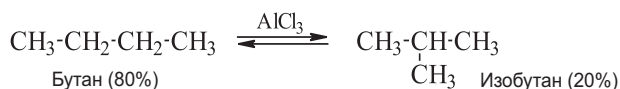
а) реакции крекинга:



б) реакции дегидрирования:



Г.* Изомеризация алканов. В ходе этих реакций нормальные алканы (с линейной структурой) частично переходят в изоалканы (с разветвленной структурой). Реакции протекают под влиянием катализаторов (хлорид или бромид алюминия) при температуре $50-100^{\circ}\text{C}$, например в случае бутана:





Костин Д. Неницеску
(1902–1970)

Создал первый институт по исследованиям в области промышленной химии. Руководил отделом химической науки в Румынской Академии.

Румынский ученый К. Неницеску в 1930 году первым подчеркнул значимость реакции изомеризации н-гексана.

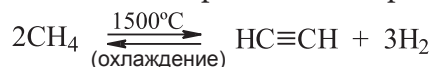
Реакции изомеризации широко применяются для получения бензинов высокого качества, так как чем больше содержание разветвленных алканов, тем выше качество бензина. Качество бензина определяется по октановому числу (О.Ч.). Для определения О.Ч. служит условная шкала. О.Ч. характеризует устойчивость бензина к детонации. Так, изооктан (2,2,4-триметилпентан) очень устойчив к детонации, его О.Ч. равно 100, а нормальный гептан сильно детонирует, ему присвоено О.Ч.= 0.

О.Ч. представляет массовую долю изооктана в смеси с н-гептаном.

Алканы термически очень стабильны. Чем короче углеводородная цепь, тем выше температура разложения.

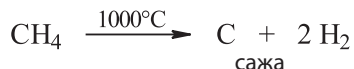
Пиролиз метана

При температуре выше 1200°C происходит пиролиз метана:



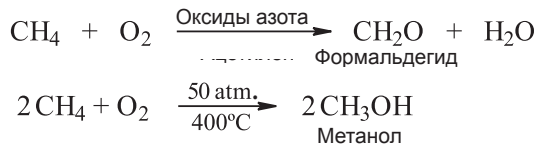
При этой температуре возможно разложение ацетилен на элементы, поэтому газовая смесь быстро охлаждается до $\approx 100^\circ\text{C}$.

При пиролизе метана в качестве побочного продукта образуется элементарный углерод (очень тонкий порошок), называемый черным дымом (*сажа*).

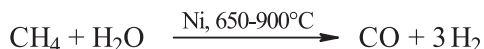


Сажа используется в производстве типографских красок и при обработке каучука, из которого изготавливают автомобильные шины.

*В определенных условиях при пониженной температуре, используя частичное окисление алканов, можно получать различные продукты: формальдегид, ацетилен, метанол, оксиды углерода и др. (они широко применяются в органическом синтезе):



*Частичное окисление метана парами воды приводит к образованию «синтез-газа» ($\text{CO} + 3\text{H}_2$), используемого в органическом синтезе:



Химические продукты, получаемые реакциями, описанными выше, нашли широкое применение в промышленности.



Рис. 2.22.
Применение алканов:
1 – домашнее топливо; 2 – топливо для автомобилей; 3 – топливо для самолетов; 4 – печное топливо (мазут); 5 – парафин для свечей; 6 – органические растворители.

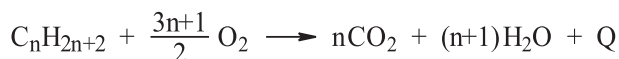
Д. Горение алканов.

При высокой температуре в присутствии избытка кислорода алканы вспыхивают и горят. Пламя тем ярче, чем больше углерода в молекуле.



где Q – это количество тепла, выделяющегося при реакции.

* Общее уравнение реакции выглядит так:



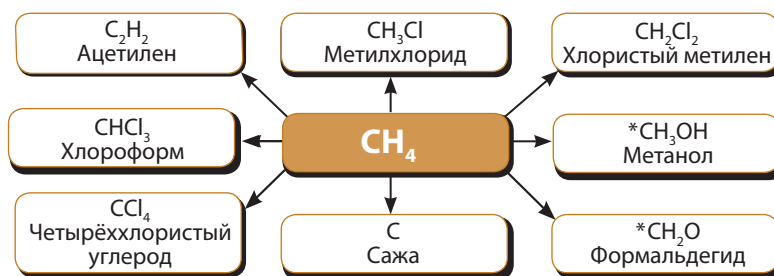
Реакции экзотермичны и на них основаны применение алканов в качестве топлива, при этом метан является самым требуемым (рис. 2.22). Изоалканы (разветвленные алканы) горят легче, чем неразветвленные.

Применение метана

Метан является самым ценным сырьем. Благодаря этому, он используется в самых разных процессах химической промышленности (схема 2.1).

Химизация представляет совокупность химических процессов, в результате которых сырье превращается в полезные продукты, часто более ценные, чем исходное сырье. При галогенировании метана образуются продукты, используемые как растворители (CH_2Cl_2 , CCl_4), анестетики (CHCl_3), хлорангенты (CH_3Cl), для тушения огня (CCl_4). При термическом превращении метана (1500°C) образуется ацетилен.

Схема 2.1. Продукты, получаемые при химизации метана



Задание 2.4. Пользуясь схемой 2.1, напиши схемы превращений метана.

Знаешь ли ты, что...

За счет химизации стоимость $1 \text{ м}^3 \text{ CH}_4$ увеличивается более чем в 30 раз.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Дай определение понятиям:

- а) реакции замещения;
- б) реакции элиминирования (дегидрирования);
- в) химизация.

2. Объясни:

- а) зависимость агрегатного состояния, точки кипения и плотности от числа атомов углерода в строении цепей алканов;
- б)* пониженную реакционную способность, исходя из типов связей в молекуле этана C_2H_6 .

3. Реши:

Заполни свободные места в следующих утверждениях:

- а) Изобутан – это изомер ...
- б) Самый простой насыщенный углеводород это ...
- в) При горении алканов образуется ... и ..., и выделяется большое количество ...
- г) Реакции, в ходе которых может замещаться один или несколько атомов водорода в молекуле алкана – это ...

4. Ответь **И** (истинно) или **Л** (ложно) в следующих утверждениях:

- а) Пентан и бутан – гомологи. ☐ И ☐ Л
- б) Алканы – это вещества, растворимые в воде. ☐ И ☐ Л
- в) При дегидрировании пропана образуется этан. ☐ И ☐ Л
- г) Алканы – это вещества с низкой термической стабильностью. ☐ И ☐ Л

5. Выбери правильный ответ:

А. Для алканов характерны реакции:

- а) замещения; б) присоединения; в) элиминирования; г) горения.

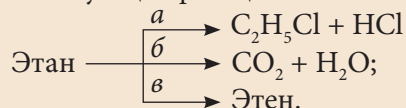
Б. Насыщенные углеводороды получают:

- а) из природных источников (газ, нефть);
- б) при прокаливании неорганических веществ.

В. При сгорании 2 л метана (н.у.) расходуется следующий объем кислорода:

- а) 1 л; б) 2 л; в) 3 л; г) 4 л.

6.* Определи вещества, обозначенные буквами а, б, в и напиши уравнения соответствующих реакций:



7. Вычисли массу сажи, образующейся при разложении 32 г метана.

(О.: 24 г)

2.1.5.

Расчётные задачи по общей формуле алканов и уравнениям их реакций

I. Установление молекулярной формулы по относительной плотности и общей формуле алканов.

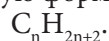
Задача 1

Относительная плотность паров алкана по водороду равна 57. Установите молекулярную формулу алкана.

Дано:
 $D(H_2) = 57$

Решение:

1. Напишем общую формулу алканов:



Формула – ?

2. Рассчитаем относительную молекулярную массу алкана по

$$\text{формуле: } D(H_2) = \frac{Mr(C_n H_{2n+2})}{Mr(H_2)};$$

$$Mr(C_n H_{2n+2}) = Mr(H_2) \cdot D(H_2) = 2 \cdot 57 = 114$$

3. Определим число атомов углерода из соотношения:

$$Mr(C_n H_{2n+2}) = 12n + 2n + 2 = 14n + 2; Mr(C_n H_{2n+2}) = 14n + 2 = 114; n = 8.$$

О т в е т: молекулярная формула алкана $C_8 H_{18}$.

II. Установление молекулярной формулы алкана по массовой доле одного из элементов и общей формуле алканов.

Задача 2

Какова формула алкана, содержащего 82,76% углерода?

Дано:
 $\omega(C) = 82,76\%$

Решение:

1. Напишем общую формулу алканов: $C_n H_{2n+2}$.

$$Mr(\text{алкана}) = 12n + 2n + 2; Mr(\text{алкана}) = 14n + 2$$

$C_n H_{2n+2}$ – ?

2. Вычислим значение n из соотношения:

$$\omega(C) = \frac{12n}{14n + 2} \cdot 100\%; 82,76\% = \frac{12n}{14n + 2} \cdot 100\%, \text{ откуда } n = 4,$$

или из пропорции: $(14n + 2) C_n H_{2n+2} - 100\%$

$$12n(C) - 82,76\%, \text{ откуда } n = 4.$$

О т в е т: молекулярная формула алкана $C_4 H_{10}$.

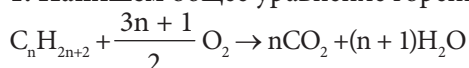
Задача 3

При сгорании алкана на один объём его паров расходуется 8 объёмов кислорода. Установите молекулярную формулу алкана.

Дано:
 $V(O_2) = 8$
 $V(C_n H_{2n+2}) = 1$

Решение:

1. Напишем общее уравнение горения алканов:



Мол. формула – ?

$$\text{2. Применим } \frac{V(C_n H_{2n+2})}{V(O_2)} = \frac{\nu(C_n H_{2n+2})}{\nu(O_2)}; \frac{1}{8} = \frac{1}{\frac{3n+1}{2}}; \frac{1}{8} = \frac{2}{3n+1};$$

$$3n + 1 = 16; 3n = 16 - 1; 3n = 15; n = 5. \text{ Формула } C_5 H_{12}.$$

О т в е т: молекулярная формула алкана $C_5 H_{12}$.

Задача 4

Молекулярные массы двух соседних представителей гомологического ряда алканов относятся как 7,5 : 11. Определите молекулярные формулы этих алканов.

Дано:

$$\frac{Mr_1}{Mr_2} = \frac{7,5}{11}$$

Мол. формула – ?

Решение:

1. Принимая во внимание, что соседние представители гомологического ряда алканов отличаются группой $-\text{CH}_2-$, **запишем** формулу высшего представителя $\text{C}_{n+1}\text{H}_{2n+4}$, где n – число атомов углерода в низшем представителе.

2. **Вычислим** значение n из соотношения:

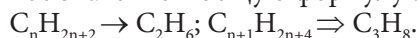
$$\frac{Mr_1(\text{C}_n\text{H}_{2n+2})}{Mr_2(\text{C}_{n+1}\text{H}_{2n+4})} = \frac{7,5}{11}; \quad \frac{12n + 2n + 2}{12n + 12 + 2n + 4} = \frac{14n + 2}{14n + 16} = \frac{7,5}{11}.$$

$$11(14n + 2) = 7,5(14n + 16)$$

$$154n + 22 = 105n + 120$$

$$49n = 98; n = 2$$

3. **Подставим** полученное значение в общую формулу алканов:



О т в е т: молекулярные формулы двух соседних алканов C_2H_6 и C_3H_8 .

Задача 5

Проба алкана массой 8,6 г была сожжена и продукты сгорания были барботированы через раствор $\text{Ba}(\text{OH})_2$. Выпавший осадок имел массу 118,2 г. Определите молекулярную формулу алкана.

Дано:

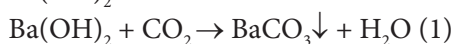
$$m(\text{алкана}) = 8,6 \text{ г}$$

$$m(\text{BaCO}_3) = 118,2 \text{ г}$$

Формула алкана – ?

Решение:

1. **Напишем** реакцию образования осадка в растворе $\text{Ba}(\text{OH})_2$:



2. **Вычислим** количество вещества BaCO_3 :

$$M(\text{BaCO}_3) = 197 \text{ г/моль}; \quad \nu(\text{BaCO}_3) = \frac{m}{M} = \frac{118,2 \text{ г}}{197 \text{ г/моль}} = 0,6 \text{ моль}$$

3. Из уравнения реакции $\nu(\text{BaCO}_3) = \nu(\text{CO}_2) = 0,6 \text{ моль}$.

4. **Вычислим** массы углерода и водорода: $M(\text{C}) = 12 \text{ г/моль}$;

$$m(\text{C}) = \nu \cdot M = 0,6 \text{ моль} \cdot 12 \text{ г/моль} = 7,2 \text{ г}; \quad m(\text{H}) = 8,6 - 7,2 \text{ г} = 1,4 \text{ г}.$$

5. **Определим** эмпирическую формулу:

$$\nu(\text{C}) : \nu(\text{H}) = \frac{7,2}{12} : \frac{1,4}{1} = 0,6 : 1,4 = 6 : 14$$

Формула: C_6H_{14} .

О т в е т: формула алкана C_6H_{14} .

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

- Плотность паров алкана по воздуху 4,414. Установите его формулу.
(О.: C_9H_{20})
- Установите формулу алкана, содержащего 83,33% углерода и имеющего плотность по водороду 36. Сколько существует изомеров этого углеводорода?
(О.: C_5H_{12} ; 3 изомера)
- При сгорании 3,6 г алкана образовалось 5,6 л оксида углерода (н. у.). Вычислите объём кислорода (н. у.), израсходованного на горение алкана.
(О.: 8,96 л)
- При сгорании алкана образовалось 44,8 л CO_2 и 45 г H_2O . Какое количество алкана сгорело и какова его формула?
(О.: C_4H_{10} ; 0,5 моль)
- Какова формула алкана, если объём CO_2 , образовавшегося при его сгорании, и объём израсходованного кислорода относятся как 3:5?
(О.: C_3H_8)
- В алкане массовое отношение C:H равно 5:1. Установите формулу алкана.
(О.: C_5H_{12})
- При полном сгорании 8,8 г алкана израсходовано 112 л воздуха (воздух содержит 20% O_2 по объёму). Установите формулу алкана и количество израсходованного кислорода.
(О.: C_3H_8 ; 22,4 л)
- При сжигании 3 г насыщенного углеводорода образовалось 8,8 г CO_2 и 5,4 г H_2O . В газообразном состоянии (н. у.) 1 л этого вещества имеет массу 1,34 г. Установите формулу углеводорода.
(О.: C_2H_6)
- Какой объём пропана был сожжён, если при этом образовалось 1,12 л CO_2 (н. у.)?
(О.: 0,373 л)
- *При сгорании 11,6 г алкана образовалось 18 г H_2O . Какой объём воздуха (воздух содержит 20% O_2 по объёму) был израсходован при горении, если учесть, что он содержал 40%-ный избыток кислорода?
(О.: C_4H_{10} ; 203,84 л)

Работа в группе Заполните таблицу, пользуясь для расчётов указанными объёмами веществ, участвующих в процессе горения этана. Вместо вопросительных знаков запишите рассчитанные значения.

№ п/п	$V(C_2H_6)$	$V(O_2)$	$V(CO_2)$
1.	200 мл	?	?
2.	?	4,5 л	?
3.	?	?	800 м ³
4.	?	?	?

ЗАВЕРШАЮЩАЯ ОЦЕНКА ЗНАНИЙ

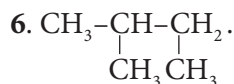
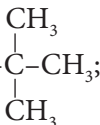
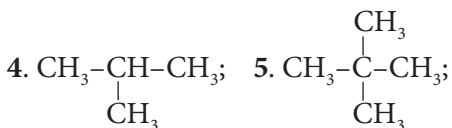
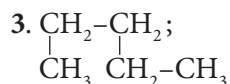
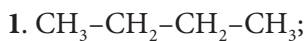
Гуманитарный профиль

1. Дай определение понятиям:

- а) алканы; б) гомологический ряд;
в) гомологическая разность; г) гомолог; д) изомер.

2. Объясни:

- а) способ образования связей между атомами углерода и водорода (C–H);
б) сколько связей C–C и связей C–H имеется в молекулах:
1) пропана; 2) 2-метилпропана; 3) бутана;
в) какие из нижеприведённых веществ (назови их) являются гомологами и какие – изомерами:



Обоснуй свой ответ.

3. Напиши структурные формулы следующих насыщенных углеводородов:

- а) 2-метилпропан; б) 2,3-диметилбутан;
в) 2,2,3-триметилбутан; г) 2,2,3,3-тетраметилбутан;
д) 3,3-диметилгексан; е) 2,2,3,4-тетраметилпентан.

4. Составь структурные формулы углеводородов, содержащих:

- а) только первичные атомы углерода;
б) один вторичный и два первичных атома углерода;
в) один третичный и три первичных атома углерода;
г) один четвертичный, один третичный и пять первичных атома углерода.

5. Укажи правильные утверждения:

- А. Общая формула алканов – C_nH_{2n} .
Б. В молекулах алканов все химические связи простые.
В. Пропан – первый представитель простейшего гомологического ряда алканов.
Г. Бутан и изобутан являются изомерами.
Д. Бутан и пентан являются гомологами.

6. Напиши и назови изомеры, которые соответствуют формуле C_6H_{14} .

7. Укажи правильный ответ:

Объём кислорода, израсходованного при сгорании 5,6 л метана (н. у.), равен:

- а) 11,2 л; б) 22,4 л; в) 44,8 л; г) 67,8 л.

РАСШИРЕНИЕ

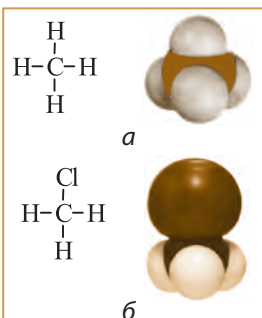
Галогеноалканы
(галогенопроизводные алканов)

Рис. 2.23. Объемные модели молекул метана (а) и хлорметана (б).

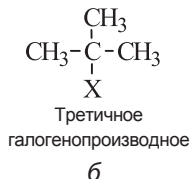
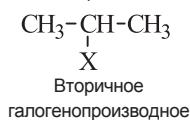
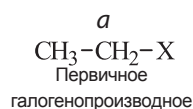
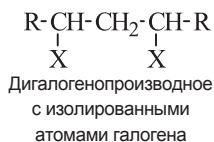
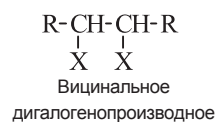
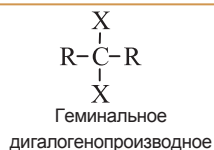


Рис. 2.24. Классификация галогенопроизводных:
а – по положению атомов галогенов; б – по природе атома углерода связанного с галогеном.

Определение. Классификация

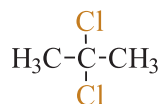
Органические галогенопроизводные – это такие производные углеводородов, которые получаютс заменением атомов водорода в них на атомы галогенов.

Моногалогенопроизводные образуют гомологический ряд общей формулы $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{X}$ ($\text{X}=\text{F}, \text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$).

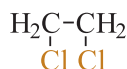
В галогенопроизводных атомы галогена связаны ковалентной связью с атомом углерода (рис. 2.23). Число известных галогенопроизводных очень велико. Их можно классифицировать по следующим признакам:

а) по числу атомов галогена в молекуле: моно-, ди-, три- и т.д., полигалогенопроизводные. Например, CH_3Cl – хлорметан, CH_2Cl_2 – дихлорметан, CHCl_3 – трихлорметан, CCl_4 – тетрахлорметан;

б) по взаимному расположению атомов галогена: геминальные (атомы галогена связаны с одним и тем же атомом углерода), вицинальные (атомы галогена расположены на соседних атомах углерода), галогенопроизводные с изолированными атомами галогена (атомы галогена разделены более чем двумя атомами углерода) (рис. 2.24, а).
Примеры:



2,2-Дихлорпропан



1,2-Дихлорэтан

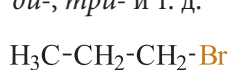


1,3-Дихлорбутан

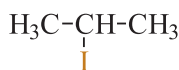
в) по типу атома углерода, связанного с галогеном: первичные, вторичные и третичные (рис. 2.24, б).

Номенклатура и изомерия галогеноалканов

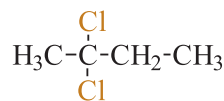
Систематическое название галогенопроизводного образуется добавлением приставки *фтор-*, *хлор-*, *бром-* или *йод-* к названию основного соединения. Положения и число атомов галогена указываются цифрами и приставками *ди-*, *три-* и т. д.



1-Бромпропан



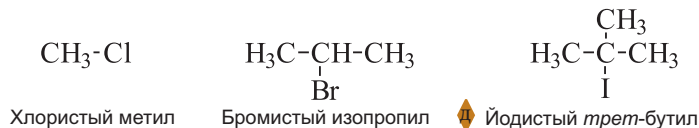
2-Йодпропан



2,2-Дихлорбутан

Часто используются радикально-функциональные названия. В русском языке используется групповое на-

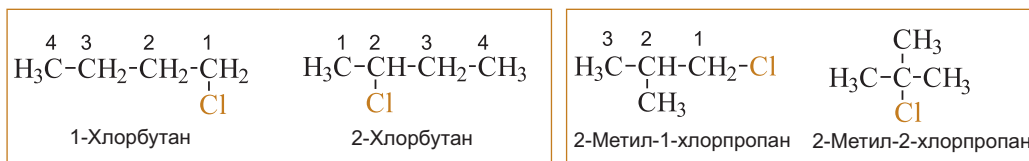
звание *фтористый, хлористый, бромистый и йодистый* с указанием названия радикала:



Для ряда соединений номенклатура IUPAC рекомендует использовать их неси-
стематические (тривиальные) названия: CHF_3 – *фтороформ*, CHCl_3 – *хлороформ*,
 CHBr_3 – *бромформ*, CHI_3 – *йодоформ* и некоторые другие.

Для галогеноалканов возможны *изомерия углеродного скелета* и *изомерия по-
ложения галогена*. Пример:

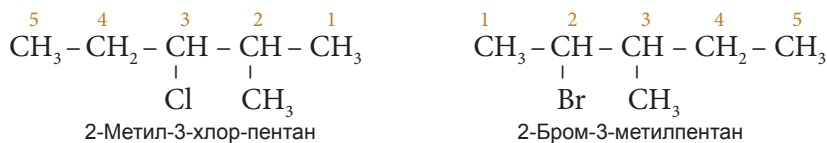
↙ **Изомерия углеродного скелета** ↘



Изомерия положения галогена

Изомерия положения галогена

Главную цепь галогеноалкана нумеруют так, чтобы заместители, независимо от их
природы (алкильный радикал или галоген), получили как можно меньшие номера:



Заместители, включая галоген, перечисляют в названии в алфавитном порядке
(сравни названия 1-бром-3-метил-пентан и 3-метил-1-хлор-пентан).

***Задание 2.5.** Напиши структурные формулы упомянутых галогеноалканов.

Физические свойства галогеноалканов

Физические свойства галогеноалканов зависят от строения углеродного скеле-
та и природы галогена. Низшие моногалогеноалканы при комнатной температуре
являются газами, большинство галогеноалканов – бесцветные летучие жидкости,
многие высшие галогеноалканы – твердые вещества. Галогеноалканы нераствори-
мы в воде, хорошо растворимы в спирте.

Летучесть галогеноалканов уменьшается с ростом их молекулярной массы (*та-
блица 2.4*).

Таблица 2.4. Некоторые физические свойства галогеноалканов

Название	Формула	Молекулярная масса	Т. кип., °С	Плотность d, г/см ³
Фторметан	CH_3F	34	-78	–
Хлорметан	CH_3Cl	50,5	-24	–
Бромметан	CH_3Br	95	4,5	1,77
Йодметан	CH_3I	142	42,8	2,28

Задание 2.6. Сравни физические свойства галогеноалканов (*таблица 2.4*) и
сформулируй выводы о том, как зависят они от молекулярной массы и от природы
галогена.

Химические свойства и применение галогеноалканов

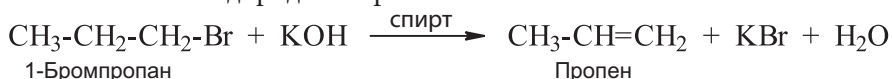
Для галогенопроизводных характерны **реакции замещения** галогена на другие атомы и **реакции элиминирования** с образованием алкенов.

А. Реакции галогеноалканов с водой (гидролиз).

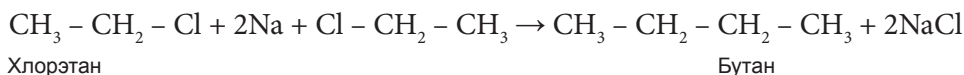
При нагревании моногалогеноалканов с водными растворами щелочей образуются **спирты**:



Б. Реакция галогеноалканов со щелочами в спиртовой среде приводит к отщеплению галогеноводорода и образованию **алкенов**:



В. Реакция галогенопроизводных с металлическим натрием (реакция Вюрца):



Она применяется для синтеза симметричных углеводородов.

Важнейшие области применения галогеноалканов

Галогеноалканы находят широкое применение (таблица 2.6).

Таблица 2.6. Свойства и применение некоторых галогеноалканов

Соединение	Формула	Физические характеристики	Применение
Хлористый метил (хлорметан)	CH_3Cl	Газ, сжижается при -24°C	Агент метилирования, хладоагент
Хлористый этил (хлорэтан)	$\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$	Газ, сжижается при $+12,2^\circ\text{C}$	Хладоагент, анестетик
Хлороформ (трихлорметан)	CHCl_3	Бесцветная жидкость со сладковатым запахом, растворяет жиры	Растворитель, анестетик
Йодоформ (трийодметан)	CHI_3	Желтые кристаллы, нерастворим в воде	Антисептик
Четыреххлористый углерод (тетрахлорметан)	CCl_4	Бесцветная жидкость, нерастворимая в воде, негорюч	Растворитель, средство для тушения пожаров

Задание 2.7. Изучи таблицу 2.6 и расскажи об областях применения галогеноалканов.

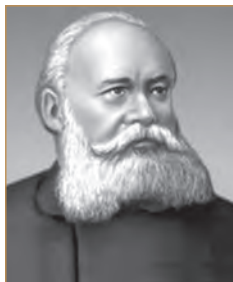
*Полифторуглеводороды, содержащие иногда атомы хлора или брома, называются **фреонами** (CF_2Cl_2).

Для качественного определения галогенов в органическом веществе его сжигают на поверхности платиновой проволоки (если нет платины, берут медную проволоку). Если вещество содержит галоген, пламя окрашивается в интенсивный зеленый цвет (проба Бейльштейна – см. стр. 67).

Знаешь ли ты, что...

В 1995 г. голландский метеоролог Пауль Крутзен и американские химики М. Молина и С. Роуланд получили Нобелевскую премию за исследования, в которых показали, что в разрушении озонового слоя главную роль играют фреоны (CF_2Cl_2 , CFCl_3 и др.).

2.1.6*.



В.В. Марковников
(1837-1904)

Русский химик-органик. Заложил основы нефтехимии как самостоятельной науки. Разработал новые методы анализа и синтеза органических соединений.

Открыл (1883) новый класс органических соединений – циклопарафины.

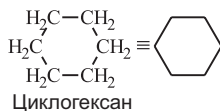
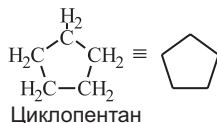
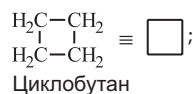
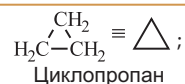


Рис. 2.25. Циклоалканы.

Циклоалканы – насыщенные циклические углеводороды

Цепь, образованная атомами углерода в состоянии sp^3 -гибридизации, может иметь не только линейную или разветвленную, но и циклическую структуру.

Насыщенные углеводороды, содержащие цикл из атомов углерода, называются **циклоалканами**. Общая формула циклоалканов C_nH_{2n} , где $n = 3, 4, 5, 6 \dots$

Циклоалканы впервые обнаружены В.В. Марковниковым в бакинской нефти (нафтенy).

Расширение

Структура и номенклатура

Любой циклоалкан содержит на два атома водорода меньше, чем алкан с тем же числом атомов углерода. Первый представитель гомологического ряда циклоалканов содержит три атома углерода. Первые представители гомологического ряда циклоалканов представлены на рис. 2.20 (для них допускаются упрощенные структурные формулы, знак « $\equiv$ » означает «эквивалентно»).

Название циклоалкана образуется из названия алкана добавлением приставки *цикло-*.

Циклоалканы, в зависимости от величины цикла, делятся на:

- а) циклоалканы с малыми циклами (C_3-C_4);
- б) циклоалканы со средними циклами (C_5-C_7).

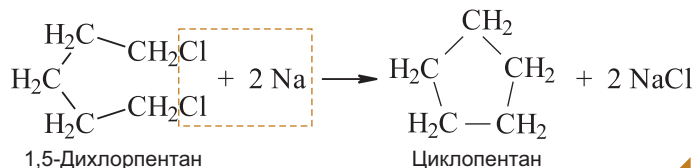
Наибольшее практическое применение имеют циклоалканы с шестью атомами углерода.

*Методы получения циклоалканов

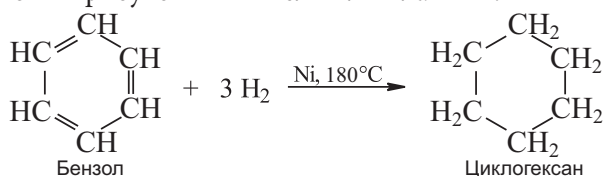
Некоторые типы нефтей, например, на Кавказе, в Западной Украине, Румынии, богаты циклоалканами. Чем больше циклоалканов содержит нефть, тем она ценнее.

В лаборатории циклоалканы получают из ациклических соединений, которые в подходящих реакциях циклизуются. Наибольшие выходы получаются при образовании циклов из 5 или 6 атомов углерода.

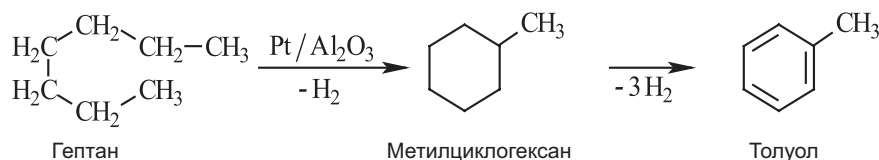
1. Дигалогенопроизводные с атомами галогена на концевых атомах углерода при обработке металлическим натрием образуют циклоалканы (реакция Вюрца):



2. Циклогексан и его производные легко получают при гидрировании бензола и его гомологов в присутствии никеля или платины:



3. При дегидрировании гексан переходит в циклогексан, аналогично гептан дегидроциклизуется в метилциклогексан (шестичленный цикл наиболее стабилен), который в тех же условиях далее **ароматизируется** (дегидроциклизуется) в толуол:

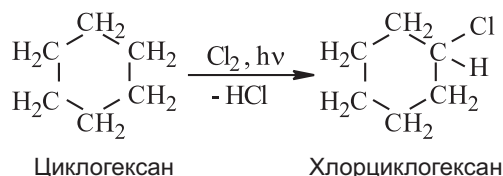


* Химические свойства циклоалканов

Представители гомологического ряда насыщенных ациклических углеводородов проявляют сходные физические и химические свойства. Свойства же циклоалканов зависят от размера цикла. Практическое применение находят циклоалканы с пятью и шестью атомами углерода в цикле.

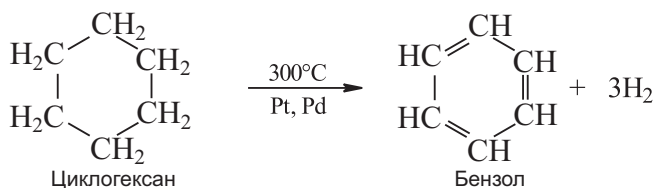
Циклоалканы со средними циклами (C_5 – C_7) очень стабильны, их химические свойства подобны свойствам алканов (реакции замещения, дегидрирования).

1.* Циклогексан и метилциклопентан легко хлорируются при освещении:



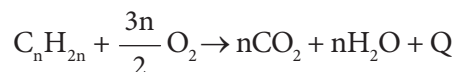
Задание 2.8. Объясни реакцию хлорирования метилциклопентана при освещении.

2.* Каталитическое дегидрирование циклогексана является одним из наиболее современных методов получения бензола (Н. Д. Зелинский):



Задание 2.9. Напиши уравнение реакции каталитического дегидрирования 1,4-диметилциклогексана.

3.* Циклоалканы, входящих в состав некоторых сортов нефти, могут быть использованы как горючее. Общее уравнение горения циклоалканов таково:



Задание 2.10. Напиши уравнение реакции горения циклогексана.

2.1.7.

Защита окружающей среды от загрязнений, образующихся при использовании природного газа, нефти и угля

Рис. 2.26. Загрязнение воздуха.

Индустриализация в мировом масштабе негативно отражается на окружающей среде. Загрязнение окружающей среды в высокоразвитых странах достигло тревожного уровня. Возникла необходимость принятия конкретных мер по борьбе с ним.

Защите подлежат следующие природные объекты: воздух, вода, почва и недра Земли, наземная и подводная растительность. Нуждаются в защите города и населенные пункты.

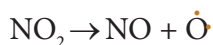
В зависимости от вида промышленной деятельности, загрязнителями могут быть твердые частицы, жидкости, газы и пары (рис. 2.26). Из них наиболее пагубными являются:

1. Сырая нефть, которая в больших количествах загрязняет почву и воды в результате аварий, происходящих при транспортировке её к местам переработки.

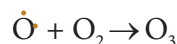
2. Оксид углерода (II) (угарный газ), образующийся при неполном сгорании различных видов горючего. В крови он связывается в стабильный комплекс с гемоглобином, оказывая токсическое действие на живые организмы. Нахождение человека в закрытом помещении, в котором концентрация этого газа составляет 10%, в течение 2 минут приводит к смерти.

3. Оксиды азота и серы попадают в воздух при горении природного топлива. Поэтому их считают первичными загрязнителями атмосферы. Соединения азота и серы присутствуют в виде примесей в большинстве видов углеводородного горючего. В процессе горения образуются кислотные оксиды (SO_2 , SO_3 , N_xO_y), приводящие к двойному загрязнению среды. Во-первых, при растворении в воде они образуют кислоты, и, как следствие, являются причиной «кислотных» дождей (рис. 2.27). Во-вторых, эти оксиды при действии ультрафиолетового излучения образуют с углеводородами, выброшенными в атмосферу при неполном сгорании в двигателях автомобилей, слой очень загрязненного воздуха – *смог*¹.

В этих процессах участвует радикал кислорода, инициирующий цепную реакцию:



Этот радикал взаимодействует с молекулой кислорода и образует молекулу озона:



Озон – это газ, токсичный как для животных, так и для растений. Он является вторичным загрязнителем атмосферы. Если в атмосфере отсутствуют углеводороды, озон с оксидом азота (II) образует оксид азота (IV):

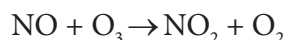


Рис. 2.27. Последствия кислотного дождя.

¹ Смог – устойчивый туман или загрязненный воздух с пониженной прозрачностью, удерживающийся в определенной зоне много дней подряд.

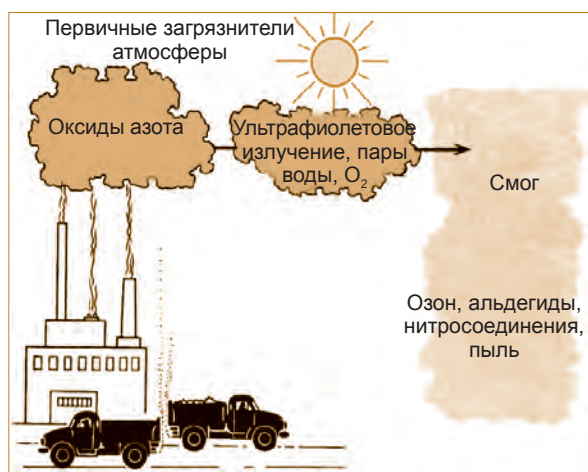


Рис. 2.28. Образование смога.

нии топлива. Они также входят в состав смога.

5. Соединения свинца загрязняют атмосферу в результате использования тетраэтилсвинца – $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$ в качестве антидетонационной добавки к бензинам. Свинец и его соединения очень токсичны. Попадая в живой организм, они способны накапливаться в нем. Сильнее всего от свинца страдает центральная нервная система. Наибольшая концентрация свинца в городских зонах, где его находят в воздухе, в дождевой воде и в сельхозпродуктах. Национальные и международные организации предъявляют строгие требования к защите окружающей среды.

Меры по защите окружающей среды от загрязнений

Разнообразие загрязнителей атмосферы, вод и почвы требует, соответственно, и разнообразных методов борьбы с их вредным влиянием.

Так, были установлены санитарные нормы для проектирования промышленных предприятий, предусматривающие уменьшение загрязнения воздуха выбросами в атмосферу. Существуют установки для улавливания и обезвреживания промышленных отходов. Для улавливания золы и копоти применяются различные системы – сухие (электрофильтры, фильтры-жалюзи, батареи циклонов) и влажные (водяная завеса). Применение их значительно уменьшает степень загрязнения воздуха твердыми частицами различных веществ.

Борьба с загрязнением газами требует применения значительно более сложных установок. Поэтому, для уменьшения до минимума количества вредных газов, выделяемых в атмосферу, рекомендуется применение горючих, дающих как можно меньше дыма при горении или сгорающих полностью.

Электрификация и газификация промышленных предприятий способствует уменьшению загрязнения воздуха. Для того, чтобы избежать отравления выхлопными газами, рекомендуется строить дороги и шоссе вдали от населенных пунктов, а также создание защитных зеленых зон.

Знаешь ли ты, что...

Зернышко урана ^{238}U производит такое же количество теплоты, какое выделяется при сгорании 2,7 тонны угля или 1,9 тонны нефти.

Меры предосторожности при работе в химической лаборатории

Практические работы выполняются только в химической лаборатории под руководством преподавателя.

Химический эксперимент, несмотря на то, что он очень интересен, во многих случаях может быть опасен, если не соблюдать определённые правила предосторожности. Работающие в лаборатории могут пораниться осколками стекла, получить термические или химические ожоги, возможны отравления и случаи возгорания.

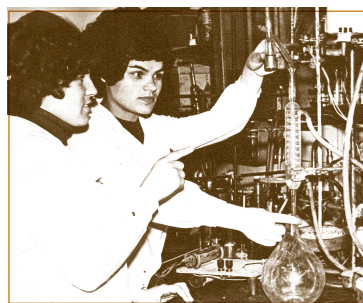


Рис. 2.29. Лаборатория органической химии.



Запомни:

- Прежде, чем брать вещество из сосуда, внимательно прочитай этикетку на нём.
- Органические растворители огнеопасны! Их нельзя нагревать на открытом пламени, а только на водяной или песочной бане.
- Перед работой проверь исправность оборудования и целостность стеклянной посуды.
- Реактивы храни в специальной посуде, имеющей этикетку с названием реактива.
- По окончании работы вымой использованную посуду, приведи в порядок рабочее место и после этого тщательно вымой руки.



ВАЖНЕЙШИЕ МЕЖДУНАРОДНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ВЕЩЕСТВ!



2.1.8*.

Определение углерода, водорода и галогенов в органических веществах

* Практическая работа № 1

Приборы и принадлежности: спиртовка или газовая горелка, спички, металлический штатив с держателем, штатив с пробирками, газоотводная трубка с пробкой, вата, медная проволока.

Реактивы: сахар или парафин, оксид меди (II), безводный сульфат меди, известковая вода, хлороформ.

I. Определение углерода и водорода

Качественный состав органических веществ может быть определен окислением их оксидом меди (II) (стр. 17).



Рис. 2.30. Определение С и Н в органических веществах.

Порядок работы

1. В сухую пробирку (1) **вносят** смесь 0,2 г сахара или парафина и 1–2 г порошка оксида меди (II).
2. Пробирку (1) **закрепляют** горизонтально в металлическом штативе (рис. 2.30).
3. Внутри пробирки (1), примерно на середине, **помещают** ватный тампон, на который наносят несколько крупинок безводного CuSO_4 .
4. Отверстие пробирки (1) **закрывают** пробкой с газоотводной трубкой. Другой конец газоотводной трубки погружают в раствор известковой воды (1–2 мл) в пробирке (2).
5. Содержимое пробирки (1) осторожно **нагревают** вначале слабо, затем сильнее.
6. После того, как известковая вода помутнеет, газоотводную трубку **вынимают** из нее и прекращают нагревание.
7. **Опишите** изменения содержимого пробирки (1) и изменение цвета CuSO_4 .

II. Обнаружение галогена

Галогены обнаруживают по изменению цвета пламени при внесении в него медной проволоки с веществом (проба Бейльштейна) (стр. 17).



Порядок работы

1. **Скрути** в форме спирали конец медной проволоки.
2. **Прокали** этот конец в пламени спиртовки или газовой горелки до тех пор, пока цвет пламени не перестанет изменяться.
3. **Прикоснись** горячим концом проволоки к органическому веществу, содержащему галоген.
4. **Введи** конец проволоки с веществом в пламя спиртовки (рис. 2.31).
5. **Наблюдай** появление ярко-зеленой окраски пламени, обусловленной летучими галогенидами меди и свидетельствующей о наличии галогена в органическом веществе.
6. **Опиши** порядок работы, наблюдения и выводы в своей лабораторной тетради, оформив их в виде следующей таблицы:

Оборудование и реактивы	Порядок работы. Схема установки	Наблюдения и их объяснение	Уравнения реакций. Выводы

2.1.9*.

Расчётные задачи по общей формуле галогеноалканов, циклоалканов и уравнениям их реакций

I. Установление молекулярной формулы по массовой доле галогена и общей формуле галогеноалканов.

Задача 1

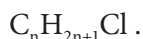
Хлоралкан содержит 38,38% Cl. Определите молекулярную формулу хлоралкана.

Дано:
 $\omega(\text{Cl}) = 38,38\%$

Формула – ?

Решение:

1. Напишем общую формулу монохлоралканов:



2. Определим молекулярную массу хлоралкана по соотношению:

$$\omega(\text{E}) = \frac{n \cdot \text{Ar}(\text{E})}{\text{Mr}(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{Cl})} \cdot 100\%, \text{ откуда}$$

$$\text{Mr}(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{Cl}) = \frac{n \cdot \text{Ar}(\text{Cl}) \cdot 100\%}{\omega(\text{Cl})} = \frac{1 \cdot 35,5 \cdot 100\%}{38,38\%} = 92,5.$$

3. Вычислим молекулярную массу хлоралкана по общей формуле:

$$\text{Mr}(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{Cl}) = 12n + 2n + 1 + 35,5 = 14n + 36,5.$$

4. Вычислим значение n из уравнения:

$$14n + 36,5 = 92,5; n = 4.$$

5. Подставим значение n в общую формулу: $\text{C}_4\text{H}_9\text{Cl}$.

О т в е т: молекулярная формула хлоралкана $\text{C}_4\text{H}_9\text{Cl}$.

II. Расчёты по уравнению реакций получения галогеноалканов.**Задача 2**

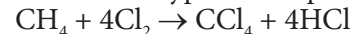
Вычислите объём метана и массу хлора, необходимых для получения 15,4 г тетрахлорметана.

Дано:
 $m(\text{CCl}_4) = 15,4 \text{ г}$

$V(\text{CH}_4) - ?$
 $m(\text{Cl}_2) - ?$

Решение:

1. Напишем уравнение реакции хлорирования метана:



2. Вычислим количества вещества тетрахлорметана, метана и хлора:

$$\nu(\text{CCl}_4) = \frac{m(\text{CCl}_4)}{M(\text{CCl}_4)} = \frac{15,4 \text{ г}}{154 \text{ г/моль}} = 0,1 \text{ моль}; \text{ из уравнения реакции следует:}$$

$$\nu(\text{CCl}_4) = \nu(\text{CH}_4) = 0,1 \text{ моль}; \nu(\text{CCl}_4) = 4\nu(\text{Cl}_2); \nu(\text{Cl}_2) = 0,4 \text{ моль}.$$

3. Определим объём метана из соотношения:

$$\nu(\text{CH}_4) = \frac{V(\text{CH}_4)}{V_m} \rightarrow V(\text{CH}_4) = \nu(\text{CH}_4) \cdot V_m; V(\text{CH}_4) = 0,1 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 2,24 \text{ л}.$$

4. Вычислим массу хлора из соотношения:

$$\nu(\text{Cl}_2) = \frac{m(\text{Cl}_2)}{M(\text{Cl}_2)} \rightarrow m(\text{Cl}_2) = \nu(\text{Cl}_2) \cdot M(\text{Cl}_2); m(\text{Cl}_2) = 0,4 \text{ моль} \cdot 71 \text{ г/моль} = 28,4 \text{ г}.$$

О т в е т: объём метана – 2,24 л, масса хлора – 28,4 г.

Задача 3

Циклоалкан имеет плотность по воздуху равную 2,896. Установите молекулярную формулу циклоалкана. Напишите его структурную формулу, зная, что его цикл не содержит боковых цепей.

Дано:

$$D_{(\text{возд.})} = 2,896$$

Формула – ?

Решение:

1. Вычислим молекулярную массу циклоалкана по соотношению:

$$Mr = 29 \cdot D_{\text{возд.}} = 29 \cdot 2,896 = 84.$$

2. Определим число атомов углерода по общей формуле циклоалканов:

$$Mr(C_n H_{2n}) = 12n + 2n = 14n, \text{ а } Mr(C_n H_{2n}) = 84; 14n = 84; n = 6.$$

Молекулярная формула циклоалкана – $C_n H_{2n} \rightarrow C_6 H_{12}$.

От в е т : молекулярная формула циклоалкана $C_6 H_{12}$ – циклогексан, его структурная формула .

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. При хлорировании алкана образуется только один галогеноалкан, содержащий 33,33% хлора. Установите молекулярную формулу алкана и напишите его структурную формулу.

(О.: $C_5 H_{12}$)

2. Массовая доля углерода в органическом веществе составляет 51,89%, хлора – 38,38%, всё остальное – водород. Плотность паров вещества по кислороду равна 2,89. Установите молекулярную формулу галогенопроизводного.

(О.: $C_4 H_9 Cl$)

3. Хлоралкан имеет молекулярную массу 237 и содержит 89,9% хлора. Какова его формула?

(О.: $C_2 Cl_6$)

4. Вычислите массу тетрахлорметана, который может получиться из 2,24 л метана и 11,2 л хлора.

(О.: 15,4 г)

5. Вычислите массу хлорэтана, полученного хлорированием 530 л этана (н. у.).

(О.: 1,53 кг)

6. При горении одного объёма паров циклоалкана расходуется 9 объёмов кислорода. Какова формула циклоалкана?

(О.: $C_6 H_{12}$)

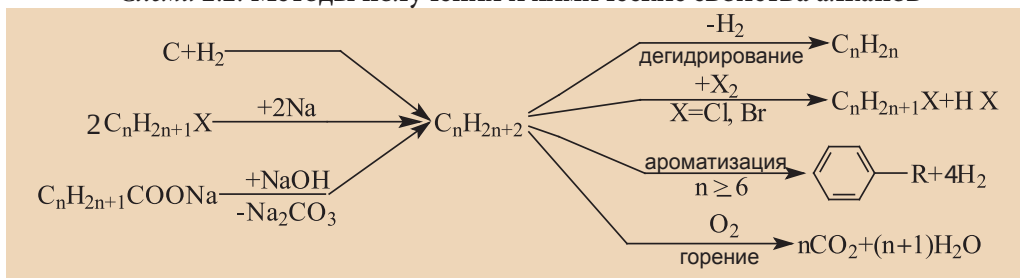
7. Плотность паров органического вещества по воздуху равна 4,81 и оно содержит 17,27% углерода. При анализе из 2,78 г вещества получили 3,76 г AgBr. Атомное отношение C:H для вещества равно 2:3. Определите молекулярную формулу вещества.

(О.: $C_2 H_3 O_2 Br$)

ПОВТОРИ И ЗАКРЕПИ СВОИ ЗНАНИЯ: НАСЫЩЕННЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ

- ◆ **Насыщенные углеводороды (алканы)** – это органические вещества, молекулы которых состоят только из атомов С и Н. Их общая формула C_nH_{2n+2} , в которой n означает число атомов углерода в алкане. Алканы и изоалканы являются изомерами цепи.
- ◆ Алканы и изоалканы построены за счет неполярных σ -связей, которые являются очень прочными (разрываются с трудом). Вокруг связей С-С возможно свободное вращение. В зависимости от молекулярной массы алканы могут быть: газами, жидкостями или твердыми веществами.
- ◆ Алканы являются неполярными веществами, поэтому растворяются только в неполярных растворителях. Они стабильны до 400°C . При более высокой температуре разлагаются.
- ◆ **Ряд веществ** со сходной структурой называется гомологическим рядом, в котором каждый последующий член отличается от предыдущего на группу $-CH_2-$, называемую гомологической разностью.
- ◆ **Алкильная группа** или **радикал** – это часть молекулы алкана, из которой удален один атом водорода (CH_3- , C_2H_5- , C_3H_7- и др.). Их названия производятся от названия соответствующего алкана замещением окончания **ан** на **ил** (метан-метил, этан-этил и др.).
- ◆ Для алканов характерны реакции **замещения, отщепления (элиминирования) и горения**. Методы получения и химические свойства алканов представлены на схеме 2.2.
- ◆ **Алкилгалогениды** являются органическими соединениями, которые получают из алканов замещением атомов водорода на атом галогена X (F, Cl, Br, I).

Схема 2.2. Методы получения и химические свойства алканов



- ◆ Наиболее важными **природными источниками** углеводородов являются: природный газ, нефть и ископаемые угли.
- ◆ **Природный газ** является смесью газообразных углеводородов: метан, этан, пропан, бутан, в которой преобладает метан (около 75–98%).
- ◆ **Нефть** является маслообразной жидкостью со специфическим запахом, легче воды. Она является смесью различных углеводородов, поэтому не имеет точной температуры кипения.
- ◆ **Основными фракциями нефти**, получаемыми при первичной перегонке являются: бензин, лигроин, дизельное топливо, мазут; при вторичной перегонке получают масла, парафин, битум.
- ◆ **Бензин** – самый ценный продукт, получаемый при переработке нефти, он является смесью жидких насыщенных углеводородов, как линейных (гексан, гептан, октан) так и разветвленных (изогексан, изооктан).

2.1.10*.

ЗАВЕРШАЮЩАЯ ОЦЕНКА ЗНАНИЙ

Реальный профиль

- Дай определение понятиям:
 - алканы, *галогеноалканы, циклоалканы;
 - гомологический ряд, гомологическая разность;
 - изомерия, изомер.
 - Объясни:
 - Связями какого типа образованы молекулы соединений: этан, *бромэтан, циклогексан?
 - *В чем различие между реакцией дегидрирования и реакцией галогенирования алкана? Приведи примеры этих реакций.
 - Какие из данных веществ (назови их) являются гомологами и какие – изомерами?
- 1) $\text{CH}_3 - \underset{\text{CH}_3}{\underset{\text{CH}_3}{\text{C}}} - \text{CH}_3$; 2) $\text{CH}_3 - \underset{\text{CH}_3}{\text{CH}} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$; 3) 
- 4) $\text{CH}_3 - \underset{\text{CH}_3}{\underset{\text{CH}_3}{\text{C}}} - \text{CH}_2 - \text{Cl}$; 5) ; 6) $\text{CH}_2 - \underset{\text{CH}_3}{\text{CH}} - \text{CH}_2$; 7)* $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \underset{\text{Cl}}{\text{CH}_2}$;
- 8) $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$.
- Выполни следующие задания:

А. Напиши структурные формулы следующих соединений: а) 2,2,4-триметилгексан; *б) 2-бром-3-метилпентан; в) метилциклобутан; г) 2-метил-3-этилпентан.

Б. Углеводород 2,2,3-триметилбутан является представителем гомологического ряда с общей формулой: а) $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$; б) $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$; в) C_nH_{2n} .
 - Выбери правильный ответ:

А. В молекуле метана четыре орбитали атома углерода являются: а) разными; б) одинаковыми.

Б. Химические связи в алканах являются: а) ионными; б) ковалентными.

В. Атом углерода имеет тетраэдрическое строение: а) только в метане; б) во всех алканах.

Г. Связь С–Н в галогеноалканах: а) неполярна; б) сильно поляризована.
 - Напиши уравнения реакций следующих превращений:

$$\text{C} \rightarrow \text{CH}_4 \rightarrow \text{CH}_3\text{Br} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_6 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{Cl} \rightarrow * \text{C}_4\text{H}_{10} \rightarrow \text{CO}_2.$$
 - Реши задачу:

При сгорании 7,2 г органического вещества в кислороде образовалось 10,8 г воды. Образовавшийся оксид углерода (IV) был барботирован в известковую воду $\text{Ca}(\text{OH})_2$, при этом образовался осадок массой 50 г. Плотность паров вещества по воздуху равна 2,483. Установите формулу органического вещества. (О.: C_5H_{12})
 - Разработка и представление проекта:

Составь проект на тему: «Алканы как источники энергии: преимущества и недостатки».

2.2.

Ненасыщенные углеводороды

2.2.1.

Алкены



или

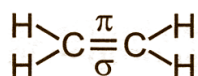


Рис. 2.32. Изображение связей в молекуле этена.

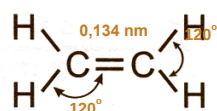


Рис. 2.33. Геометрия молекулы этена.

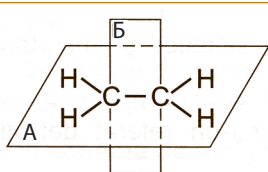


Рис. 2.34. Изображение плоскостей двойной связи.

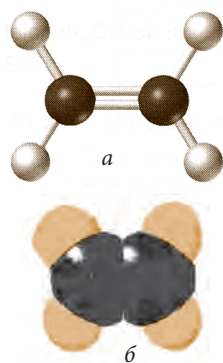


Рис. 2.35. Модели молекулы этена: а – шаростержневая; б – объемная.

Определение, *строение

Ненасыщенные ациклические углеводороды, молекулы которых содержат одну двойную $\text{C}=\text{C}$ -связь и состав которых соответствует формуле C_nH_{2n} , где $n = 2, 3, 4$ и т.д., называются **алкенами**.

По сравнению с алканами с тем же числом атомов углерода, у алкенов на два атома водорода меньше. Так как двойная связь свидетельствует о ненасыщенности, алкены являются **ненасыщенными углеводородами**. Эти углеводороды также называются **олефинами**, поскольку их галогено-производные являются маслянистыми жидкостями.

Самый простой алкен – этен (C_2H_4) – образован двумя атомами углерода. Они соединены одной σ -связью ($\text{C}-\text{C}$) за счет двух электронов, по одному от каждого атома углерода. В свою очередь, эти атомы образуют с четырьмя атомами водорода четыре простых σ -связей ($\text{C}-\text{H}$) (рис. 2.32). Простые связи между атомами углерода и четырьмя атомами водорода находятся в одной плоскости под углом 120° , образуя скелет молекулы (рис. 2.33). Кроме того, между атомами углерода образуется еще π -связь за счет двух пар электронов. Плоскость π -связи (план Б) перпендикулярна плоскости σ -связи (план А) (рис. 2.34). Все другие атомы углерода высших алкенов имеют простые σ -связи, направленные тетраэдрически (как в алканах). Поэтому, нормальные алкены образуют такую же зигзагообразную цепь, и прямую цепь в том месте, где находится двойная связь (таблица 2.6).

Строение молекулы этена может быть представлено как шаро-стержневой моделью, так и объемной (рис. 2.35).

Образование π -связи сокращает расстояние между ними, и делает его меньше чем в алканах. В молекулах алканов длина σ -связи равна $0,154 \text{ нм}$, а расстояние между $\text{C}=\text{C}$ атомами равно **$0,134 \text{ нм}$** .

Основным свойством двойной связи является ее «ненасыщенность». Процесс «насыщения» происходит при разрыве π -связей в алкене и присоединением других атомов (одинаковых или разных).

Гомология, номенклатура и изомерия

Если в общей формуле алкенов (C_nH_{2n}) последовательно давать значения n , или применять гомологическую разность ($-CH_2-$), в итоге, получается гомологический ряд алкенов, начиная с этена (таблица 2.7).

Согласно номенклатуре IUPAC, **систематическое название** алкенов образуется из названия соответствующего алкана заменой окончания *-ан* на *-ен*, с указанием номера атома углерода, с которого начинается двойная связь. Для разветвлённых алкенов названия составляют по следующим правилам IUPAC:

1	Выбирают самую длинную углеродную цепь, содержащую двойную связь. Эта цепь называется главной. Её нумеруют так, чтобы атом углерода, с которого начинается двойная связь, получил наименьший номер.
2	Приоритет алкильных групп и галогенов определяется алфавитом.
3	В алфавитном порядке записывают названия всех радикалов, образующих ответвления. Перед названием каждого радикала обозначают цифрой его положение в главной цепи. При необходимости употребляют приставки <i>ди-</i> , <i>три-</i> и т. д. Далее записывают корень названия соответствующего алкана, затем цифру, указывающую положение двойной связи, и в конце – окончание <i>-ен</i> .
4	Все части названия соединяют знаками препинания: между цифрами ставят запятую, между цифрой и буквой – черточку.

Для некоторых алкенов сохраняются их несистематические названия – этилен, пропилен.

Таблица 2.7. Номенклатура и изомерия алкенов

Молекулярная формула	Структурная формула	Тип изомерии	Номенклатура IUPAC	
			Систематическое название	Несистематическое название
C_2H_4	$CH_2=CH_2$	–	Этен	Этилен
C_3H_6	$\begin{array}{c} 3 \quad 2 \quad 1 \\ CH_3-CH=CH_2 \end{array}$	а) *функциональная с циклопропаном;	Пропен	Пропилен
C_4H_8	$\left\{ \begin{array}{l} \begin{array}{c} 4 \quad 3 \quad 2 \quad 1 \\ CH_3-CH_2-CH=CH_2 \end{array} \\ \begin{array}{c} 1 \quad 2 \quad 3 \quad 4 \\ CH_3-CH=CH-CH_3 \end{array} \\ \begin{array}{c} H_3C \quad C=C \quad CH_3 \\ \quad \quad \\ H \quad \quad H \end{array} \\ \begin{array}{c} H_3C \quad C=C \quad H \\ \quad \quad \\ H \quad \quad CH_3 \end{array} \\ \begin{array}{c} H_3C-C=CH_2 \\ \\ CH_3 \end{array} \end{array} \right\} *$	а) функциональная с циклобутаном; б) положения двойной связи; *в) геометрическая (для бут-2-ена); г) цепи.	Бут-1-ен Бут-2-ен цис-Бут-2-ен транс-Бут-2-ен 2-Метилпропен	 Изобутилен

Радикал, производимый от этена ($-CH=CH_2$), называется **винильной группой**, а атом водорода – винильным. Радикал, производимый от пропена ($-CH_2-CH=CH_2$) называется **аллил**.

Изомерия в ряду алкенов обусловлена изомерией цепи, встречающейся и у алканов, положением двойных связей и положением атомов в пространстве (**цис-**, **транс-изомерия**).

Расширение

*Геометрическая изомерия

В продолжение следует сказать о паре атомов углерода, образующих двойную связь, для которых свободное вращение вокруг этой связи невозможно. Поэтому у алкенов возникает новый тип изомерии (геометрическая или *цис*-, *транс*-), которая определяет положение заместителей при двойной связи алкена. Примером последней могут служить два стереоизомера бут-2-ена: *цис*-бут-2-ен, у которого два метильных (CH_3) заместителя расположены по одну и ту же сторону плоскости π -связи (рис. 2.36, а) и *транс*-бут-2-ен, у которого эти заместители располагаются по разные стороны плоскости π -связи (рис. 2.36, б).

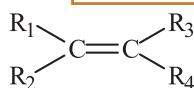
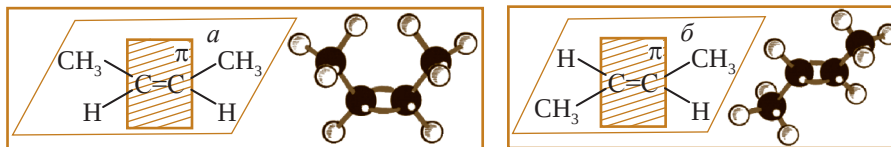
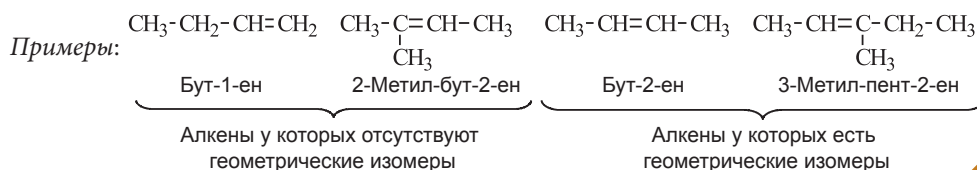


Рис. 2.36. Расположение заместителей (CH_3) в геометрических изомерах Бут-2-ена: а – *цис*-Бут-2-ен; б – *транс*-Бут-2-ен.

Нетрудно заметить, что геометрическая изомерия проявляется только в случае, когда каждый атом углерода двойной связи связан с двумя различными атомами или группами:

если $\text{R}_1 \neq \text{R}_2$ и $\text{R}_3 \neq \text{R}_4$, имеется геометрическая изомерия;

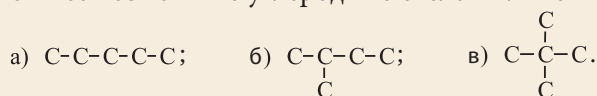
если $\text{R}_1 = \text{R}_2$ или $\text{R}_3 = \text{R}_4$, геометрическая изомерия отсутствует.



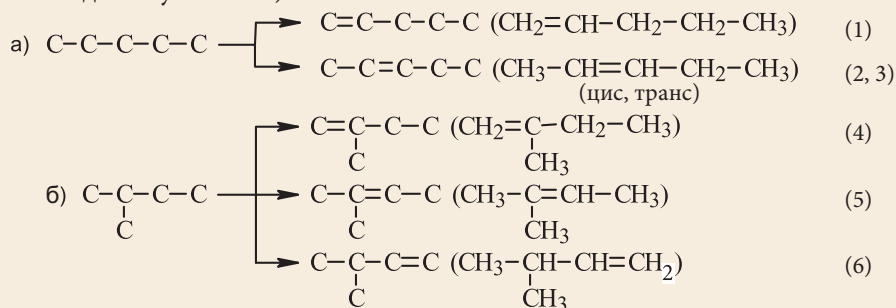
А. Алгоритм составления структурных формул изомеров алкенов

Пример: Написать структурные формулы алкенов состава C_5H_{10} .

Решение: **1** Напишем все возможные углеродные скелеты линейной и разветвлённой структуры:



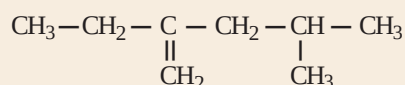
Обозначим все возможные позиции двойной связи для случаев «а» и «б» (почему это невозможно для случая «в»?):



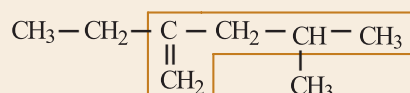
Ответ: таким образом, алкен C_5H_{10} имеет 6 структурных изомеров.

Б. Алгоритм применения правил номенклатуры ненасыщенных углеводородов с двойной связью

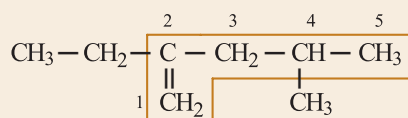
Пример: Составить систематическое название алкена со следующей структурой:



Решение: **1** Устанавливаем, что основанием для выбора главной цепи является наличие в ней двойной связи:

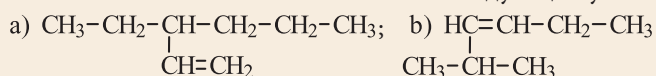


2 Далее нумеруем основную цепь так, чтобы двойная связь получила наименьший номер:



3 Обозначаем цифрами места разветвлений (2 и 4), в которых находятся радикалы (**2-этил-** и **4-метил-**), затем число атомов основной цепи (**пент**), положение двойной связи (**-1-**) и, наконец, окончание **-ен**. Таким образом, название углеводорода будет следующее: **2-этил-4-метил-пент-1-ен**.

Задание 2.11. Составь систематические названия следующих углеводородов:



Физические свойства алкенов

Первые три представителя ряда алкенов – этен, пропен, бутен в обычных условиях являются газами, алкены с 5–18 атомами углерода – жидкости, последующие алкены – твердые вещества (таблица 2.8).

Таблица 2.8. Физические константы некоторых алкенов

Систематическое название	Молекулярная формула	Структурная формула	Геометрия молекул	$T_{\text{кип.}}, ^\circ\text{C}$	Плотность $\rho, \text{г/см}^3$
Этен	C_2H_4	$\text{CH}_2=\text{CH}_2$	$=$	-104	0,570
Пропен	C_3H_6	$\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}_2$		-48	0,610
Бут-2-ен	C_4H_8	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}_2$		-6,0	0,626
*Пент-1-ен	C_5H_{10}	$\text{CH}_3 \cdot (\text{CH}_2)_2 - \text{CH}=\text{CH}_2$		+30	0,643

Температуры кипения алкенов на несколько градусов ниже, чем у соответствующих алканов. Их плотность меньше 1. Алкены не растворяются в воде, но хорошо растворимы в неполярных растворителях (алканы, простые эфиры, бензол).

- Работа в группе** Заполните клетки ребуса и прочитайте в выделенной вертикали название главного элемента в органических соединениях.

-

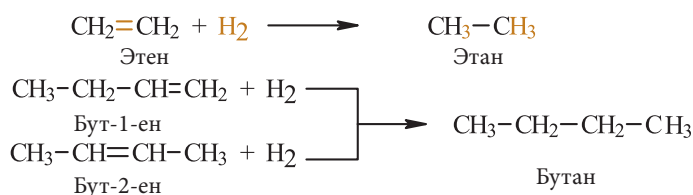
2.2.2.

Химические свойства алкенов

Химическая активность алкенов выше, чем алканов. Это обусловлено наличием в их молекулах двойной связи. Для алкенов наиболее характерны реакции **присоединения, окисления и полимеризации**.

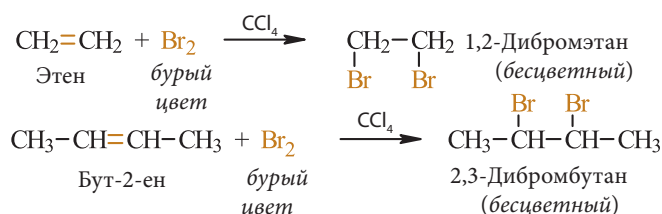
Реакции присоединения

1. Присоединение водорода (гидрирование) проводят в присутствии мелкодисперсных металлов (Ni, Pt, Pd) как катализаторов. Алкены присоединяют водород при 150–200°C и превращаются в алканы:



Реакция гидрирования применяется для превращения растительных жиров из жидкого состояния в твердое.

2. Присоединение галогенов (галогенирование) в среде инертного растворителя CCl_4 приводит к образованию вицинальных дигалогенопроизводных. Хлор и бром легко присоединяются уже на холоду, йод реагирует труднее:



Присоединение брома является качественной реакцией на двойную связь.

Качественная реакция бромной воды на двойную связь в повседневной практике может найти применение для определения ненасыщенности растительных масел (см. Лабораторный опыт, стр. 79).

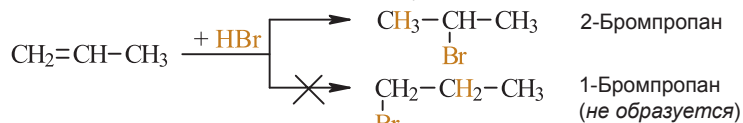
3. Присоединение галогеноводородов (гидрогалогенирование) приводит к образованию моногалогенопроизводных:



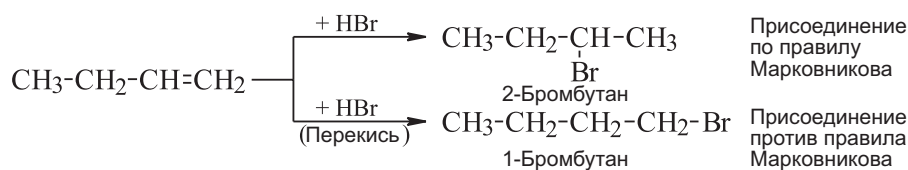
Присоединение галогеноводорода к некоторым алкенам может дать два разных галогенопроизводных, отличающихся положением атома галогена. Установлено, что это положение определяется строением (симметричным или несимметричным) алкена.

Присоединение молекул типа HX ($X = \text{Гал, ОН и др.}$) к несимметричным алкенам происходит по правилу Марковникова: атом водорода (протон) присоединяется к атому углерода двойной связи, который связан с большим числом атомов водорода (более гидрогенизированному).

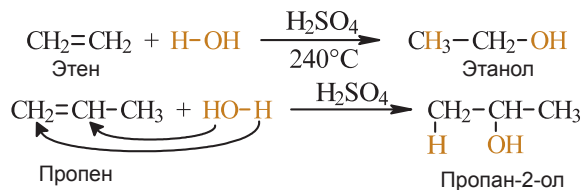
Из пропена и бромоводорода образуется только 2-бромпропан:



В присутствии пероксидов (перекисей) реакция проходит по другому механизму и бромоводород (и только он) присоединяется к алкенам против правила Марковникова (перекисный эффект Хараша (Kharasch)):



4. Присоединение воды к алкенам (гидратация) катализируется сильными кислотами. Так, при гидратации этена или пропена в присутствии серной кислоты, в промышленности получают этанол или пропан-2-ол (по правилу Марковникова):

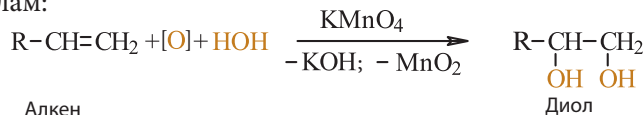


Задание 2.12. Напиши уравнение реакции гидратации 2-метилпропена в присутствии сильных кислот.

Реакции окисления

Алкены окисляются легче алканов. Природа продуктов окисления зависит от структуры алкена, природы окислителя и условий реакции (температура, концентрация реагентов, кислотность среды).

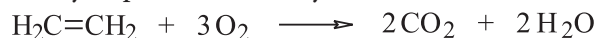
5. *Окисление с разрывом π -связи (мягкое окисление) действием нейтрального или слабощелочного раствора перманганата калия (реактива Байера) приводит к диолам:



Реакция с водным раствором перманганата калия является другой качественной реакцией на двойную $\text{C}=\text{C}$ связь (обесцвечивание раствора перманганата калия с образованием бурого осадка MnO_2).

Задание 2.13. Напиши полную реакцию мягкого окисления этена.

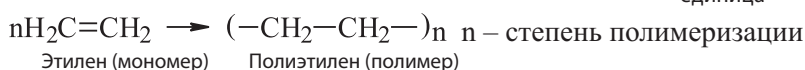
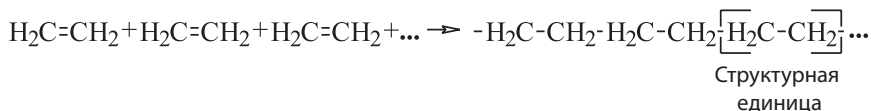
6. Полное окисление (горение). При горении алкены, как и другие углеводороды, образуют оксид углерода (IV) и воду:



Общее уравнение горения алкенов таково:



7. Полимеризация. Молекулы алкенов способны последовательно соединяться за счёт разрыва π -связей. Продукты этой реакции – полимеры, имеют тот же элементный состав, что и исходные алкены:

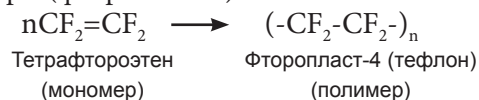


Реакция полимеризации – это последовательное присоединение одинаковых молекул друг к другу с образованием большой молекулы (макромолекулы).

Вещество, вступающее в реакцию полимеризации, называется **мономером**, а степень полимеризации (n) представляет собой среднее число молекул мономера, соединённых в макромолекуле.

Наиболее распространён самый простой полимер – полиэтилен. Его мировое производство превышает 15 млн. тонн в год.

*Особое место занимают фторпроизводные этена, при полимеризации которых получают полимеры (фторопласты):



Фторопласты обладают высокой химической инертностью. Их производят в больших количествах, из них изготавливают электроизоляционные материалы, коррозионностойкие трубопроводы, реакторы для химических производств, а также бытовые предметы с тефлоновым покрытием – кастрюли, сковороды, утюги и др.

Растительные жиры при контакте с воздухом образуют на поверхности пленку, потому что двойная связь под действием кислорода воздуха разрывается, образуя полимер (происходит реакция полимеризации).



ЛАБОРАТОРНЫЙ ОПЫТ

Идентификация ненасыщенности растительных жиров (подсолнечное масло, оливковое масло) и жевательной резинки

1. **Помести** в пробирку 0,3 мл растительного масла, а в другую кусочек жевательной резинки.
2. **Прибавь** в каждую пробирку по 0,5 мл CCl_4 для растворения.
3. **Охлади** содержимое пробирок в холодной воде и прикапай раствор Br_2 в CCl_4 .
4. **Убедись**, что желтый цвет брома исчезает в присутствии непредельных соединений. Какая реакция происходит?

2.2.3.

Методы получения алкенов и их применение

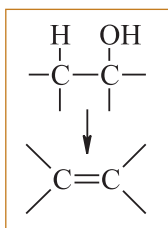
Алкены являются ценным сырьем для химической промышленности. Они редко встречаются в природе, поэтому их получают разными методами.

Чаще всего алкены получают в результате реакций элиминирования.

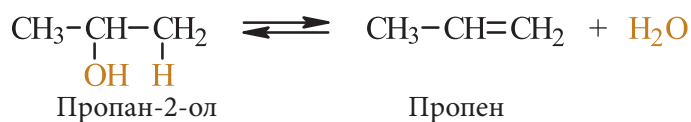
Элиминирование – это реакция, в которой два атома или две группы отщепляются от двух соседних атомов углерода насыщенного соединения с образованием π -связи.

Для получения алкенов реакцией элиминирования могут быть взяты исходные вещества различных классов – спирты, алканы, галогеноалканы и др.

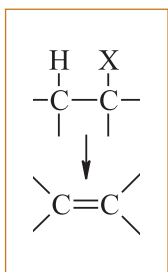
1. При дегидратации спиртов происходит отщепление гидроксил группы и атома водорода от соседних атомов углерода с образованием между ними двойной связи:



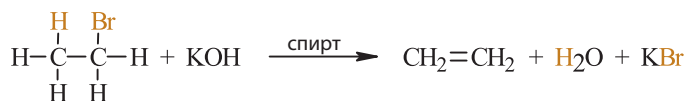
Катализаторами этой реакции являются минеральные кислоты (H_2SO_4 , H_3PO_4).



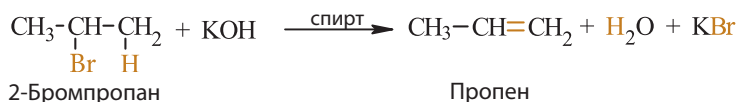
*2. Дегидрогалогенирование моногалогенопроизводных также приводит к образованию алкенов (см. стр. 61).



*Отщепление галогеноводорода обычно проводят действием спиртового раствора щелочи (KOH, NaOH):

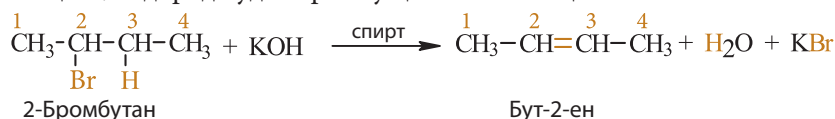


В молекуле 2-бромпропана атом водорода отщепляется с равной вероятностью от любого соседнего атома углерода, поскольку они равноценны:



Задание 2.14. Напиши схемы реакций дегидрогалогенирования 2-бром-2-метилбутана.

*В случае несимметричных алкилгалогенидов атом водорода отщепляется преимущественно от того атома углерода, который связан с меньшим числом атомов водорода. Это правило было установлено А. Зайцевым (1875). Например, для 2-бромбутана возможно отщепление водорода как от атома С-1, так и от атома С-3. Согласно правилу Зайцева, водород будет преимущественно отщепляться от атома С-3:



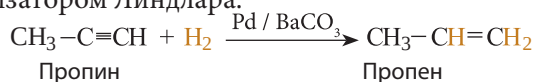
Задание 2.15. Напиши схемы реакций дегидрогалогенирования 2-бром-2-метилбутана. Назови продукты реакций.

Расширение

3. *Дегалогенирование вицинальных дигалогенопроизводных проводят действием металлов (Zn). В результате отщепления двух атомов галогена образуется двойная связь:



4. *Частичное гидрирование соединений с тройной связью может служить методом получения алкенов. Для того, чтобы избежать образования алканов, применяют катализатор с пониженной активностью («отравленный» палладий), называемый катализатором Линдлара:



5. *Термический крекинг высших алканов нефти (600–900°C) является промышленным методом получения низших алкенов:



ЛАБОРАТОРНЫЙ ОПЫТ

Получение алкенов при термическом разложении алканов (парафина)



Рис. 2.37. Обесцвечивание бромной воды алкеном, полученным в результате разложения алкана.

1. **Помести** в пробирку (1) из термостойкого стекла несколько кусочков парафина (кусочки белой свечи без фитиля).
2. **Закрой** пробирку пробкой с газоотводной трубкой, а конец трубки опусти в другую пробирку (2), которая, в свою очередь, помещена в стакан с холодной водой (рис. 2.37).
3. **Налей** в пробирку (2) раствор бромной воды.
4. Осторожно **нагревай** содержимое пробирки (1) в пламени горелки.
5. **Убедись**, что в пробирку (2) барботируется газ, который обесцвечивает бромную воду.
6. **Объясни** наблюдения. Напиши уравнения реакций.

Практическое применение наиболее важных алкенов

Наиболее широкое практическое применение имеют этен и пропен. Они используются в качестве сырья для получения многих других ценных химических веществ. В промышленности этен получают из газов, образующихся при крекинге нефти.

Этен применяется для получения различных органических продуктов, например этилового спирта, этиленгликоля, 1,2-дихлорэтана (растворитель) (схема 2.3).

Пропен ($\text{CH}_3\text{-CH=CH}_2$) также получается при крекинге нефти с последующим выделением ректификацией. Пропен имеет много возможностей для химизации. Большие количества этена и пропена используются для получения полимеров (рис. 2.38).



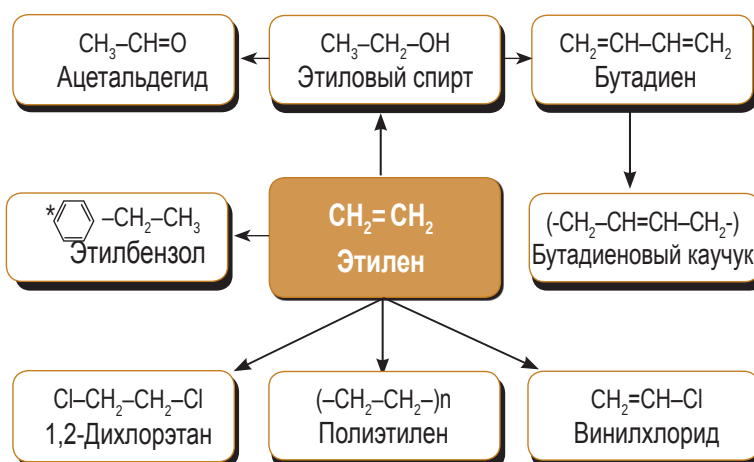
Рис. 2.38. Применение этилена и его производных: 1 – ускоритель созревания овощей и фруктов; 2 – растворители; 3, 4 – пластмассы.

Изобутен или 2-метилпропен, $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)_2$ при полимеризации образует полиизобутен.

Полиизобутен является основным компонентом высокомолекулярного продукта, называемого **эластол**, который применяется для удаления нефтяных загрязнений в морской воде. В контакте с нефтью этот полимер впитывает ее, образуя вязкую массу, плавающую на поверхности воды и легко удаляется.

Это очень важный метод, т.к. собранная нефть может быть отогнана и полимер использоваться повторно.

Схема 2.3. Продукты, получаемые из этилена



Задание 2.16. Составь аналогичную схему под рубрикой «Продукты, получаемые из пропена».

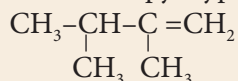
ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Дай определение понятиям:

- а) реакция присоединения, *правило Марковникова;
 б) реакция полимеризации, мономер, макромолекулярное соединение (полимер).

2. Напиши:

- а. название алкена со структурной формулой:



- б. структурные формулы алкенов по их названиям:

- 1)* 4,4-диметил-2-этилгекс-1-ен;
 2)* 4,4-диметил-3-этилпент-2-ен;
 3) 2,3-диметил-бут-2-ен.

3. Назови:

А. Продукты реакции присоединения брома и бромоводорода к следующим алкенам:

- а) $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH} = \text{CH}_2$; б) $\text{CH}_2 = \underset{\text{CH}_3}{\text{C}} - \text{CH}_3$; в) $\text{CH}_3 - \text{CH} = \text{CH} - \text{CH}_3$.

Б. Продукты взаимодействия 2-метил-бут-2-ена со следующими реагентами:

- а) HCl ; б) Br_2 ; в) H_2O (H_2SO_4); г)* HBr ; д)* KMnO_4 (H_2O).

5. Отметь против каждого утверждения его истинность или ложность (в соответствующей клетке напиши букву **И** (истинно) или **Л** (ложно)):

Л (ложно)):

- а) Углеводороды, содержащие одну двойную связь, называются алкенами.
 б) Алкены участвуют только в реакциях присоединения.
 в) Этен обесцвечивает бромную воду.
 г) *Присоединение галогеноводородов к несимметричным алкенам происходит по правилу Марковникова.

И Л

☐	☐
☐	☐
☐	☐
☐	☐

5. Заполни свободные места в следующих утверждениях:

- А. Присоединение хлороводорода к несимметричным алкенам происходит по правилу и водород присоединяется к углероду
 Б. Алкены превращаются в алканы в реакциях
 В. *В молекуле этена связи $\sigma(\text{C}-\text{C})$ и $\sigma(\text{C}-\text{H})$ лежат в одной плоскости под углами , а π -связь лежит в плоскости.
 Г. Для алкенов характерны следующие типы изомерии:
 Д. Для идентификации алкенов применяется реакция

6. Реши задачу:

У углеводорода, содержащего 85,72% С и 14,28% Н, плотность паров по водороду равна 35. Установите его молекулярную формулу. Напишите и назовите все изомеры такого состава.

(О.: C_5H_{10})

2.2.4.

Пластические массы

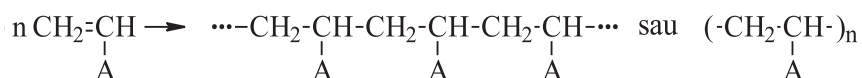
Органические вещества с очень большой молекулярной массой, состоящие из большого числа повторяющихся звеньев, называются высокомолекулярными или полимерами.

Одним из методов получения полимеров является реакция полимеризации.

Реакция полимеризации – это процесс присоединения большого числа молекул исходного вещества, называемых «мономером» с образованием макромолекулы продукта, называемой «полимером».

Мономеры являются ненасыщенными веществами, а реакция полимеризации – это специфическое свойство сопряженных алкадиенов и алкенов.

В качестве мономеров в реакции полимеризации чаще всего используются алкены или их производные с общей формулой $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{A}$, называемые винильными мономерами. Для них процесс полимеризации может быть представлен следующей схемой:



Пример: Этилен ($\text{A}=\text{H}$); пропилен ($\text{A}=\text{CH}_3$); винилхлорид ($\text{A}=\text{Cl}$); стирол ($\text{A}=\text{Ph}$); акрилонитрил ($\text{A}=\text{CN}$) и др., где n представляет степень полимеризации, т.е., число молекул мономера, которые образуют макромолекулярную цепь.

Из приведенных примеров нетрудно увидеть, что полимеры, получаемые полиприсоединением, имеют ту же эмпирическую формулу, что и мономер, из которого он был получен. Примеры таких полимеров и основное их применение представлены в таблице 2.9.

Таблица 2.9. Виниловые полимеры

Мономер		Полимер		
название	формула	название	формула	применение
Этилен	$\text{CH}_2=\text{CH}_2$	Полиэтилен	$(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_n$	Бутылки, упаковки, игрушки
Пропен	$\text{CH}_2=\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}$	Полипропилен	$(-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-)_n$	Пленка, упаковка, синтетическое волокно
Винилхлорид	$\text{CH}_2=\underset{\text{Cl}}{\text{CH}}$	Поливинилхлорид	$(-\text{CH}_2-\underset{\text{Cl}}{\text{CH}}-)_n$	Трубы, зубчатые колеса
Стирол	$\text{CH}_2=\underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}}$	Полистирол	$(-\text{CH}_2-\underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}}-)_n$	Теплоизоляционные материалы, детали для электрических приборов



Рис. 2.39. Преимущества и недостатки пластика.



Рис. 2.40. Предметы из: 1 – полиэтилена; 2 – полистирола; 3 – полипропилена; 4 – поливинилхлорида.

Если в реакцию полимеризации вступают различные мономеры, то этот процесс называется сополимеризацией, а образующиеся продукты – сополимерами. Состав сополимеров зависит от молярного соотношения исходных мономеров.

Сополимеры приобретают новые свойства, отличные от свойств соответствующих гомополимеров и их смесей.

Важность полимеров

Полимеры находят широкое применение в производстве пластических масс и синтетических волокон. Термин «пластическая масса» охватывает любой твердый материал, который может быть переработан при нагревании и из которого можно получать целый ряд продуктов. Пластмассы используются в качестве заменителей природных продуктов и обладают тем преимуществом, что могут производиться промышленным путем и в необходимых количествах, и дешевле. Самым большим их недостатком является то, что они не подвергаются биологическому разрушению.

Полимеры – это продукты полимеризации или поликонденсации, в то время как пластмассы – это технологические материалы, в состав которых входит полимер, пластификатор, наполнитель и иногда краситель.

Практическое применение полимеров

Полиэтилен – самый простой полимер, сильно распространен, он получается при полимеризации этена. Степень полимеризации (n) колеблется в широких пределах (20000–80000). В зависимости от условий полимеризации (давление, температура), образуется полиэтилен различной плотности и степени полимеризации, а значит, с различными свойствами и областями применения. Полимеризация при высоком давлении приводит к образованию полиэтилена с большой плотностью, устойчивого к действию химических реагентов. Из полиэтилена этого типа изготавливаются емкости, устойчивые к коррозии.

Полиэтилен с низкой плотностью применяется для изготовления упаковок для продовольственных продуктов и медикаментов, предметов для домашнего обихода, мешков, пленок (рис. 2.40).

Полипропилен тоже очень ценный полимер, используется как и полиэтилен. Из полипропилена изготавливаются мешки для зерна, медицинские шприцы, коробки для упаковки маргарина, посуда для этилового спирта.

Поливинилхлорид (ПВХ) применяется для производства труб, гильз, материалов для пропитки тканей – линолеума. Эти материалы устойчивы к действию химических агентов, однако менее устойчивы к нагреванию. Окна и двери изготавливаются из поливинилхлорида.

Полистирол используется для получения большого разнообразия изделий для домашнего обихода, для санитарных и гигиенических изделий. Большие количества полистирола используются для получения пористого материала. Он образуется при нагревании гранул полистирола и бутана под давлением. При нагревании гранулы увеличиваются в объеме и слипаются. Образующиеся при этом блоки легче пробки, они используются для упаковки хрупких приборов и для теплоизоляции.

Механические свойства полимеров зависят от структуры макромолекул. Полимеры с линейной структурой устойчивы на сгиб, на растягивание и на разрыв. Их устойчивость объясняется количеством энергии, необходимой для разрыва ковалентной связи макромолекулы. Кроме того, между макромолекулами есть связи Ван-дер-Ваальса, которые тоже увеличивают механическую прочность материала.

Полимеры обладают большим сопротивлением электрическому току, поэтому они используются в качестве изоляционных материалов.

Очень много высокомолекулярных соединений используются в технике, благодаря их специфическим свойствам, которыми они обладают: большой эластичностью, возможностью прессования при нагревании, растягивания в нить и в пленку, большой прочности на разрыв и устойчивости к химическим реагентам.

Много разных пластиков используются для изготовления имплантатов (деталей, которые заменяют различные части человеческого организма: суставы, кости, зубы и др.).



ЛАБОРАТОРНЫЙ ОПЫТ

Сравнение образцов из разных типов пластмасс

1. **Расположи** на столе несколько типов флаконов, стаканов, кулчков, тубиков, шлангов, коробок, которые накопились в доме после их использования.
2. **Изучи** внимательно и найди код указанный на упаковке.
3. **Назови** синтетический полимер, входящий в состав пластмасс, из которых изготавливают упаковки. Назови структуру мономера и полимера.
4. **Исследуй** поведение каждой пластмассы при умеренном нагревании на плитке, под горячей водой, механическом воздействии (эластичность и хрупкость).
5. **Сделай** рекомендацию, исходя из соотношения: свойство-применение.

Знаешь ли ты, что...

Существуют органические полимеры, обладающие небольшим сопротивлением, они проводят электрический ток лучше, чем медь. Их используют в производстве сухих батареек, которые служат в качестве источников электроэнергии.



Влияние полимерных продуктов на качество жизни и окружающую среду

В нашей жизни на каждом шагу встречаются полимеры. Оглянись вокруг, и сможешь убедиться, что практически каждый второй предмет сделан из синтетического или природного полимера. Полимеры широко применяются в производстве пластических масс и синтетических волокон. В состав пластмасс всегда входит синтетическое высокомолекулярное соединение, а также различные наполнители, улучшающие его свойства (прочность, химическую стойкость, пластичность, прозрачность, эластичность и др.). Каждый полимерный материал имеет определённый код, соответствующий полимеру, из которого он состоит.

Пластмассы, изготовленные из полимеров, часто применяются как заменители некоторых природных материалов (кожи, дерева, защитных и строительных материалов, упаковок, при изготовлении деталей машин и др.).

К достоинствам пластмасс следует отнести их доступность и дешевизну, к недостаткам – то, что многие из них не разлагаются бактериями в почве и воде и, поэтому, создают серьёзные проблемы, загрязняя окружающую среду.

Отходы должны быть утилизированы или повторно восстановлены.

Система обнаружения и маркировки пластиковой упаковки:



PET – полиэтилентерефталат: бутылки для напитков, масла и т.д. Код 1.



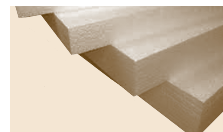
LDPE – полиэтилен низкой плотности: пакеты, мешки, фольга. Код 4.



HDPE – полиэтилен высокой плотности: «химия в контейнере» (шампуни, жидкие детергенты, хлор, моющие средства, и др.). Код 2.



PP – полипропилен: банки для маргарина, стаканы, различные пищевые упаковки и др. Код 5.



PS – полистирол: подносы, разовые стаканы, коробки для йогурта, кассеты, CD-диски и т. д. Код 6.



PVC – поливинилхлорид: пробки, подносы, фольга, трубы, трубки, мягкая мебель, открытки, наклейки и др. Код 3.



Другие пластмассы. Код 7-19.

2.2.5.

Расчётные задачи по общей формуле алкенов и уравнениям их реакций

I. Установление молекулярной формулы по относительной плотности или по объёму (н. у.) и общей формуле алкенов.

Задача 1

Относительная плотность алкена по воздуху равна 2,42. Установите молекулярную формулу алкена.

Дано:

$$D(\text{возд.}) = 2,42$$

Формула – ?

Решение:

1. Запишем общую формулу алкенов: C_nH_{2n} .

2. Вычислим молекулярную массу алкена по формуле:

$$D(\text{возд.}) = \frac{Mr(C_nH_{2n})}{Mr(\text{возд.})}, \text{ откуда}$$

$$Mr(C_nH_{2n}) = Mr(\text{возд.}) \cdot D(\text{возд.}) = 29 \cdot 2,42 = 70.$$

3. Определим число атомов углерода по соотношению:

$$Mr(C_nH_{2n}) = 12n + 2n = 14n, 14n = 70; n=5.$$

Молекулярная формула – C_5H_{10} .

О т в е т: молекулярная формула алкена C_5H_{10} .

Задача 2

Газообразное вещество, обесцвечивающее бромную воду, содержит 85,7% С и 14,3%. Проба этого вещества массой 5,25 г имеет объём 2,8 л (н. у.). Напишите структурную формулу этого вещества.

Дано:

$$\omega(C) = 85,7\%$$

$$\omega(H) = 14,3\%$$

$$m(\text{в-ва}) = 5,25 \text{ г}$$

$$V(\text{в-ва}) = 2,8 \text{ л}$$

Вещество обесцвечивает бромную воду

Структурная формула – ?

Решение:

1. Проверим, содержит ли вещество другие элементы:

$$\omega(C) + \omega(H) = 85,7\% + 14,3\% = 100\%$$

Вывод – вещество является углеводородом.

2. Вычислим молекулярную массу $M(C_xH_y)$ из соотношения:

$$\frac{m(C_xH_y)}{M(C_xH_y)} = \frac{V(C_xH_y)}{V_m} \rightarrow M(C_xH_y) = \frac{m(C_xH_y) \cdot V_m}{V(C_xH_y)},$$

$$M(C_xH_y) = \frac{5,25 \text{ г} \cdot 22,4 \text{ л/моль}}{2,8 \text{ л}} = 42 \text{ г/моль.}$$

3. Допустим, что масса пробы равна 100 г. Тогда:

$$m(E) = \frac{\omega(E) \cdot 100 \text{ г}}{100\%}; m(E) = \omega(E); m(C) = 85,7 \text{ г}; m(H) = 14,3 \text{ г}$$

4. Вычислим количества вещества углерода и водорода:

$$v(C) = \frac{m(C)}{M(C)}; v(C) = \frac{85,7 \text{ г}}{12 \text{ г/моль}} = 7,14 \text{ моль.}$$

$$v(H) = \frac{m(H)}{M(H)}; v(H) = \frac{14,3 \text{ г}}{1 \text{ г/моль}} = 14,3 \text{ моль}; x : y = 1 : 2$$

5. Брутто-формула – CH_2 , а $\text{Mr}(\text{CH}_2) = 12 + 2 = 14$.

6. Определим реальную формулу $(\text{CH}_2)_n$, пользуясь отношением:

$$n = \frac{\text{Mr}(\text{C}_x\text{H}_y)}{\text{Mr}(\text{CH}_2)}; \quad n = \frac{42}{14} = 3. \text{ Реальная формула } (\text{CH}_2)_3.$$

7. Вещество, обесцвечивающее бромную воду – пропен C_3H_6 (с двойной связью).

Отв е т: вещество C_xH_y имеет формулу C_3H_6 и его структура $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{CH}_3$.

II. *Установление объёмной доли алкена в смеси углеводородов.

Задача 3

Через 40 г бромной воды, содержащей 4% брома, барботировали 448 мл (н. у.) смеси пропана и пропена. Определите объёмы пропана и пропена в исходной смеси.

Дано:

$$V(\text{C}_3\text{H}_8 + \text{C}_3\text{H}_6) = 0,448 \text{ л}$$

$$m(\text{р-ра}) = 40 \text{ г}$$

$$\omega(\text{Br}_2) = 4\%$$

$$V(\text{C}_3\text{H}_8) - ?$$

$$V(\text{C}_3\text{H}_6) - ?$$

Решение:

1. Определим массу и количество вещества брома в растворе:

$$\omega = \frac{m(\text{в-ва})}{m(\text{р-ра})} \cdot 100\% \rightarrow m(\text{Br}_2) = \frac{\omega \cdot m(\text{р-ра})}{100\%}$$

$$m(\text{Br}_2) = \frac{4\% \cdot 40 \text{ г}}{100\%} = 1,6 \text{ г}$$

$$\nu(\text{Br}_2) = \frac{m(\text{Br}_2)}{M(\text{Br}_2)} = \frac{1,6 \text{ г}}{160 \text{ г/моль}} = 0,01 \text{ моль}$$

2. Напишем уравнение реакции: $\text{C}_3\text{H}_6 + \text{Br}_2 \rightarrow \text{C}_3\text{H}_6\text{Br}_2$

3. Определим количество вещества и объём пропена из уравнения реакции:

$$\nu(\text{C}_3\text{H}_6) = \nu(\text{Br}_2) = 0,01 \text{ моль}; \quad 0,01 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 0,224 \text{ л}.$$

4. Вычислим объём пропана:

$$V(\text{C}_3\text{H}_8) = V(\text{смеси}) - V(\text{C}_3\text{H}_6) = 0,448 \text{ л} - 0,224 \text{ л} = 0,224 \text{ л}.$$

Отв е т: исходная смесь состояла из одинаковых объёмов пропана и пропена, равных 224 мл.

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Ненасыщенный углеводород содержит 85,71% углерода и имеет относительную плотность по воздуху 2,414. Какова его молекулярная формула?

(О.: C_5H_{10})

2. Дихлорэтан применяется как растворитель для органических соединений и как чистящее средство для тканей. Какие массы этана и хлора необходимы для получения 3,96 кг 1,2-дихлорэтана?

(О.: 1,12 кг C_2H_4 и 2,84 кг хлора)

3.*Смесь этана и этена объёмом 400 мл (н. у.) обесцветила 80 г 2% бромной воды. Вычислите объёмную долю этена в смеси.

(О.: 56%)

4. Для обесцвечивания 400 г бромной воды необходимо 2,24 л (н. у.) этена. Вычислите концентрацию бромной воды.

(О.: 4%)

5. При взаимодействии 672 мл (н. у.) алкена с бромом образовалось 6,06 г продукта реакции. Установите молекулярную формулу алкена и объём воздуха (н. у.), необходимый для сгорания 2 молей этого алкена.

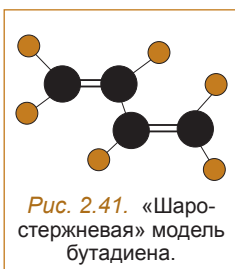
(О.: C_3H_6 ; 1066 л воздуха)

2.2.6.

Алкадиены

Определение

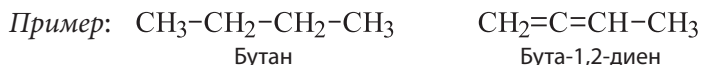
Ациклические ненасыщенные углеводороды, в молекулах которых содержатся две двойные связи, называются **алкадиенами** или **диенами**. Их общая формула C_nH_{2n-2} , где $n = 3, 4, 5$ и т.д.



Гомология, номенклатура, изомерия, *классификация

Первый представитель ряда алкадиенов содержит три атома углерода. Группа $-CH_2-$ является гомологической разностью и для этого ряда.

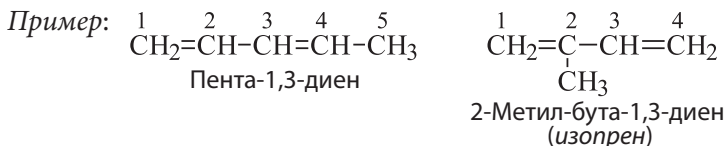
Систематическое название **алкадиена** образуется добавлением гласной «а» и окончания **-диен** к корню названия соответствующего алкана. Перед окончанием отмечают цифрами положения двойных связей¹.



Алкадиены характеризуются несколькими типами изомерии: а) изомерия положения двойных связей. Определяется различным расположением двойных связей в одном и том же углеродном скелете.



б) изомерия углеродного скелета (для всех диенов, начиная с пентадиена):



Для некоторых диенов часто употребляются несистематические названия (аллен, изопрен, дивинил и др.).

Алкадиены с двойными связями, расположенными рядом, называются диенами с **кумулярованными** связями, а диены с двумя двойными связями, но разделенные одной простой – диены с **сопряженными** связями.

Пример:

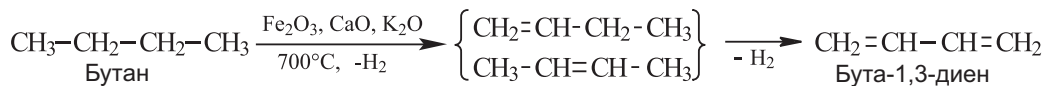
- кумулированные: $CH_2=C=CH_2$, пропadiен;
- сопряженные: $CH_2=CH-CH=CH_2$, бута-1,3-диен.

Из алкадиенов с сопряженными двойными связями практический интерес представляют бута-1,3-диен и его гомолог 2-метилбута-1,3-диен (изопрен).

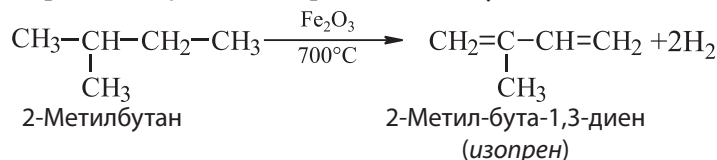
¹ Ia. Guțu, „Nomenclatura compușilor organici”, Chișinău, 2008.

Методы получения алкадиенов

Бутадиен и изопрен получают в промышленности дегидрированием алканов, выделяемых из газов крекинга нефти. Эти газы пропускают при 600-700°C над катализатором Fe_2O_3 , содержащим добавки оксидов калия и кальция:



Таким же образом получают изопрен (2-метилбута-1,3-диен):

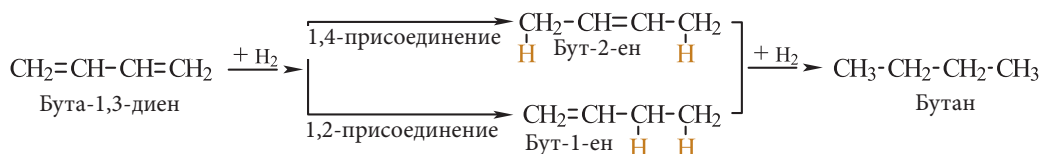


Бута-1,3-диен – газ с температурой кипения -5°C . Гомолог бутадиена – изопрен, кипит при $+34^\circ\text{C}$. Оба они нерастворимы в воде, хорошо растворимы в органических растворителях.

Химические свойства алкадиенов

Для диенов, как и для алкенов, характерны реакции присоединения. Диены с сопряженными двойными связями могут давать продукты как 1,4-присоединения (по концам системы сопряжения), так и продукты 1,2-присоединения. Направление присоединения (1,2 или 1,4) определяется условиями реакции.

1. Присоединение водорода, получаемого действием кислоты на металл, дает продукт 1,4- или 1,2-присоединения:

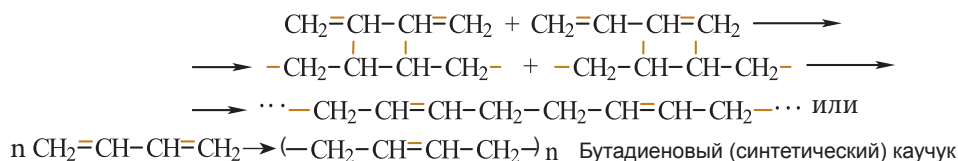


2. Бутадиен горит светящимся пламенем с образованием CO_2 и воды.

Задание 2.17. Напиши уравнение горения бута-1,3-диена.

3. Реакции полимеризации характерны и для диенов с сопряженными двойными связями. Эти реакции широко применяются в промышленности для получения синтетических каучуков.

Процесс 1,4-полимеризации бутадиена, не вдаваясь в детали механизма, можно представить в виде следующей схемы:



2.2.7.

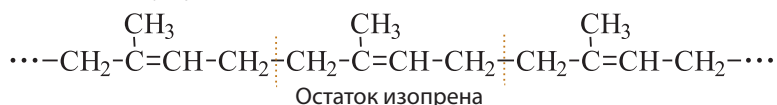
Состав и структура натурального и синтетического каучука

Состав и структура натурального каучука

Рис. 2.42.
Сбор латекса из
каучукового дерева.

Натуральный каучук получают из латекса – млечного сока, представляющего коллоидный раствор каучука, собираемого с некоторых растений, чаще всего с бразильской гевеи. Для сбора латекса на стволах растения делают надрезы, из которых вытекает сок, содержащий около 30–40% каучука, воду (60%), растительные смолы и минеральные вещества (рис. 2.42). Из этого сока – латекса, путём обработки уксусной или муравьиной кислотами, выделяют каучук. Далее его подвергают механической обработке, растягивают в листы и сушат. Доказано, что натуральный каучук является полимером изопрена.

Натуральный каучук является полимером. Его формула $(C_5H_8)_n$, где n имеет очень большую величину:



Свойства. Сырой природный каучук имеет желтоватый цвет, полупрозрачный и эластичный. Он не растворяется в спирте и ацетоне, но хорошо растворим в бензине и углеводородах, а также набухает во многих растворителях. Раствор каучука вязкий и используется в качестве клея. При низкой температуре (0–5°C) каучук становится непрозрачным, неэластичным и хрупким (крошится при ударе). При нагревании (>40°C) каучук становится мягким и липким.

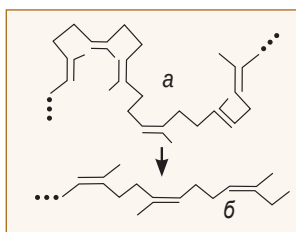


Рис. 2.43. Каучук в:
а – нормальном состоянии,
б – растянутом состоянии.

Природный каучук способен растягиваться (на 400–800%) под действием небольших внешних сил. При снятии внешней нагрузки каучук возвращается в первоначальное состояние.

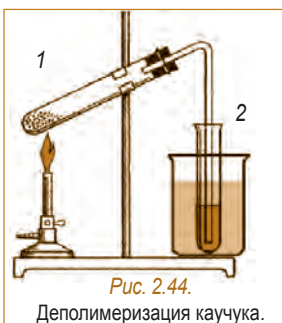
**ЛАБОРАТОРНЫЙ ОПЫТ****Деполимеризация натурального каучука**

Рис. 2.44.
Деполимеризация каучука.

1. Внеси в пробирку (1) кусочек натурального каучука и закрой ее пробкой с газоотводной трубкой (рис. 2.44).
2. Вставь свободный конец газоотводной трубки в другую пробирку (2) (приемник), находящуюся в стакане с холодной водой.
3. Нагревай пробирку с каучуком (1), наблюдай разложение полимера и конденсацию продуктов разложения в приемнике.
4. Прекрати нагревание. Содержимое приемника проверь на наличие непредельных соединений с помощью бромной воды.



Рис. 2.45.

Применение каучука:

1 – плащи;

2 – изоляция кабелей;

3 – защитные перчатки;

4 – резиновые сапоги;

5 – стирательные резинки;

6 – автомобильные шины.

Природный каучук под действием слабых внешних сил удлиняется и возвращается в первоначальное состояние после снятия нагрузки.

Более стабильным является свернутое или скрученное состояние, однако некоторые сегменты макромолекул могут совершать тепловое движение, благодаря возможности свободного вращения вокруг связи С–С (рис. 2.43).

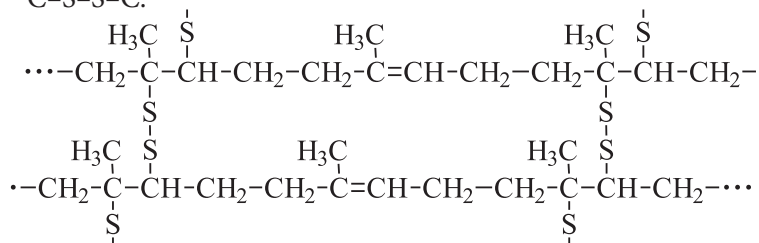
В удлинённом состоянии макромолекулы стремятся принимать упорядоченные формы с тенденцией к линейности.

При повышении температуры появляется возможность скольжения одной макромолекулы относительно другой и материал приобретает пластичность.

Находясь долгое время на воздухе, природный каучук становится липким и теряет эластичность. Следовательно, происходит автоокисление («старение» каучука), которое вызвано действием кислорода воздуха на двойные связи структурных звеньев изопрена. Эластичность превращает каучук в уникальный материал, применяемый во многих областях, однако, его свойства, упомянутые выше, ограничивают его практическое применение (рис. 2.45).

Находясь долгое время на воздухе, натуральный каучук становится липким и теряет эластичность. Для того, чтобы это не происходило, каучук подвергают **вулканизации**.

Для вулканизации каучук смешивают с серой (1–5%) и нагревают до 130–140°C. Сера реагирует с макромолекулами каучука, образуя между ними дисульфидные мостики С–S–S–С:



Вулканизованный каучук непластичен, не размягчается при нагревании, более прочен на разрыв, его растворимость в некоторых растворителях понижена. Редкие мостики С–S–S–С связей препятствуют переходу молекул из свернутой формы в удлинённую. Поэтому вулканизованный каучук сохраняет эластичность. Каучук, вулканизованный большим количеством серы (30–40%), превращается в твердый материал, называемый **эбонитом**. Он используется в качестве изолятора.

Знаешь ли ты, что...

На протяжении 20 лет, с одного каучуконосного дерева можно получать каждый год до 400 кг каучука.

Синтетические каучуки

Получение синтетических каучуков состоит из двух этапов:

1. Получение мономеров.
2. Полимеризация или сополимеризация мономеров.

Мономеры, которые используются для получения синтетического каучука – это бутадиен, изопрен, хлоропрен, стирол и др. Эти вещества содержат двойные связи, получаются, в свою очередь, из нефтехимического сырья (бутан, изопентан, этилен, ацетилен, бензол, пропен и др.). Упомянутое сырье подвергается реакциям дегидрирования, алкилирования, присоединения и др.

Если в процессе полимеризации принимают участие различные мономеры, то это сополимеризация. Реакция сополимеризации широко применяется в производстве каучука. Полученные макромолекулярные продукты обладают свойствами, сходными с натуральным каучуком, однако иногда превосходят их. Синтетические каучуки вначале получают в виде латекса, который далее перерабатывается подобно натуральному. В таблице 2.10 представлены самые важные мономеры для соответствующих каучуков и их торговые названия.

Таблица 2.10. Синтетические каучуки

Мономеры		Эластомеры	
название	формула	название	формула
Бута-1,3-диен	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$	Бутадиеновый каучук	$(-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-)_n$
2-Метил-бута-1,3-диен (изопрен)	$\text{CH}_2=\underset{\text{CH}_3}{\text{C}}-\text{CH}=\text{CH}_2$	Изопреновый каучук	$(-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{C}}=\text{CH}-\text{CH}_2-)_n$
2-Хлор-бута-1,3-диен (хлоропрен)	$\text{CH}_2=\underset{\text{Cl}}{\text{C}}-\text{CH}=\text{CH}_2$	Хлоропреновый каучук (неопрен)	$(-\text{CH}_2-\underset{\text{Cl}}{\text{C}}=\text{CH}-\text{CH}_2-)_n$
Бута-1,3-диен + Стирол	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$ $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{C}_6\text{H}_5$	Бутадиен-стирольный каучук (Buna S)	$(-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}-)_n$ 

Как натуральный, так и синтетический каучук широко применяется в технике. Они используются в производстве различных продуктов: скаты для машин, санитарное снаряжение, приводные ремни, игрушки и различные предметы для домашнего обихода.



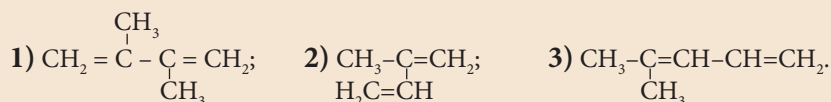
ЛАБОРАТОРНЫЙ ОПЫТ

Получение каучука из листьев фикуса и одуванчиков

1. **Внеси** в пробирку 2 листочка фикуса или несколько одуванчиков, затем добавь 2 мл воды и 0,3 г CaCl_2 .
2. **Взболтай** энергично пробирку, а затем прибавь по каплям 2–3 мл спирта.
3. **Убедись**, что на поверхности водного раствора появляются хлопья каучука.
4. **Перенеси** часть хлопьев в другую пробирку и прибавь 2 мл бензола, затем туда же несколько капель 2%-го раствора KMnO_4 . Встряхни и убедись, что в пробирке натуральный каучук.
5. **Перенеси** на стеклянную пластинку остаток хлопьев и осторожно высуши пластинку.
6. **Убедись**, что после удаления растворителя на пластинке осталась пленка каучука.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Дай определение понятиям: а) алкадиены; б) диены с сопряженными двойными связями.
2. Объясни:
 - а) номенклатуру и изомерию алкадиенов;
 - б) состав и строение натурального каучука;
 - в) *систематические названия углеводородов:



3. Напиши уравнения реакций и назови их продукты:
 - а) 2-метил-пента-1,3-диен + $\text{H}_2 \rightarrow$
 - б) *полимеризация 2-хлорбута-1,3-диена (хлоропрена) $\rightarrow$
4. Напиши и назови изомеры положения двойных связей алкадиенов C_6H_{10} .
5. *Сравни структуры ненасыщенных углеводородов состава C_5H_{10} и C_5H_8 . К каким гомологическим рядам они относятся? Укажи их общие химические свойства.
6. Напиши схемы реакций следующих превращений:
 - а) пента-1,3-диен $\rightarrow$ пентан;
 - б) $\text{C}_2\text{H}_4 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} \rightarrow \text{C}_4\text{H}_6 \rightarrow$ синтетический каучук.

7.*Выбери:

Какое из следующих утверждений относится к соединению $\text{CH}_2 = \overset{\text{CH}_3}{\text{C}} - \text{CH} = \text{CH}_2$:

- а) это соединение – алкадиен;
 - б) оно способно полимеризоваться;
 - в) оно является изомером бута-1,3-диена;
 - г) оно обесцвечивает бромную воду.
8. Заполни свободные места в следующих утверждениях:
 - а. Общая формула алкадиенов –
 - б. Присоединение одного моля водорода к бута-1,3-диену приводит к
 - в. Изопрен является бута-1,3-диена.
 - г. Каучук применяется в следующих областях:
 - д. *Бута-1,3-диен является алкадиеном с двойными связями.
 9. Отметь против каждого утверждения его истинность или ложность (в соответствующей клетке напиши букву **И** (истинно) или **Л** (ложно)):

	И	Л
а. 2-Метилбута-1,3-диен является мономером изопренового каучука.	☐	☐
б. Алкадиены и алкены имеют общие свойства.	☐	☐
в. Бута-1,3-диен является изомером бут-1-ена.	☐	☐
г. Присоединение 2 молей водорода к 1 молю бута-1,3-диена дает бутан.	☐	☐
д. Изопрен является мономером натурального каучука.	☐	☐

2.2.8.

Алкины



Общая формула алкинов



или



Рис. 2.46. Представление связей в молекуле ацетилена.

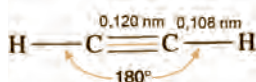


Рис. 2.47. Геометрия молекулы ацетилена.

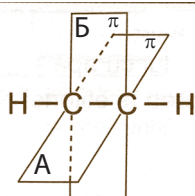


Рис. 2.48. Представление плоскостей тройной связи.

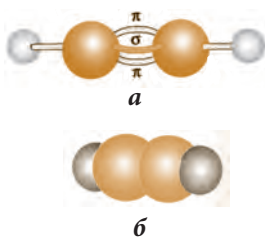


Рис. 2.49. Модели молекулы ацетилена: а – «шаро-стержневая»; б – пропорциональная.

Определение, *Строение

Ациклические углеводороды, в молекулах которых содержится одна тройная связь $-C \equiv C-$, называются **алкинами**. Их состав соответствует формуле $C_n H_{2n-2}$, где $n = 2, 3, 4$ и т. д.

Самым простым алкином является этин или ацетилен $-C_2H_2$.

В молекуле ацетилена каждый атом углерода образует две σ -связи (C-H), расположенных линейно. Два других электрона углеродного атома образуют по две π -связи с электронами второго атома углерода. Тройная связь образована тремя парами электронов (рис. 2.46). Таким образом, тройная связь образована двумя π - и одной σ -связями (рис. 2.47). Плоскость (А) первой π -связи перпендикулярна плоскости (Б) второй π -связи, однако обе они перпендикулярны плоскости σ -связи (рис. 2.48).

Структура молекулы этина может быть представлена как «шаро-стержневой» моделью, так и пропорциональной моделью (рис. 2.49).

Длина тройной связи равна **0,120** нм, она короче двойной (0,134 нм) и простой (0,154 нм). Расстояние между атомами углерода в ацетилене короче, поэтому тройная связь слегка отталкивает электроны и C-H связь немного поляризована.

Гомология, номенклатура и изомерия алкинов

Если в общей формуле алкинов дать последовательно значения n или использовать гомологическую разность $(-CH_2-)$, то получится гомологический ряд алкинов.

Алкины называют еще *ацетиленовыми* углеводородами по названию первого представителя, который имеет самое широкое применение.

Систематическое название алкинов производят от названий алканов с тем же числом атомов углерода с замещением окончания **-ан** на **-ин**. Положение тройной связи выбирается так, чтобы она получила самую малую цифру (таблица 2.11).

Для алкинов характерны следующие типы изомерии: положение тройной связи, цепи и функциональной с алкадиенами (у них такая же общая формула) (таблица 2.11).

Таблица 2.11. Номенклатура и изомерия алкинов

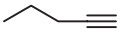
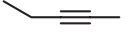
Значение n	Молекулярная формула	Структурная формула	Тип изомерии	Систематическое название
n = 2	C ₂ H ₂	HC≡CH	---	Этин
n = 3	C ₃ H ₄	CH ₃ -C≡CH	а) функциональная с пропadiеном;	Пропин
n = 4	C ₄ H ₆	CH ₃ -CH ₂ -C≡CH CH ₃ -C≡C-CH ₃	а) функциональная с бутадиеном; б) положения тройной связи.	Бут-1-ин Бут-2-ин
n = 5	C ₅ H ₈	CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -C≡CH CH ₃ -CH ₂ -C≡C-CH ₃ CH ₃ -CH-C≡CH CH ₃	а) функциональная с пентадиеном; б) положения тройной связи; в) углеродного скелета.	Пент-1-ин Пент-2-ин 3-Метилбут-1-ин

Для составления названий алкинов с длинными и разветвленными цепями применяются те же правила, что и в случае алкенов (стр. 72).

Первые представители алкинов при обычной температуре являются газами. Начиная с бут-2-ина все последующие алкины – жидкости, а высшие алкины – твердые вещества (таблица 2.12).

Растворимость ацетилена и низших алкинов в воде больше, чем ненасыщенных углеводородов с тем же числом атомов углерода. Этот факт объясняется полярностью связей С–Н. Плотность алкинов выше чем у соответствующих алканов или алкенов, но ниже воды.

Таблица 2.12. Физические константы некоторых алкинов

Систематическое название	Молекулярная формула	Сокращенная структурная формула	Геометрия молекул	Т. кипения, °С	Плотность жидкого вещества d, г/см ³
Этин	C ₂ H ₂	HC≡CH	≡	– 84	0,613
Пропин	C ₃ H ₄	CH ₃ -C≡CH	—≡	– 23	0,70
Бут-1-ин	C ₄ H ₆	CH ₃ -CH ₂ -C≡CH		8,6	0,668
Бут-2-ин	C ₄ H ₆	CH ₃ -C≡C-CH ₃	—≡—	27,2	0,69
Пент-1-ин	C ₅ H ₈	CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -C≡CH		39,7	0,693
Пент-2-ин	C ₅ H ₈	CH ₃ -CH ₂ -C≡C-CH ₃		55,5	0,712
Гекс-1-ин	C ₆ H ₁₀	CH ₃ -(CH ₂) ₂ -CH ₂ -C≡CH		75,0	0,720

Знаешь ли ты, что...

Чистый ацетилен – это газ с приятным эфирным запахом. Неприятный запах ацетилена, полученного из карбида кальция, обусловлен примесями NH₃ и PH₃. Эти примеси можно удалить пропусканием ацетилена через раствор K₂Cr₂O₇ и H₂SO₄.

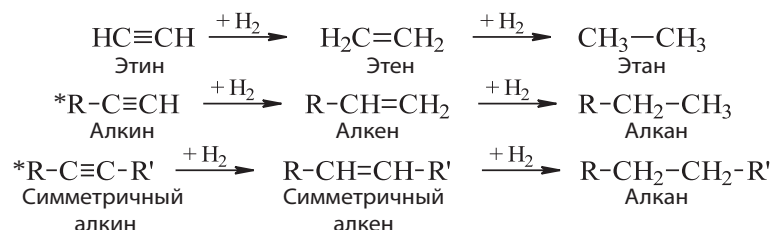
2.2.9.

Химические свойства алкинов

Для ацетилена и его гомологов характерны следующие реакции: присоединения, полимеризации (тримеризации), окисления, замещения.

А. Реакции присоединения.

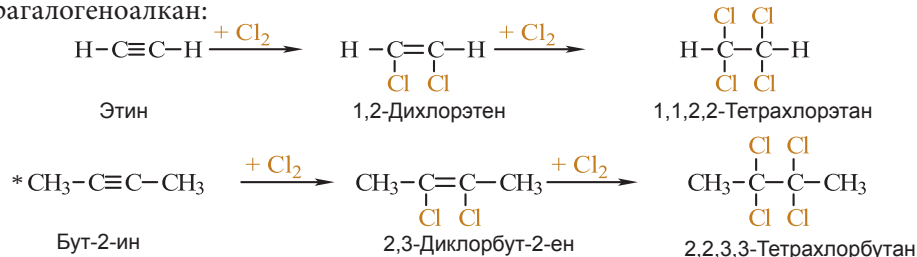
1. Присоединение водорода (гидрирование алкинов) происходит в присутствии катализаторов (Ni, Pd, Pt) с образованием вначале алкенов, затем алканов:



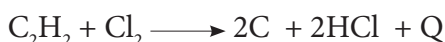
Реакция проходит в два этапа и в определённых условиях возможно выделение промежуточного алкена.

2. Присоединение галогенов (галогенирование) по тройной связи происходит аналогично – в два этапа.

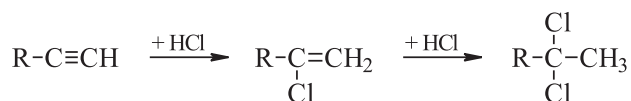
При присоединении одной молекулы галогена (растворенного в CCl_4) образуется дигалогеноалкен, который, присоединяя вторую молекулу галогена, дает тетрагалогеноалкан:



Реакция ацетилена с газообразным хлором протекает бурно с выделением тепла (Q):



*3. Присоединение галогеноводородов к алкинам происходит по правилу Марковникова (водород присоединяется к углероду, более богатому водородом):



Задание 2.18. Напиши уравнение реакции присоединения 1 моля HCl к этину. Назови продукт реакции.

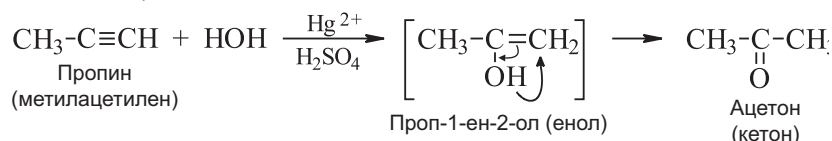
Знаешь ли ты, что...

Ацетилен нельзя сжимать до высокого давления, так как он при этом разлагается со взрывом. Его перевозят в стальных баллонах, наполненных асбестом – пористым материалом, пропитанным ацетоном. 1 л ацетона при 12 атм растворяет до 300 л ацетилена.

4. Присоединение воды к ацетилену (гидратация) происходит в присутствии серной кислоты и сульфата ртути (II) как катализатора. Промежуточным продуктом реакции является нестабильный виниловый спирт – енол (в схеме реакции заключен в квадратные скобки), который изомеризуется в ацетальдегид (М. Кучеров, 1881):



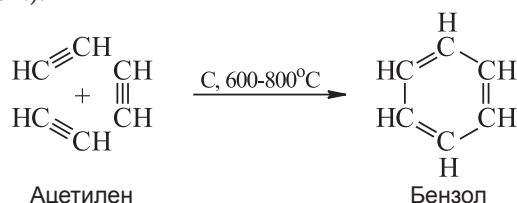
* Гомологи ацетилена в реакции Кучерова образуют кетоны. Например, из метилацетилена получается ацетон:



Присоединение воды к алкинам происходит по правилу Марковникова. Например, из пропина получается ацетон.

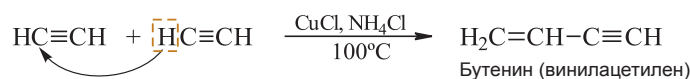
Б. Реакция полимеризации (тримеризации).

5. Тримеризация ацетилена происходит при высокой температуре или в присутствии катализаторов. При нагревании ацетилена в керамических трубках до 600–800°C, наряду с другими соединениями образуется бензол (30%) (М. Бертелло (Berthelot), 1866 г.):

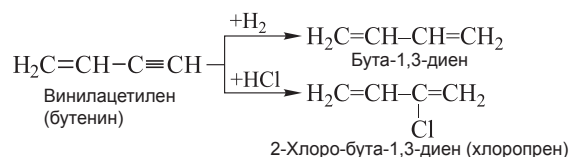


Расширение

При нагревании ацетилена с хлоридом меди (I) ($\text{CuCl} + \text{NH}_4\text{Cl}$) в кислой среде происходит димеризация с образованием винилацетилена:



Винилацетилен присоединяет водород, а также хлороводород, образуя бута-1,3-диен и, соответственно, 2-хлор-бута-1,3-диен (хлоропрен):

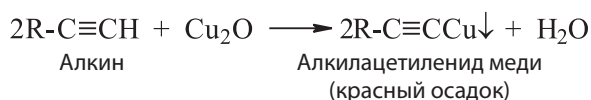
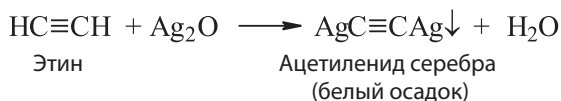


Хлоропрен и бута-1,3-диен используются для получения синтетического каучука (см. стр. 94).

В. *Реакции

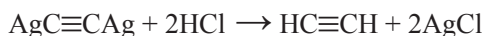
В. *Реакции замещения ацетиленового водорода металлами.

6. При обработке ацетилена или алкинов с концевой тройной связью аммиачным раствором оксида серебра (реактивом Толленса) или оксида меди (I) получают соединения с ковалентной связью углерод–металл – ацетилениды или алкилацетилениды:



Эта реакция применяется для аналитического определения ацетилена и алкинов с концевой тройной связью. Алкины, в которых тройная связь расположена не на конце цепи, не дают таких реакций.

Ацетилениды меди и серебра малоустойчивы, в сухом виде они взрываются от удара или нагревания. При действии соляной кислоты ацетилениды выделяют исходные алкины:



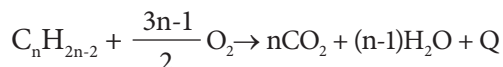
Алкины с концевой тройной связью, благодаря их способности образовывать металлические производные, могут быть легко выделены из смесей с другими углеводородами.



Рис. 2.50. Сварка металлов.

Г. Полное окисление (горение).

7. При горении алкины окисляются до оксида углерода (IV) и воды:



Ацетилен горит коптящим пламенем:



При избытке воздуха пламя становится более ярким чем у алкенов и алканов, благодаря большему содержанию углерода в ацетилене по сравнению с этиленом и этаном.

При горении ацетилена в кислороде температура пламени может достигать 3000°C. Это широко используется для автогенной резки и сварки металлов (рис. 2.50) с помощью специальной горелки, состоящей из двух трубок, по которым подаются отдельно ацетилен и кислород; смесь газов поджигают на выходе из горелки (рис. 2.51).



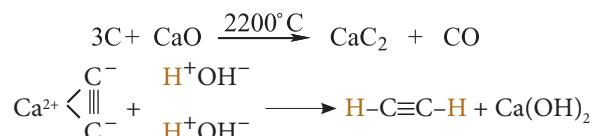
Рис. 2.51. Кислородно-ацетиленовая горелка.

2.2.10.

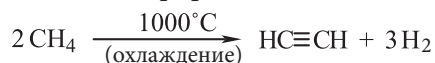
Методы получения и применение алкинов

За исключением ацетилена и пропина, которые получают из карбидов (CaC_2 , Mg_2C_3), все другие алкины получают синтетически.

Получение ацетилена (промышленный метод). Ацетилен образуется при разложении карбида кальция, действием воды. В свою очередь, карбид кальция получается в электрических печах из угля (кокс) и оксида кальция при очень высокой температуре:



Эта реакция получения ацетилена в аппаратах для сварки металлов в экстремальных условиях. Но, этот метод не может удовлетворить возрастающую потребность в ацетилене. Доступным сырьем для промышленного получения ацетилена в последние годы является метан (природный газ):



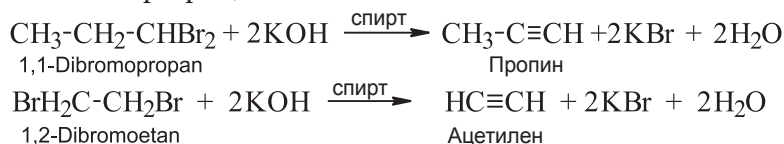
При такой высокой температуре становится возможным разложение ацетилена на элементы, поэтому образовавшаяся газовая смесь быстро охлаждается до $\approx 100^\circ\text{C}$.

Расширение

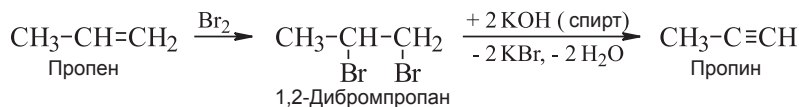
Получение алкинов реакциями элиминирования.

Тройная связь может образовываться в результате отщепления галогеноводородов от дигалогеналканов.

Если 1,1- или 1,2-Дигалогеналканы обработать спиртовым раствором КОН при $140-150^\circ\text{C}$ они превращаются в алкины:



Исходные дигалогеналканы получают из алкенов (каким типом реакций?). Поэтому, метод получения алкинов реакцией элиминирования дигалогенопроизводных является общим методом превращения двойной связи в тройную. Например, таким путем можно получить пропин из пропена:



2,2-Дигалогенопроизводные (геминальные) также могут быть превращены в алкины элиминированием галогеноводорода (по правилу Зайцева):

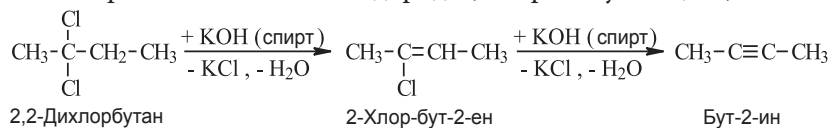




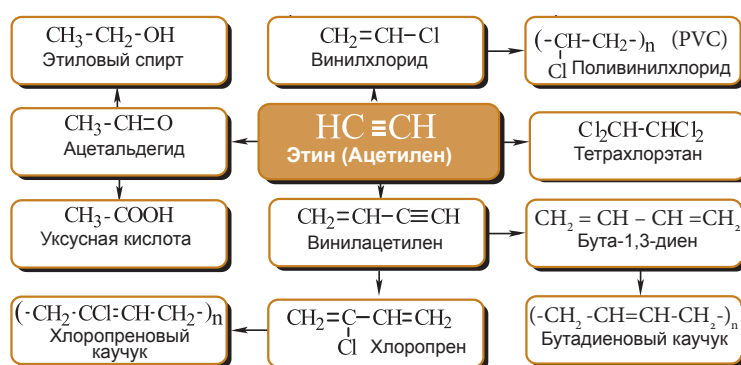
Рис. 2.52. Применение этина: 1 – растворители; 2 – резка и сварка металлов; 3 – поливинилхлорид.

Применение ацетилена

Ацетилен является ценным сырьем для производства различных синтетических продуктов, 85% производимого в мире ацетилена подвергается химической переработке (схема 2.4).

Так, из ацетилена присоединением хлора получают хлорпроизводные этана и этилена, применяемые как растворители. Гидратацией ацетилена получают ацетальдегид, из которого окислением получают уксусную кислоту, восстановлением – этиловый спирт (рис. 2.52).

Схема 2.4. Химическая переработка ацетилена

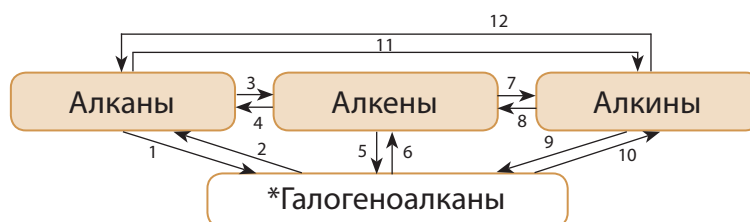


Задание 2.19. Используя схему 2.4, опиши области применения ацетилена (с примерами химических реакций).

Генетическая связь между алканами, алкенами и алкинами.

Генетическая связь между алканами, алкенами и алкинами представлена на схеме 2.5.

Схема 2.5. Генетическая связь между алканами, алкенами и алкинами



Задание 2.20. Используя схему 2.5:

- **напиши** схемы реакций, указанных в ней превращений, взяв для примера вещество с 2 атомами углерода;
- **перепиши** схему в тетрадь и вместо названий соединений напиши их общие формулы;
- **составь** задачу по получению 2 молей этина из метана и предложи алгоритм ее решения.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Дай определение понятия: алкины.
2. Объясни:
 - а) *тип гибридизации атомов углерода в этине и пропине;
 - б) номенклатуру алкинов и типы их изомерии;
 - в) *напиши структурные формулы алкинов по их названиям:
 - 1) 4,4-диметилпент-2-ин;
 - 2) 4-метил-3-этилпент-1-ин;
 - 3) 3-метилбут-1-ин;
 - 4) 2,5-диметилгекс-3-ин.
 - г) систематические названия следующих органических соединений:

$$\begin{array}{c} \text{CH}_3 - \text{CH}_2 \\ | \\ \text{CH}_3 - \text{CH} - \text{C} \equiv \text{CH} \end{array}$$
3. *Назови:
 - а) все изомеры алкинов с шестью атомами углерода и укажи типы изомерии;
 - б) конечные продукты следующих реакций:
 - 1) Бут-2-ин + 2 HCl $\longrightarrow$
 - 2) Пент-2-ин + H₂ $\xrightarrow{\text{Pd, t}^\circ\text{C}}$
4. *Предложи способ идентификации пент-1-ина и пент-2-ина, находящихся в разных пробирках. Ответ мотивируй схемами соответствующих реакций.
5. Напиши схемы реакций следующих превращений:

$$\text{CaC}_2 \xrightarrow{\quad} \text{C}_2\text{H}_2 \xrightarrow{\quad} \text{CH}_2 = \text{CH}_2 \rightarrow \text{полимер (полиэтилен)}$$

$$\text{CaC}_2 \xrightarrow{\quad} \text{C}_2\text{H}_2 \xrightarrow{\quad} \text{CH}_2 = \text{CHCl} \rightarrow \text{полимер (поливинилхлорид)}$$
6. Выбери правильный ответ:
 - А. Этин (ацетилен) в промышленности получают пиролизом: а) метана; б) этана.
 - Б. *Общая формула алкинов такая же, как: а) алкенов; б) алкадиенов.
 - В. Пент-1-ин и пент-2-ин являются изомерами: а) положения тройной связи; б) углеродного скелета.
7. Против каждого утверждения отметь его истинность или ложность (в соответствующей клетке напиши букву **И** (истинно) или **Л** (ложно)):

	И	Л
а. При горении этина мольное отношение этина и кислорода равно 2:5.	☐	☐
б. *Тройная связь в алкинах содержит две π-связи.	☐	☐
в. *Бут-2-ин реагирует с ионами Ag ⁺ и Cu ⁺ .	☐	☐
г. Бут-1-ин имеет изомеры положения тройной связи и изомеры углеродного скелета.	☐	☐
8. Заполни свободные места в следующих утверждениях:
 - а. Общая формула алкинов, их молекулы содержат одну
 - б. Присоединение воды к этину происходит в присутствии и при этом образуется
 - в. Пропин является этина.
 - г. Для алкинов характерны следующие типы изомерии
9. Реши задачу:

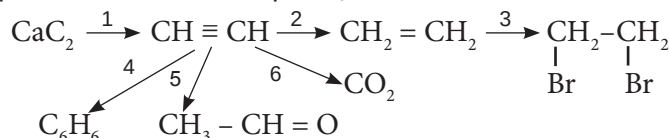
Углеводород содержит 88,9% С и 11,1% Н. Его плотность по водороду равна 27. Установи молекулярную формулу углеводорода и напиши структурные формулы его изомеров.

(О.: C₄H₆)

2.2.11.–
2.2.12.Упражнения и расчетные задачи
по общей формуле алкадиенов, алкинов
и уравнениям их реакций

Упражнение 1

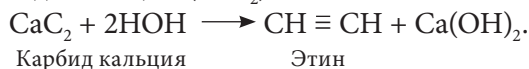
Напиши уравнения химических реакций по схеме:



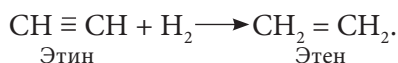
Решение:

Напиши уравнения химических реакций в последовательности в указанной схеме:

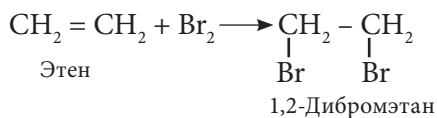
1. Гидратация карбида кальция (CaC_2):



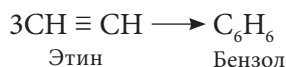
2. Частичное гидрирование этина в соотношении 1:1.



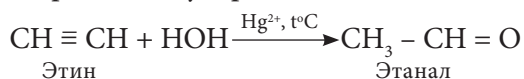
3. Бромирование этена:



4. Тримеризация этина:



5. Гидратация этина (реакция Кучерова):



6. Горение этина:



Задача 1

При горении диенового углеводорода плотностью 2,4 г/л получено 26,88 л оксида углерода (IV) (н.у.) и 16,2 г воды. Молекулярная формула углеводорода может быть:

а) C_2H_4 ; б) C_3H_4 ; в) C_4H_6 ; г) C_4H_{10} .

Дано:

$\rho = 2,41 \text{ г/л}$
 $V(\text{CO}_2) = 26,88 \text{ л}$
 $m(\text{H}_2\text{O}) = 16,2 \text{ г}$

Формула – ?

Решение:

1. Вычислим количество вещества CO_2 и количество вещества H_2O :

$$\nu(\text{CO}_2) = \frac{V(\text{CO}_2)}{V_m} = \frac{26,88 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 1,2 \text{ моль}$$

$$\nu(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{16,2 \text{ г}}{18 \text{ г/моль}} = 0,9 \text{ моль}$$

2. Находим количество вещества углерода и количество вещества водорода:

$\nu(\text{C}) = \nu(\text{CO}_2) = 1,2$ моль, т.к. 1 моль H_2O содержит 2 моль Н, количество молей атомов Н: $\nu(\text{H}) = \nu(\text{H}_2\text{O}) \cdot 2 = 0,9 \text{ моль} \cdot 2 = 1,8$ моль.

3. Находим брутто-формулу диенового углеводорода:

$$\text{C}_x\text{H}_y; \quad x : y = 1,2 : 1,8 = 2 : 3 \longrightarrow \text{C}_2\text{H}_3; \quad \text{Mr}(\text{C}_2\text{H}_3) = 27$$

4. Вычисляем молекулярную массу углеводорода, используя его плотность (ρ):

$$M(\text{C}_x\text{H}_y) = \rho \cdot V_m$$

$$M(\text{C}_x\text{H}_y) = 2,41 \text{ г/л} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 54 \text{ г/моль}.$$

5. Определяем n (индекс умножения) из соотношения

$$n = \frac{\text{Mr}(\text{C}_x\text{H}_y)}{\text{Mr}(\text{C}_2\text{H}_3)}; \quad n = \frac{54}{27} = 2; \quad \text{Молекулярная формула: } (\text{C}_2\text{H}_3)_2 \longrightarrow \text{C}_4\text{H}_6.$$

От в е т: молекулярная формула C_4H_6 , значит, правильный ответ **в**).

Задача 2

Вычисли количество вещества, массу и объем (н.у.) ацетилена, который образуется из 10 г технического карбида кальция, содержащего 15% примесей.

Дано:

$$m(\text{CaC}_2_{\text{техн.}}) = 10 \text{ г}$$

$$\omega(\text{прим.}) = 15\%$$

$$V(\text{C}_2\text{H}_2) - ?$$

$$\nu(\text{C}_2\text{H}_2) - ?$$

$$m(\text{C}_2\text{H}_2) - ?$$

Решение:

1. Вычисляем массу CaC_2 в техническом карбиде:

$$\omega(\text{CaC}_2) = 100\% - \omega(\text{прим.}) = 100\% - 15\% = 85\%$$

2. Определяем массу чистого карбида кальция:

$$\omega(\text{CaC}_2) = \frac{m(\text{CaC}_2)}{m(\text{прим.})(\text{CaC}_2)} \cdot 100\% \longrightarrow m(\text{CaC}_2) = \frac{\omega(\text{CaC}_2) \cdot m(\text{прим.})}{100} = \frac{85\% \cdot 10 \text{ г}}{100\%} = 8,5 \text{ г}$$

3. Вычисляем количество вещества карбида кальция:

$$m(\text{CaC}_2) = 64 \text{ г/моль}; \quad \nu = \frac{m(\text{CaC}_2)}{M(\text{CaC}_2)} = \frac{8,5 \text{ г}}{64 \text{ г/моль}} = 0,13 \text{ моль}$$

4. Записываем уравнение реакции: $\text{CaC}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{C}_2\text{H}_2$

5. Вычисляем по уравнению реакции количество вещества ацетилена:

$$\nu(\text{CaC}_2) = \nu(\text{C}_2\text{H}_2) = 0,13 \text{ моль}$$

6. Вычисляем массу и объем ацетилена:

$$m(\text{C}_2\text{H}_2) = \nu \cdot M = 0,13 \text{ моль} \cdot 26 \text{ г/моль} = 3,38 \text{ г}$$

$$\nu(\text{C}_2\text{H}_2) = \frac{V(\text{C}_2\text{H}_2)}{V_m} \longrightarrow V(\text{C}_2\text{H}_2) = \nu \cdot V_m = 0,13 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 2,91 \text{ л}$$

От в е т: $V(\text{C}_2\text{H}_2) = 2,91 \text{ л}$; $\nu(\text{C}_2\text{H}_2) = 0,13 \text{ моль}$; $m(\text{C}_2\text{H}_2) = 3,38 \text{ г}$.

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

- При сгорании в кислороде углеводорода с общей формулой $C_n H_{2n-2}$ образовалось 391,1 г CO_2 и 120 г H_2O . Требуется:
 - определить молекулярную формулу углеводорода и структурные формулы его изомеров;
 - вычислить массу сожжённого углеводорода;
 - вычислить объём кислорода, израсходованного при горении.
(О.: а. C_4H_6 ; б. 120 г; в. 271,04 л)
- * Какая масса карбида кальция, содержащего 80% карбида, необходима для получения 2,8 л ацетилена (н. у.)?
(О.: 10 г)
- Вычислите количество вещества и массу брома, который сможет прореагировать с 3 молями изопрена (2-метилбута-1,3-диена).
(О.: 6 моль; 960 г)
- Для углеводорода с молекулярной массой 68 массовое отношение С:Н равно 15:2. Установите молекулярную формулу и напишите структурную формулу изомера, образующего эластомер при полимеризации.
(О.: C_5H_8)
- Какой объём CO_2 (н. у.) образуется при сгорании 6 л ацетилена в 18 л кислорода?
(О.: 12 л)
- Вычислите массовую долю хлора в хлоропрене (2-хлорбута-1,3-диене).
(О.: 40,1%)
- Какой объём ацетилена (н. у.) получится из 6,88 г карбида кальция, содержащего 7% примесей?
(О.: 2,24 л)
- *Сожгли 10,8 г органического вещества C_xH_y . Образовавшийся CO_2 пропустили через известковую воду, при этом выпало 80 г осадка. Определите молекулярную формулу углеводорода.
(О.: C_4H_6)
- *Какой объём водорода будет израсходован на гидрирование 64 л (н. у.) смеси этана и этина, содержащей 30% этана?
(О.: 89,6 л)
- При сжигании алкадиена с 5 атомами углерода в молекуле образовалось 7,2 г воды. Вычислите объём образовавшегося CO_2 (н. у.) и количество сожжённого алкадиена.
(О.: 11,2 л; 0,1 моль)

Работа в группе

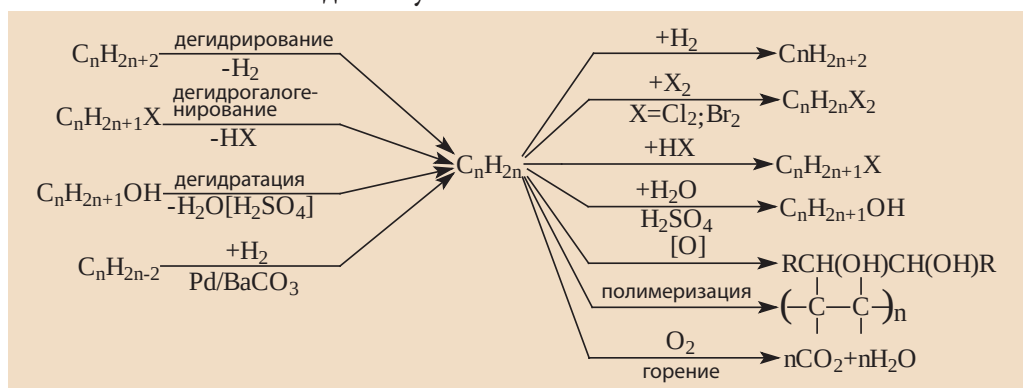
Заполни свободные места в таблице:

Название гомологического ряда	Общая формула	Структурная формула одного представителя
	$C_n H_{2n}$	
Алкадиены		
	C_3H_8	
		$CH \equiv CH$

ПОВТОРИ И ЗАКРЕПИ СВОИ ЗНАНИЯ: НЕНАСЫЩЕННЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ

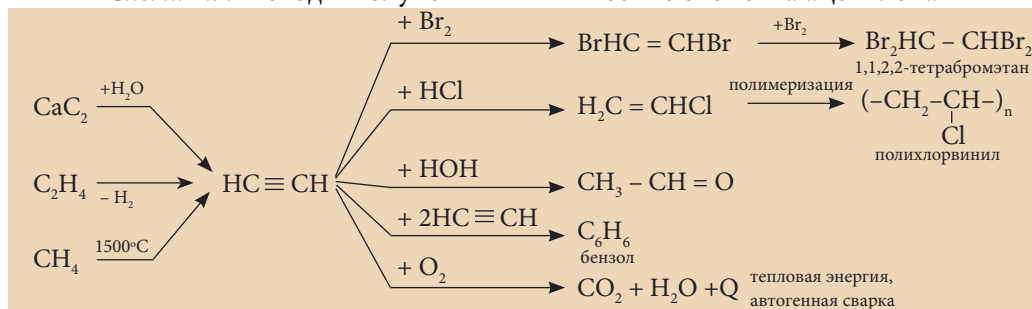
- ♦ **Алкены** – это ациклические ненасыщенные углеводороды, в молекулах которых содержится *функциональная группа* – *двойная связь* ($C=C$) длиной 0,134 нм, их общая формула C_nH_{2n} ($n = 2, 3, 4, \dots$).
- ♦ **Номенклатура.** Систематическое название *алкена* образуется из названия соответствующего алкана заменой окончания *-ан* на *-ен* (этан – этен).
- ♦ **Изомерия.** Для алкенов возможна изомерия углеродного скелета, изомерия положения двойной связи, функциональная изомерия (с циклоалканами).
- ♦ **Получение.** Алкены получают реакциями отщепления: дегидратации, дегидрогалогенирования, дегалогенирования, дегидрирования.
- ♦ **Химические свойства.** Для алкенов характерны реакции присоединения (гидратации, гидрогалогенирования, галогенирования), окисления и полимеризации (схема 2.6).

Схема 2.6. Методы получения и химические свойства алкенов



- ♦ **Алкадиены** – это ациклические ненасыщенные углеводороды, в молекулах которых содержатся *две двойные связи*. Их общая формула C_nH_{2n-2} ($n = 3, 4, 5, \dots$).
- ♦ **Алкины** – это ациклические ненасыщенные углеводороды, в молекулах которых содержится *функциональная группа* – *тройная связь* ($C\equiv C$), имеющая длину 0,120 нм. Их общая формула: C_nH_{2n-2} ($n = 2, 3, 4, \dots$).
- ♦ **Номенклатура алкинов.** Систематическое название *алкина* образуется из названия соответствующего алкана замещением окончания *-ан* на *-ин* и указанием места тройной связи с помощью цифры.
- ♦ **Изомерия** алкинов: углеродного скелета, положения функциональной группы (тройной связи), *функциональная (с алкадиенами).
- ♦ Методы получения и химические свойства ацетилена показаны на *схеме 2.7*.

Схема 2.7. Методы получения и химические свойства ацетилена



ЗАВЕРШАЮЩАЯ ОЦЕНКА ЗНАНИЙ

Гуманитарный профиль

1. Для следующих углеводородов:

- а) этан; б) пропен;
в) бута-1,3-диен; г) пропин;

укажи:

- а) общую формулу и название его гомологического ряда;
б) молекулярную формулу и сокращённую структурную формулу;
в) число связей С–С и С–Н.

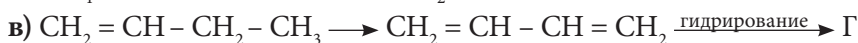
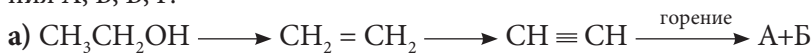
2. Укажи, в чем сходство и различие между веществами в следующих парах:

- а) этен и этин;
б) пропин и пропан;
в) бут-1-ен и бута-1,3-диен.

3. Напиши полные структурные формулы для следующих углеводородов:

- а) 3-метилбут-1-ен;
б) бут-2-ин;
в) 2-метилбута-1,3-диен;
г) 3,3-диметилбут-1-ин;
д) 3,3-диметилпента-1,4-диен;
е) бут-1-ен-3-ин.

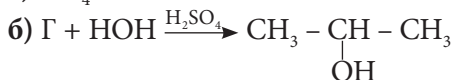
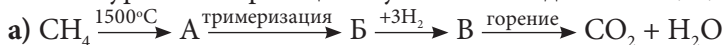
4. Напиши уравнения реакций следующих превращений и установи соединения А, Б, В, Г:



5. Заполни свободные места в следующих утверждениях:

- а. При гидрировании этена получается
б. При гидратации этина получается
в. При полимеризации бутадиена получается
г. При тримеризации ацетилена получается

6. Напиши уравнения реакций и установи соединения А, Б, В, Г:



7. Реши задачу:

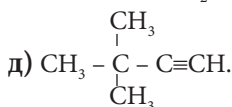
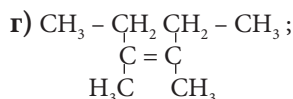
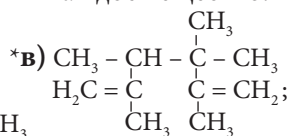
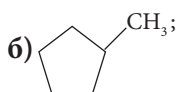
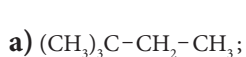
При взаимодействии с бромом одного из изомеров углеводорода C_4H_8 получился 2,3-дибромбутан. Какова структура углеводорода, подвергнутого бромированию?

2.2.13*.

ЗАВЕРШАЮЩАЯ ОЦЕНКА ЗНАНИЙ

Реальный профиль

1. Назови следующие вещества по систематической номенклатуре и укажи класс соединений, к которому принадлежит каждое вещество:



2. Укажи вещества, обозначенные буквами, а также условия всех реакций:
 $2\text{CH}_4 \rightarrow a + 3b$; $a + b \rightarrow v$; $a + \text{HCl} \rightarrow z$; $3a \rightarrow v$.
3. Заполни схемы следующих реакций и напиши названия всех веществ:
 а) $\text{HC}\equiv\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 + \text{HCl} \rightarrow$; б) Циклогексан + $\text{Br}_2 \rightarrow$;
 в) $\text{H}_3\text{C}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 + \text{H}_2 \rightarrow$.
4. Сравни химические свойства этана и этена. Укажи общие и различные их свойства. Какой из них химически более активен? Почему?
5. Выбери правильный ответ:

А. Реакция, с помощью которой можно отличить алкин с концевой тройной связью от других ненасыщенных углеводородов, это:

а) реакция присоединения воды; б) реакция с аммиачным раствором Ag_2O ;
 в) реакция с бромом; г) реакция окисления.

Б. Сколько изомерных алкенов могут образоваться при дегидрировании 2,3-диметилпентана?

а) 2; б) 3; в) 4; г) 5.

В. Алкин, у которого относительная плотность паров по воздуху 2,3, имеет формулу: а) C_3H_4 ; б) C_4H_6 ; в) C_5H_8 ; г) C_6H_{10} .

6. Отметь против каждого утверждения его истинность или ложность (в соответствующей клетке напиши букву И (истинно) или Л (ложно)):

а. Существует 4 изомерных алкина с молекулярной формулой C_6H_{10} .

И	Л
☐	☐

б. Пентан, пентен и пентин являются изомерами углеродной цепи.

☐	☐
--------------------------	--------------------------

в. Алкены, присоединяя воду, образуют спирты.

г. Ацетилен вступает в реакцию полимеризации.

☐	☐
--------------------------	--------------------------

д. Этин не вступает в реакции замещения.

☐	☐
--------------------------	--------------------------

7. Заполни свободные места в следующих утверждениях:

А. Функциональная группа в алкенах – это

Б. Для алкинов возможны следующие типы изомерии –

В. Для обнаружения двойной связи в алкенах применяют реакцию с

- *8. Реша задачи:

а. Какой объем кислорода необходим для сжигания смеси 40 л этена и 20 л метана (н. у.)? (О.: 160 л)

б. Вычисли массу брома, который прореагирует с 50 л смеси этина и метана, содержащей 20% метана по объему. (О.: 571,4 г)

2.3.

Ароматические углеводороды (арены)



Рис. 2.53. Типы ароматических углеводородов.

Как ты уже знаешь, существует два типа углеводородов: **ациклические**, с открытой углеродной цепью, и **циклические**, с замкнутой углеродной цепью (стр. 31).

Определение

Ненасыщенные циклические соединения, содержащие в молекулах один цикл из шести атомов углерода с тремя чередующимися двойными связями, называемый бензольным циклом (C_6H_6), называются **ароматическими углеводородами** или **аренами**, $Ar-H$.

Классификация

В зависимости от числа бензольных колец в молекуле, различаются: *моноциклические ароматические углеводороды* и *полициклические* с 2, 3 и бóльшим числом изолированных (бифенил) или конденсированных (нафталин, антрацен) бензольных колец (рис. 2.53).

2.3.1. Бензол – представитель аренов

Моноциклические ароматические углеводороды образуют гомологический ряд с общей формулой C_nH_{2n-6} . Первым представителем этого ряда является **бензол** (т. е. $n = 6$).

Бензол является простейшим ароматическим соединением. Он впервые был выделен М. Фарадеем (M. Faraday) в 1825 г. из жидкости, которая конденсировалась из светильного газа, полученного из угля.

Впоследствии (1834) бензол был получен Митчерлихом (Mitscherlich) декарбоксилизацией бензойной кислоты (C_6H_5COOH), которую в то время выделяли из смолы дерева *Styrax benzoin*, от названия которого и происходит название «бензол».

*В разное время ученые предлагали различные циклические структурные формулы бензола, соответствующие его молекулярной формуле C_6H_6 . Первую из таких формул в 1865 г. предложил немецкий химик Фридрих Август Кекуле. Впоследствии были предложены и другие структурные формулы, отличающиеся от формулы Кекуле (рис. 2.54).

В формуле Кекуле шесть атомов углерода располагались в вершинах шестиугольника, образуя циклическую молекулу, содержащую три сопряженные двойные связи. Каждый атом углерода в формуле Кекуле связан с одним атомом водорода:

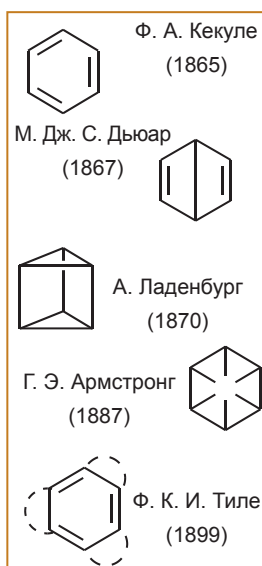
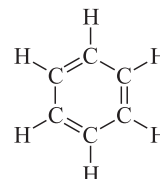


Рис. 2.54. Формулы, предложенные для бензола.

три сопряженные двойные связи. Каждый атом углерода в формуле Кекуле связан с одним атомом водорода:

Знаешь ли ты, что...

Ф. А. Кекуле предложил формулу бензола, размышляя над старым алхимическим символом «дракон, кусающий свой хвост».



Это была первая циклическая формула в химии (циклоалканы были открыты позже). Она правильно отображает (в этом ты убедишься чуть позднее) расположение атомов в молекуле бензола, однако не дает правильного представления о его химических свойствах. Вещество, в молекуле которого имеются три двойные связи, должно обладать ярко выраженными ненасыщенными свойствами.

☉ Какие реакции характерны для ненасыщенных соединений?

Как было сказано в предыдущей теме, ненасыщенные углеводороды (алкены, алкины) присоединяют галогены (обесцвечивают бромную воду), легко окисляются раствором перманганата калия (раствор обесцвечивается, выделяя бурый осадок MnO_2).



ЛАБОРАТОРНЫЙ ОПЫТ

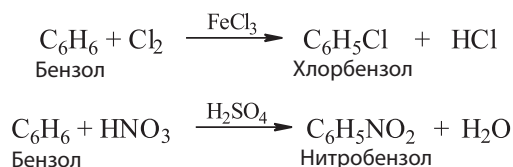
Испытание бензола на наличие ненасыщенных свойств

1. **Налей** в одну пробирку 2 мл бромной воды, в другую – 2 мл раствора перманганата калия.
2. **Добавь** в каждую пробирку по 0,5 мл бензола.
3. **Закрой** пробирки пробками и энергично (внимание!) перемешай их содержимое.
4. **Сделай** выводы о том, что наблюдаешь.

Таким образом, бензол не вступает в реакции, характерные для алкенов:



При исследовании бензола были открыты и другие свойства, отличающие его от ненасыщенных углеводородов. Например, в определенных условиях бензол легко вступает в реакции с галогенами, с азотной и серной кислотами, в ходе которых происходит не присоединение, а замещение атомов водорода (что характерно для насыщенных соединений), причем эти реакции идут с высокими выходами:



Бензол и другие ароматические углеводороды вступают в реакции замещения легче, чем алканы и циклоалканы. Это означает, что бензол, хоть и является ненасыщенным соединением, в какой-то мере подобен насыщенным углеводородам. Такое несоответствие могло быть объяснено только после тщательного изучения строения бензола и природы химических связей в его молекуле.

Расширение

***Современная теория строения бензола.** В настоящее время известно, что в молекуле бензола все атомы углерода находятся в состоянии sp^2 -гибридизации. Каждый из них соединен с двумя соседними атомами углерода $\sigma\text{C}-\text{C}$ (sp^2-sp^2) связями, а также с одним атомом водорода $\sigma\text{C}-\text{H}$ (sp^2-s) связью (рис. 2.55, а). Все σ -связи находятся в одной плоскости (рис. 2.55, б), образуя углы 120° . Таким образом, 6 атомов углерода и 6 атомов водорода образуют сигма-скелет молекулы (рис. 2.55, в).

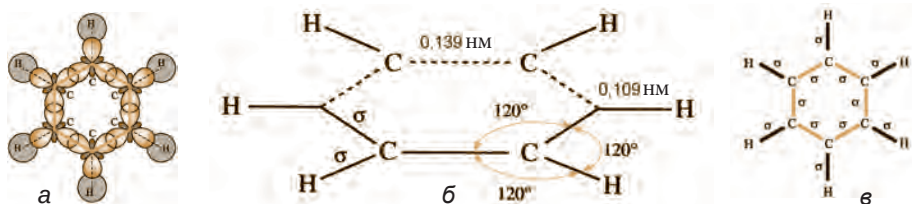


Рис. 2.55. Схема образования σ -связей в молекуле бензола.

Шесть негибридизованных p -орбиталей (по одной на каждом атоме углерода) расположены на осях, перпендикулярных плоскости кольца (рис. 2.56, а).

Каждая из них взаимодействует равным образом с двумя соседними p -орбиталями, образуя единую π -орбиталь, охватывающую все шесть атомов цикла (рис. 2.56, б).

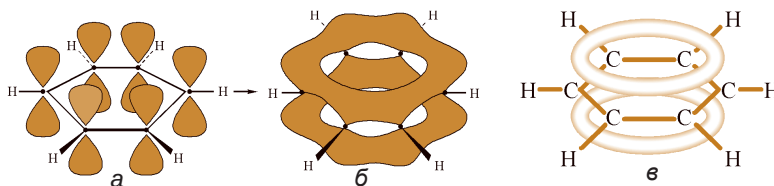
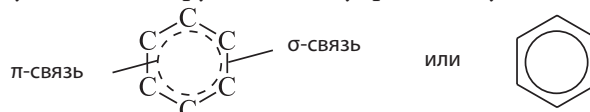


Рис. 2.56. Образования π -связей в молекуле бензола: а – шесть негибридизованных p -орбиталей бензола; б – взаимодействие p -орбиталей с образованием молекулярной орбитали; в – распределение электронной плотности молекулярной орбитали.

Поскольку негибридизованные π -орбитали ориентированы перпендикулярно плоскости σ -связей, максимум электронной плотности молекулярной орбитали представляет собой два кольца, расположенных по обе стороны цикла (рис. 2.56, в). Слияние 6 π -орбиталей в молекулярную орбиталь характерно для ароматических соединений.

Шесть π -электронов молекулярной орбитали делокализованы (равномерно распределены) в молекуле бензола, поэтому связи между атомами углерода в ней одинаковы по длине и не являются ни простыми (0,154 нм), как в алканах, ни двойными (0,134 нм), как в алкенах.

Исследования физическими методами позволили установить, что атомы углерода в молекуле бензола находятся в вершинах правильного шестиугольника, длина $\text{C}-\text{C}$ связи равна 0,139 нм, длина $\text{C}-\text{H}$ связи – 0,109 нм. Молекулярную орбиталь бензола часто рисуют в виде окружности внутри шестиугольника:



Молекулярная орбиталь бензола делает его очень устойчивым к действию различных окислителей. Этим бензол отличается от насыщенных и ненасыщенных углеводородов, которые окисляются намного легче бензола.

Расширение

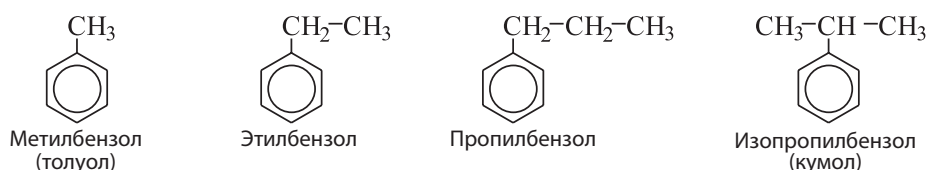
***Гомологи бензола. Номенклатура. Изомерия**

При замещении одного или нескольких атомов водорода в молекуле бензола на алкильные группы получаются алкилбензолы или гомологи бензола.

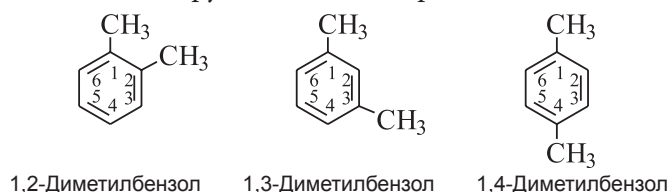
Названия однозамещенных алкилбензолов по систематической номенклатуре составляются из названия алкильной группы и слова *бензол*.

Гомологами бензола являются: метилбензол (толуол), этилбензол и др.

У однозамещенных алкилбензолов нет изомеров положения алкильной группы, поскольку все атомы углерода в бензольном кольце эквивалентны. Начиная с пропилбензола, становится возможной изомерия алкила боковой цепи:



Если в бензольном кольце имеются две алкильные группы, то возникает изомерия положения алкильных групп. Положения радикалов обозначаются числами:



Задание 2.21. Напиши структурную формулу четвертого изомера арена C_8H_{10} .

◆ Одновалентные радикалы ароматических углеводородов имеют общее название *арил* (Ar), одновалентный радикал бензола (C_6H_5-) – *фенил* (Ph), толуола ($CH_3-C_6H_4-$) – *толил* и ($C_6H_5-CH_2-$) – *бензил*.

Физические свойства гомологов бензола

Одноядерные ароматические углеводороды являются бесцветными жидкостями со сладковатым запахом. Термин «ароматический» появился из-за того, что первые открытые представители этого класса соединений обладали характерным запахом. В настоящее время этот термин применяется для обозначения определенного класса органических соединений. Слово «неароматический» является синонимом слова «алифатический».

Температуры кипения аренов ($80-200^\circ C$) практически всегда выше, чем алканов с такой же молекулярной массой (таблица 2.13).

Таблица 2.13. Некоторые физические константы гомологов бензола

Название	Формула	Т.кип., $^\circ C$	Плотность, $г/см^3$
Бензол	C_6H_6	80	0,879
Метилбензол	$C_6H_5 - CH_3$	110	0,866
Этилбензол	$C_6H_5 - CH_2 - CH_3$	138	0,867
Пропилбензол	$C_6H_5 - CH_2 - CH_2 - CH_3$	159	0,862

Бензол и другие ароматические углеводороды практически нерастворимы в воде и легко растворимы в органических растворителях (эфире, тетрахлорметане и др.). Пары бензола токсичны и легко воспламеняются.

2.3.2.

Химические свойства бензола

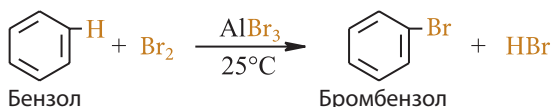
Химические свойства ароматических углеводородов существенно отличаются от свойств уже изученных углеводородов из-за того, что в их молекулах имеется кольцевая π -электронная орбиталь, обеспечивающая стабильность молекулы.

По химическим свойствам бензол занимает промежуточное место между насыщенными и ненасыщенными углеводородами.

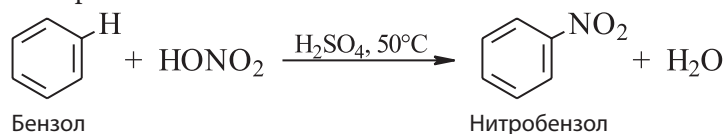
А. Реакции замещения.

Реакции замещения в бензольном ядре – это реакции, в ходе которых атомы водорода заменяются на другие атомы или группы атомов. Замещение в бензоле идет легче, чем в насыщенных углеводородах, присоединение к бензолу – труднее, чем в ненасыщенных углеводородах.

1. Галогенирование. Замещение атомов водорода в бензольном ядре на галоген возможно только в присутствии катализаторов (FeCl_3 , AlBr_3 и др.):

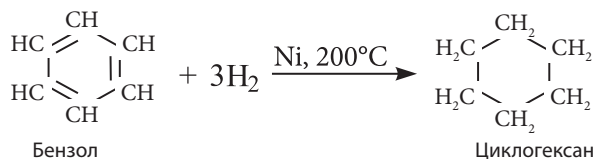


2. Нитрование. При действии на бензол смеси концентрированных азотной и серной кислот происходит замещение атомов водорода на нитрогруппу $-\text{NO}_2$ с образованием нитробензола:

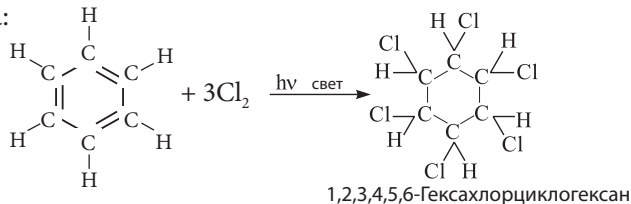
**Б. Реакции присоединения.**

Для реакций присоединения необходимы жесткие условия из-за особой стабильности бензольного ядра.

1. Гидрирование бензола проводят в присутствии катализаторов (никель) при 200°C . Продуктом реакции является циклогексан:



2. Хлорирование бензола при ультрафиолетовом облучении или при высоких температурах приводит к образованию гексахлорциклогексана, применяемого в качестве инсектицида:

**В. Реакции окисления.**

Полное окисление (горение) приводит к образованию оксида углерода (IV) воды и выделению теплоты. Бензол и его гомологи горят коптящим пламенем (объясни почему):

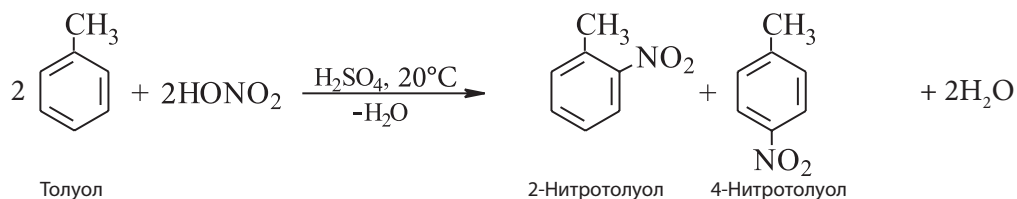


Расширение

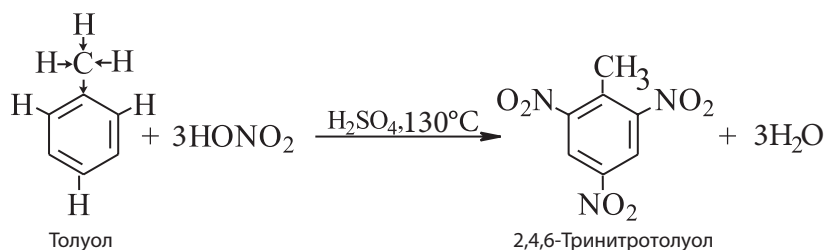
***Химические свойства гомологов бензола (алкилбензолов)**

Во многих свойствах гомологи бензола подобны бензолу. В то же время, у них есть свойства, обусловленные присутствием в их молекулах алкильных радикалов.

Опытным путем установлено, что толуол (метилбензол) нитруется легче бензола, образуя два изомерных нитропроизводных:



Нагревание толуола при 130°C в избытке нитрующей смеси приводит к образованию 2,4,6-тринитротолуола:

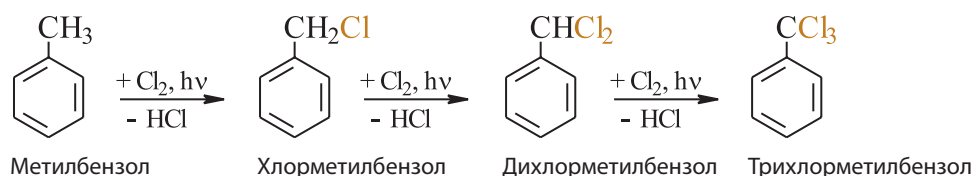


2,4,6-Тринитротолуол (под названием *тротил* или *тол*) применяется как взрывчатое вещество.

Следовательно, метильная группа толуола влияет на реакционную способность ароматического ядра, придавая большую подвижность атомам водорода в положениях 2, 4, 6.

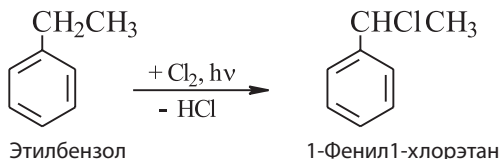
В свою очередь, ароматическое ядро влияет на подвижность атомов водорода метильной группы. В определенных условиях эти атомы водорода могут быть замещены на другие атомы (галоген) или группы атомов (NO_2). Эти реакции протекают легче, чем для метана (толуол можно представить как метан, в котором один атом водорода замещен на фенильную группу $-(\text{C}_6\text{H}_5)$: CH_3-H ; $\text{CH}_3-\text{C}_6\text{H}_5$).

Взаимное влияние метильной группы и ароматического ядра было подтверждено при изучении реакций галогенирования толуола. Так, установлено, что хлорирование толуола при нагревании или освещении приводит к продуктам замещения в боковой цепи аналогично хлорированию алканов:



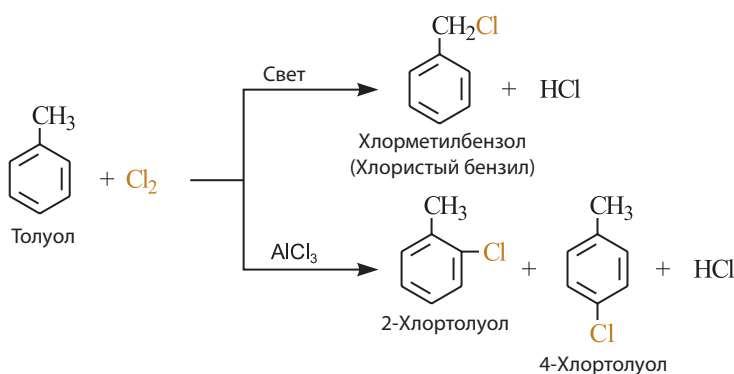
Расширение

Влияние ароматического ядра на этильную группу приводит к увеличению подвижности атомов водорода в α -положении (атомов водорода при углероде, соединенном с ядром):



Галогенирование толуола в присутствии катализатора (AlCl_3) и без освещения приводит к замещению атомов водорода ядра в положениях 2 и 4 относительно метильной группы.

Эти два процесса представлены в следующей схеме:



Эти примеры показывают, как важно знать условия, в которых следует проводить реакцию, для получения нужного продукта.

*Доказательством взаимного влияния алкильных групп (CH_3 -, C_2H_5 -) и ароматического ядра являются реакции окисления гомологов бензола.

Так, при действии на гомологи бензола окислителей (HNO_3 , KMnO_4 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) боковые цепи легко окисляются с образованием бензойной кислоты:

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ОПЫТ****Окисление толуола**

1. **Налей** в две пробирки по 1 мл водного раствора перманганата калия и по 1 мл разбавленной (20%) серной кислоты.
2. **Добавь** в одну пробирку 0,5 мл бензола, в другую – 0,5 мл толуола.
3. **Закрой** пробирки пробками и энергично перемешай их содержимое.
4. **Сделай** выводы, наблюдая за изменениями в пробирках.
5. **Объясни** причину изменения окраски в пробирке с толуолом.

2.3.3*.

Получение ароматических углеводородов и их применение

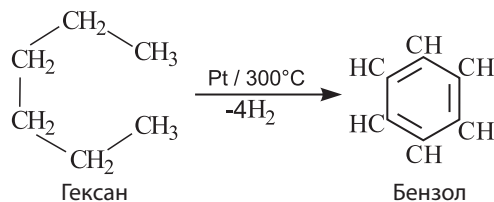
А. Природные источники

1. Ароматические углеводороды выделяют из газов и смолы, образующихся при производстве кокса из каменного угля. При температурах 900–1000°C образуется коксовый газ, содержащий бензол, толуол и небольшие количества других аренов.

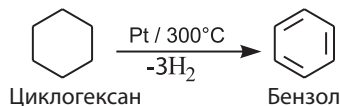
2. Другой источник ароматических углеводородов – нефть. Она содержит 20–50% ароматических углеводородов (бензол и толуол составляют около 10–15%).

В процессе каталитического реформинга имеет место дегидроциклизация линейных алканов.

При пропускании паров алканов линейной структуры над металлическим катализатором (Pt, Cr, V), при 300°C образуются ароматические углеводороды. Этот процесс называется **дегидроциклизацией** или **ароматизацией**. Таким образом, гексан превращается в бензол:

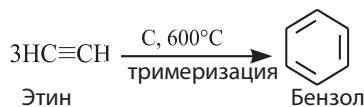


*В промышленности ароматические углеводороды получают также при **дегидрировании** циклоалканов нефти:

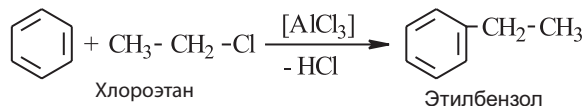


Б. Методы синтеза

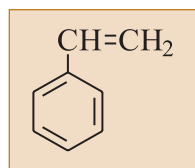
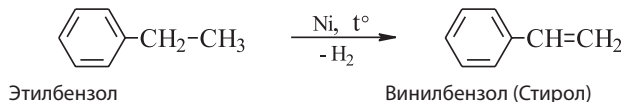
3. Бензол и его тризамещенные гомологи получают при тримеризации алкинов.



4. Реакция алкилирования бензола (реакция Фриделя-Крафтса) стоит в основе методов синтеза гомологов бензола:



5. Этилбензол производится в больших количествах, т.к. из него получается стирол:



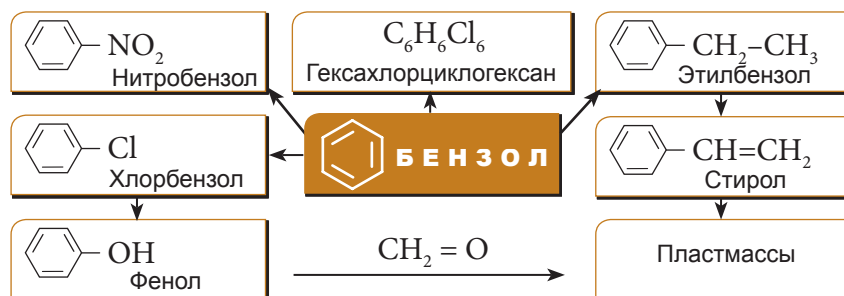
Задание 2.22. Напиши уравнения реакций стирола.

Стирол – это мономер полистирола – полимера, который имеет широкое практическое применение (см. Пластические массы, стр. 84).

Применение бензола и его производных

Бензол и его гомологи широко используются в качестве растворителей. Бензол является сырьем для получения промежуточных продуктов, необходимых в химической промышленности (нитробензол, стирол, хлорбензол, фенол и др.).

Схема 2.8. Химизация бензола и его производных



Задание 2.23. Напиши уравнения реакций, представленных в схеме 2.8 и отметь условия их протекания.

Бензол является также ценным продуктом для получения медикаментов, взрывчатых веществ, пестицидов (средств для защиты растений), пластмасс и синтетических красителей (рис. 2.57).

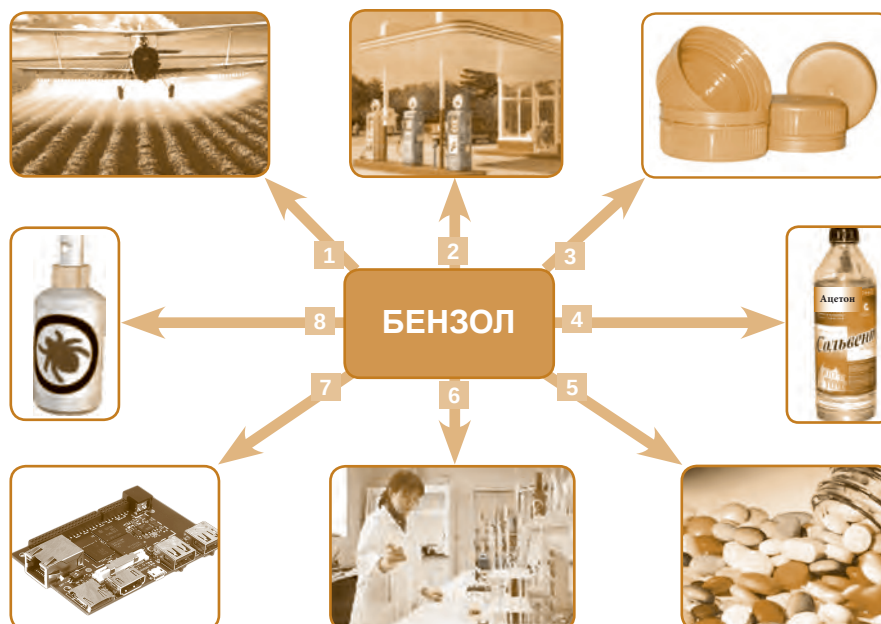


Рис. 2.57. Применение бензола и его производных: 1 – пестициды; 2 – присадки к бензину; 3, 7 – пластмассы; 4 – растворители (ацетон); 5 – медикаменты; 6 – синтез анилина; 8 – инсектициды.

Задание 2.24. Напиши эссе из предоставленной информации в схеме 2.8 и рис. 2.57.

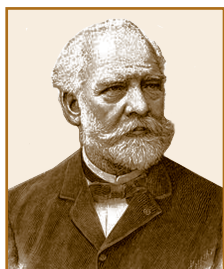
2.3.4.

Влияние ароматических углеводородов и их производных на окружающую среду и качество жизни

Урбанизация населенных пунктов, развитие химической промышленности и транспорта, широкое использование химических веществ и полимеров, все это породило новую экономическую и социальную ситуацию, которая отрицательно сказалась на окружающей среде, способности саморегулирования в природе, а также на качестве жизни и здоровье человека.

Загрязнение стало реальной проблемой всего человечества. В этом контексте интересно выяснить влияние ароматических углеводородов (аренов) и их производных на окружающую среду и качество жизни.

В 1945 году А. Гофман выделил бензол из каменноугольной смолы, образующейся в процессе коксования угля (нагревание каменного угля до 900–1000° без доступа воздуха). В этой смоле содержится 20–50% аренов. Однако выделение их в чистом виде затруднено, из-за очень близких температур кипения отдельных компонентов. Некоторые арены могут быть извлечены из этой сложной смеси с помощью селективных растворителей.



Чарльз Фридель
(1832–1899)

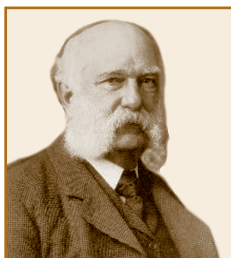
В 1877 году французский химик Чарльз Фридель, профессор Сорбонны, совместно с американским ученым Крафтсом открыл новый метод синтеза алкилбензолов, используя катализатор — AlCl_3 .

В 1867 году Ч. Фридель (профессор, Сорбонна, Париж) и Дж. Крафтс (профессор, Бостон) предложили метод получения толуола (реакция Фриделя-Крафтса):



Эта реакция широко применяется как в лаборатории, так и в промышленности.

Как бензол, так и толуол являются токсичными веществами. Однако толуол менее токсичен, чем бензол, так как в организме человека под действием энзимов печени боковая цепь (метильная группа) толуола легко окисляется и превращается в бензойную кислоту, которая затем легко выделяется с мочой.



Джеймс Мэсон Крафтс
(1839–1917)

Бензол и другие арены, в молекулах которых нет боковых цепей, не окисляются подобно толуолу, а наоборот, под действием энзимов печени могут вызывать мутации в структуре ДНК. Этим, возможно, объясняется тот факт, что бензол и другие ароматические углеводороды (нафталин и антрацен), у которых нет боковых цепей, являются канцерогенными веществами.

Гомологи бензола и их производные используются в качестве растворителей, в производстве красителей, медикаментов, взрывчатых и душистых веществ, инсектицидов и др. (рис. 2.58).

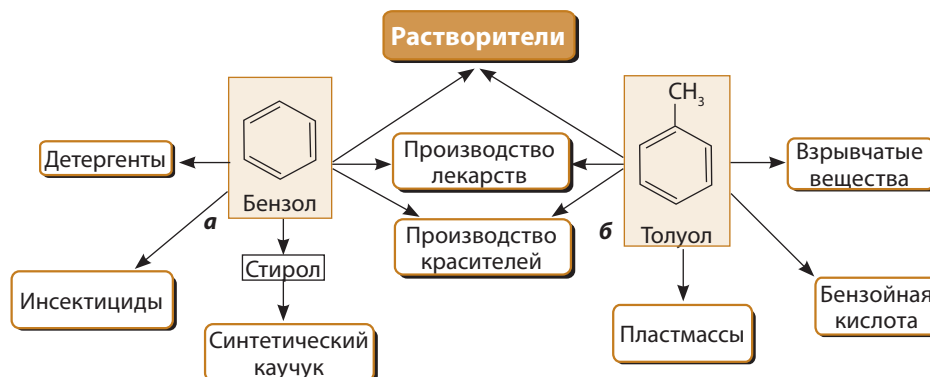


Рис. 2.58. Практическое применение некоторых аренов. а – бензол, б – толуол.

Хлорированные продукты ароматических углеводородов используются для защиты растений (гербициды, инсектициды, фунгициды и др.). Рациональное использование этих веществ позитивно влияет на развитие сельскохозяйственных культур. Однако некоторые пестициды, являющиеся хлорированными производными бензола, чрезвычайно устойчивы. Поэтому они накапливаются в почве, в растениях, но, с другой стороны, они очень эффективны по отношению ко многим вредителям, поэтому их применение оправдано. Однако, пока неизвестно, участвуют ли эти вещества в биохимическом круговороте, неясен механизм накопления их в окружающей среде и способны ли они превращаться в более вредные для человека вещества.

Из этих фактов следует, что для решения актуальных проблем земледелия необходимо тщательное изучение дисбалансов, вызванными ароматическими углеводородами, для предотвращения этих негативных явлений.

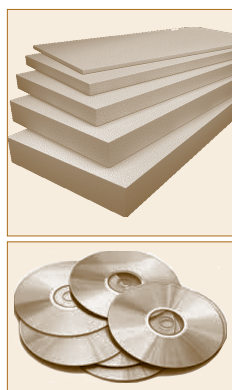


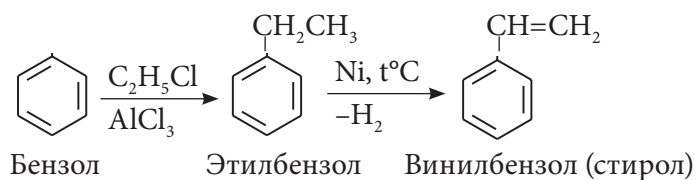
Рис. 2.59. Изделия из полистирола.

При попытке установить связь между здоровьем людей и состоянием окружающей среды, необходимо иметь в виду, что человек в равной мере опасается как инфекционных заболеваний, так и онкологических. Использование в медицине синтетических лекарственных препаратов на основе бензола и толуола избавляет человека от многих недугов, что является одной из причин увеличения средней продолжительности жизни. Известно, что на окружающую среду влияют неблагоприятные факторы: усиление солнечной радиации, хи-

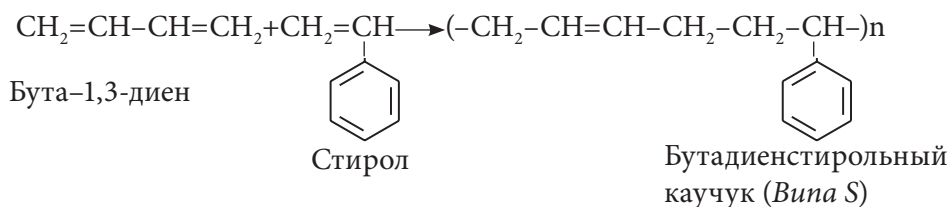
мическое заражение воды, почвы и некоторых пищевых продуктов, нерациональное использование природных ресурсов что приводит к нарушению стабильности экосистемы.

Недостаточно контролируемая активность и несоблюдение единства с природой угрожает нарушением экологического равновесия и самосуществованием человека на Земле.

Как упоминалось в теме *Пластические массы*, одним из наиболее важных производных бензола является стирол или винилбензол (стр. 84). Сырьем для получения стирола является этилбензол, который, в свою очередь, получается этилированием бензола. Схема этих превращений:



Имея в молекуле двойную связь, стирол вступает в реакции полимеризации и сополимеризации, в результате чего образуется синтетический каучук. Пример: при сополимеризации бута-1,3-диена со стиролом образуется бутадиенстирольный каучук.



Синтетические каучуки широко применяются во всех областях повседневной деятельности (стр. 92).



ЛАБОРАТОРНЫЙ ОПЫТ

Свойства изделий из полистирола и рекомендации по их применению

1. **Расставь** на столе по порядку несколько предметов из домашнего обихода, произведенных из полистирола: одноразовые стаканы, пластмассовые коробки для продовольственных товаров, кассеты, CD-диски, пластины полистирола для тепло- и звукоизоляции городских зданий.
2. **Выбери** из всех предметов, изготовленных из полистирола (по коду, представленному на стр. 85).
3. **Исследуй** их на механическую прочность, эластичность, устойчивость к слабому нагреванию, характер горения и др.
4. **Предложи** область их применения, исходя из свойств пластмассы изготовленных предметов.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

- Дай определение понятиям:
 - реакции замещения в ароматическом ядре;
 - реакция нитрования;
 - реакции присоединения к ароматическому ядру.
- Объясни, почему метилбензол считается гомологом бензола.
- Сравни химические свойства:
 - бензола и этена;
 - *бензола и толуола.
 Обоснуй свой ответ схемами соответствующих реакций.
- *Отметь буквой **И** (истинно) или **Л** (ложно) следующие утверждения:

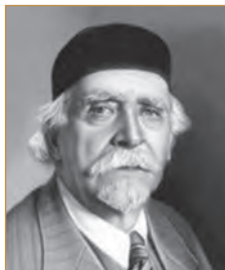
а. Химические свойства бензола определяются присутствием в его молекуле делокализованного секстета π -электронов, придающего молекуле стабильность.	И	Л
б. Толуол не обесцвечивает раствор KMnO_4 .	☐	☐
в. Гомологи бензола более реакционноспособны, чем бензол.	☐	☐
- Напиши структурные формулы ароматических углеводородов со следующими молекулярными формулами:
 - C_6H_6 ;
 - C_7H_8 ;
 - $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$;
 - *г) C_{10}H_8 .
- Заполни свободные места:
 - Бензол проявляет ненасыщенный характер, так как имеет дефицит атомов
 - *Дегидрированием циклогексана получают
 - Хлорирование бензола при освещении идет как реакция, в которой получается
 - Несмотря на то, что бензол сильно ненасыщен, он легче участвует в реакциях, чем в реакциях
- Напиши схемы реакций следующих превращений:

$$\text{CH}_4 \longrightarrow 3\text{A} \longrightarrow \text{B} \longrightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{Br}$$
 Назови вещества А и Б и укажи условия всех реакций.
- Реши задачи:
 - При нитровании бензола получено 157,5 г нитробензола. Вычисли массу бензола, вступившего в реакцию.
(О.: 99,84 г)
 - Углеводород содержит 92,31% углерода и 7,69% водорода. Плотность его паров по воздуху равна 2,69. Установи молекулярную формулу углеводорода.
(О.: C_6H_6)

Творческая задача Как можно продемонстрировать, что при тримеризации ацетилена образуется бензол, а не ненасыщенный углеводород с линейной цепью?

2.3.5.

Генетическая связь между углеводородами



Н.Д. Зелинский
(1861–1953)

Русский химик-органик, академик. Один из основателей теории органического катализа. Занимался химией нефти.

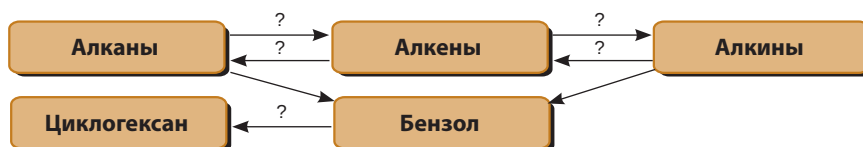
Углеводороды являются самыми простыми органическими веществами. В их состав входят только два элемента – углерод и водород. Но, несмотря на это, они образуют огромное количество соединений состава C_nH_m .

Невообразимое количество углеводородов обязано своим существованием свойству атомов углерода соединяться простыми, двойными и тройными связями, образуя цепочки разнообразного строения.

Реакции взаимного превращения углеводородов в большинстве случаев являются каталитическими. Особый вклад в изучение таких реакций внесли русский химик Н.Д. Зелинский (родом из Молдовы) и его ученики.

Ты уже знаешь, что для алканов характерны в основном реакции замещения, а для алкенов, алкадиенов и алкинов – реакции присоединения.

Схема 2.9. Генетическая связь между алканами, алкенами, алкинами и бензолом



Задание 2.25. Перепиши схему в тетрадь и заполни клетки соответствующими общими формулами, затем примерами конкретных формул. Над стрелками между клетками укажи реагенты и условия, при которых происходят превращения. Напиши уравнения соответствующих реакций.

Упражнения и задачи на основе схемы 2.9.

1. Напиши уравнения реакций, при которых могут осуществиться следующие превращения:

- метан → этин → этан → $CO_2 + H_2O$;
- CaC_2 → этин → бензол → циклогексан;
- $CaCO_3$ → CaO → CaC_2 → C_2H_2 → C_6H_6 → $CO_2 + H_2O$.

2. Какое количество вещества (в молях) или массы (г) каждого продукта можно получить в результате следующих превращений: метан → этин → бензол → нитробензол, если первоначальный объем метана равен 67,2 л (н.у.)?

Работа в группе

Приведите по одному примеру углеводородов каждого типа. Напишите уравнения реакций горения и заполните таблицу:

Характеристики	Углеводороды				
	Алканы	Алкены	Алкадиены	Алкины	Арены
Примеры					
Уравнение реакции горения					
Соотношение продуктов горения					

2.3.6.

Расчетные задачи на основе реакции получения бензола и реакции характеризующие его

I. Расчеты по уравнению реакции получения бензола.

Задача 1

При тримеризации ацетилена получено 80 г бензола. Вычислите массу использованного ацетилена.

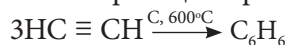
Дано:

$$m(\text{C}_6\text{H}_6) = 80 \text{ г}$$

$$m(\text{C}_2\text{H}_2) - ?$$

Решение:

1. Запишем уравнение реакции тримеризации ацетилена:



2. Вычислим количество вещества бензола:

$$M(\text{C}_6\text{H}_6) = 78 \text{ г/моль}; \quad \nu(\text{C}_6\text{H}_6) = \frac{m(\text{C}_6\text{H}_6)}{M(\text{C}_6\text{H}_6)}; \quad \nu(\text{C}_6\text{H}_6) = \frac{80 \text{ г}}{78 \text{ г/моль}} = 1,02 \text{ моль}$$

3. Вычисляем количество вещества ацетилена из уравнения реакции, используя пропорцию:

$$\begin{array}{ccc} 3 \text{ моль } \text{C}_2\text{H}_2 & \text{-----} & 1 \text{ моль } \text{C}_6\text{H}_6 \\ x \text{ моль} & \text{-----} & 1,02 \text{ моль } \text{C}_6\text{H}_6 \end{array} \quad x = 3,06 \text{ моль}$$

4. Определяем массу ацетилена, используя соотношение:

$$\nu = \frac{m}{M}; \quad m = \nu \cdot M; \quad m(\text{C}_2\text{H}_2) = 3,06 \text{ моль} \cdot 26 \text{ г/моль} = 79,56 \text{ г}$$

Ответ: $m(\text{C}_2\text{H}_2) = 79,56 \text{ г}$.

II. Расчеты по уравнениям реакций характерных для бензола.

Задача 2

Какой объем бензола (плотность 0,88 г/мл) необходим для получения 82 мл нитробензола (плотность 1,2 г/мл)?

Дано:

$$V(\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2) = 82 \text{ мл}$$

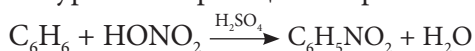
$$\rho(\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2) = 1,2 \text{ г/мл}$$

$$\rho(\text{C}_6\text{H}_6) = 0,88 \text{ г/мл}$$

$$V(\text{C}_6\text{H}_6) - ?$$

Решение:

1. Запишем уравнение реакции нитрования бензола:



2. Вычисляем массу нитробензола, применив уравнение:

$$m = V \cdot \rho; \quad m(\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2) = 82 \text{ мл} \cdot 1,2 \text{ г/мл} = 98,4 \text{ г}$$

3. Вычисляем массу нитробензола, применив уравнение:

$$M(\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2) = 123 \text{ г/моль}; \quad \nu = \frac{m}{M}; \quad \nu(\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2) = \frac{98,4 \text{ г}}{123 \text{ г/моль}} = 0,8 \text{ моль}$$

4. Находим количество вещества бензола из уравнения реакции нитрования:

$$\nu(\text{C}_6\text{H}_6) = \nu(\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2) = 0,8 \text{ моль}$$

5. Вычисляем массу и объем бензола, применив соотношение:

$$\nu(\text{C}_6\text{H}_6) = \frac{m(\text{C}_6\text{H}_6)}{M(\text{C}_6\text{H}_6)}; \quad m = \nu \cdot M; \quad m(\text{C}_6\text{H}_6) = 78 \text{ г/моль} \cdot 0,8 \text{ mol} = 62,4 \text{ г};$$

$$M(\text{C}_6\text{H}_6) = 78 \text{ г/моль}; \quad V = m/\rho; \quad V(\text{C}_6\text{H}_6) = \frac{62,4 \text{ г}}{0,88 \text{ г/мл}} = 70,9 \text{ мл}$$

Ответ: объем бензола 70,9 мл.

Задача 3

Какой объем кислорода (н.у.) расходуется при полном сгорании 80 г бензола, если он содержит 10% негорючих примесей.

Дано:

$$m(\text{C}_6\text{H}_6 \text{ прим.}) = 80 \text{ г}$$

$$\omega(\text{прим.}) = 10\%$$

$$V(\text{O}_2) - ?$$

$$\omega(\text{C}_6\text{H}_6) = \frac{m(\text{C}_6\text{H}_6)}{m(\text{C}_6\text{H}_6 \text{ прим.})} \cdot 100\%; \quad m(\text{C}_6\text{H}_6) = \frac{\omega(\text{C}_6\text{H}_6) \cdot m(\text{C}_6\text{H}_6 \text{ прим.})}{100\%} = \frac{90\% \cdot 80 \text{ г}}{100\%} = 72 \text{ г}$$

Решение:

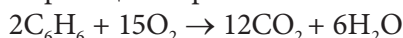
1. Масса чистого бензола составляет 90%.

2. Определяем массу чистого бензола из соотношения:

3. Находим количество вещества бензола:

$$M(\text{C}_6\text{H}_6) = 78 \text{ г/моль}; \quad \nu = \frac{m}{M}; \quad \nu = \frac{72 \text{ г}}{78 \text{ г/моль}} = 0,92 \text{ моль}$$

4. Записываем уравнение реакции горения бензола:



5. Находим количество вещества кислорода, исходя из пропорции:

$$\begin{array}{ccc} 2 \text{ моль } \text{C}_6\text{H}_6 & \text{-----} & 15 \text{ моль } \text{O}_2 \\ 0,92 \text{ моль } \text{C}_6\text{H}_6 & \text{-----} & x \text{ моль } \text{O}_2 \end{array} \quad x = 6,90 \text{ моль}$$

6. Вычисляем объем кислорода, исходя из соотношения:

$$\nu(\text{O}_2) = \frac{V(\text{O}_2)}{V_m}; \quad V(\text{O}_2) = \nu(\text{O}_2) \cdot V_m = 6,90 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 154,6 \text{ л}$$

Отв е т : объем кислорода равен 154,6 л.

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1.* 1*. Какая масса карбида кальция, содержащего 20% примесей, необходима для получения ацетилена, а затем 2-х литров бензола, плотностью 0,88 г/см³?

(О.: 5,2 кг)

2. При нитровании бензола получено 157,6 г нитробензола. Вычислить массу необходимого бензола.

(О.: 99,84 г)

3. Какая масса монобромбензола образуется при бромировании 15,6 г бензола, если реакция протекает количественно?

(О.: 31,4 г $\text{C}_6\text{H}_5\text{Br}$)

4.* Какой объем кислорода (н.у.) расходуется для полного сгорания 2,5 г толуола (метилбензола), содержащего 4% негорючих примесей?

(О.: 5,26 л)

5. Вычислите объем и массу оксида углерода (IV) (н.у.), которые образуются при сгорании 10 молей бензола.

(О.: 1344 л; 2,64 кг)

6. При сгорании 3,9 г органического вещества образовались 3,2 г CO_2 и 2,7 г H_2O . Плотность его паров по водороду равна 39. Определить формулу исходного вещества, если известно, что оно не обесцвечивает бромную воду.

(О.: C_6H_6)

ПОВТОРИ И ЗАКРЕПИ СВОИ ЗНАНИЯ: АРОМАТИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ

♦ **Ароматические углеводороды** (арены) – это такие вещества, которые содержат в молекуле одно или более бензольных колец (ядер). Общая формула аренов с одним кольцом C_nH_{2n-6} . Первый их представитель – бензол C_6H_6 .

♦ ***Алкилбензолы** или гомологи бензола образуются при замещении одного или нескольких атомов водорода в бензоле на алкильные группы: метилбензол (толуол), этилбензол, пропилбензол и др.

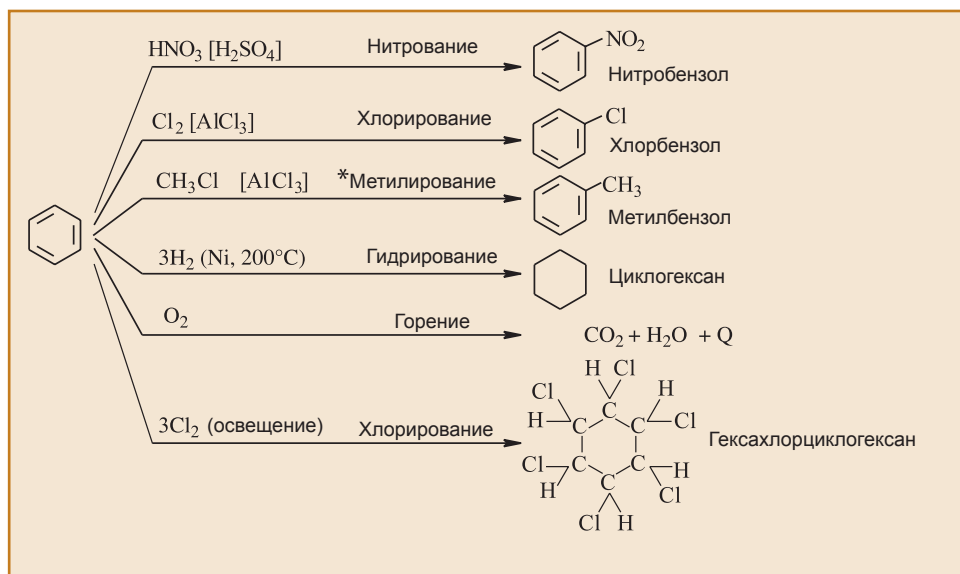
♦ ***Структура бензола** представляет цикл из шести атомов углерода, связанных между собой чередующимися простыми и двойными связями. Несмотря на то, что в молекуле бензола есть двойные связи, в химических реакциях он ведет себя как насыщенный углеводород. Шесть *p*-негибридизированных орбиталей образуют единую π -электронную систему (ароматический секстет), которая определяет химические свойства бензола. Все С-С связи в его молекуле имеют одинаковую длину (0,139 нм). Бензол легче вступает в реакции замещения, а не присоединения.

♦ **Изомерия аренов** определяется числом и положением радикалов в кольце и изомерией боковой цепи. Если в бензольном кольце замещены два атома водорода, то появляются 3 изомера положения (1,2; 1,3; 1,4).

♦ ***Номенклатура** гомологов бензола формируется из названия алкильных заместителей и слова бензол (*метилбензол, этилбензол*).

♦ ***Гомологи бензола** более реакционноспособны по сравнению с бензолом, и это обусловлено влиянием алкильной группы в бензольном кольце. Боковые цепи гомологов бензола легко окисляются до карбоновых кислот.

♦ **Химические свойства** показаны на схеме ниже:

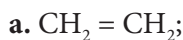


♦ **Применение.** Бензол применяется в химической промышленности как сырье для получения большого числа промежуточных продуктов в синтезе красителей, пластмасс, лекарств, пестицидов и т.д.

ЗАВЕРШАЮЩАЯ ОЦЕНКА ЗНАНИЙ

Гуманитарный профиль

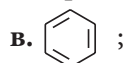
1. Назови общую формулу для гомологического ряда алкенов.
2. Напиши структурные формулы трех гомологов этина и назови их.
3. Сравни состав, строение и свойства углеводородов: а и б, в и г:



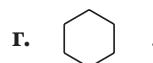
Этен



Этин

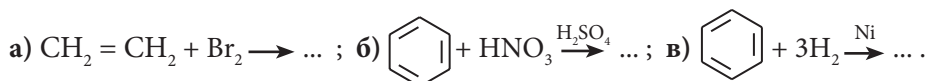


Бензол



Циклогексан

4. Закончи схемы реакций и назови продукты реакций:



5. Напиши уравнения реакций следующих превращений:



6. Заполни свободные места в следующих утверждениях:

а. Хотя бензол является углеводородом, он легче участвует в реакциях , чем в реакциях

б. Бензол является углеводородом

в. Бензол получается при этина.

г. Метилбензол $\text{C}_6\text{H}_5\text{--CH}_3$ является бензола, так как отличается от него группой атомов , называемой

7. Отметь каждое утверждение буквой **И** (если оно истинно) или **Л** (если оно ложно):

а. Первая циклическая структурная формула бензола была предложена Кекуле в 1865 году.

И**Л**☐☐б.* В молекуле бензола шесть σ -связей С–С образуют правильный шестиугольник.☐☐

в. Отношение чисел атомов С и Н в молекуле бензола равно 1:1.

☐☐

г. Бензол и гексан являются насыщенными углеводородами.

☐☐

8. Отметь, какие визуальные эффекты наблюдаются при обработке бромной водой следующих углеводородов:

а) пропан; б) этен; в) этин; г) бензол; д) бутadiен.

9. Реши задачу:

♦ Вычисли сколько молей кислорода необходимо для полного сгорания 2 молей бензола.

(О.: 15 моль)

2.3.7*.

ЗАВЕРШАЮЩАЯ ОЦЕНКА ЗНАНИЙ

1. Объясни:

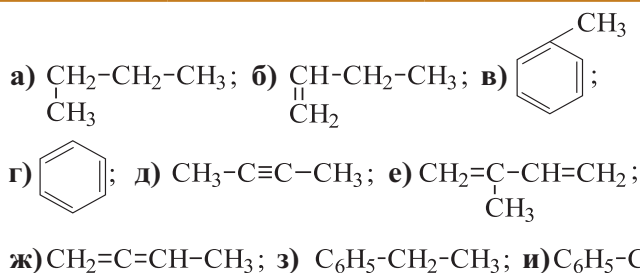
Реальный профиль

а) Чем отличаются понятия «перегонка» и «крекинг нефти».

б) Какой из углеводородов: C_3H_8 ; C_4H_6 ; C_6H_6 ; C_6H_{12} будет вступать в реакции отщепления (дегидрирования), хлорирования, гидрирования? Напиши схемы реакций и назови их продукты.

2. Заполни таблицу следующим образом: каждую из нижеприведенных формул помести в соответствующую колонку таблицы и напиши название каждого соединения:

C_nH_{2n+2}	C_nH_{2n}	C_nH_{2n-2}	C_nH_{2n-6}



3. Укажи, для каких углеводородов характерны реакции, перечисленные в данной таблице (отметь знаками «+» и «-»)?

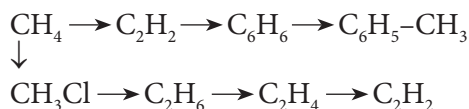
Реакция	Насыщенные		Ненасыщенные			Ароматические
	Алканы	Циклоалканы	Алкены	Алкадиены	Алкины	
Замещения						
Присоединения						
Отщепления						
Горения						
Полимеризации						
Крекинга						

4. Укажи, как можно получить:

а) бензол из карбида кальция;

б) нитробензол из метана.

5. Напиши схемы и укажи условия следующих превращений:



6. Напиши структурные формулы следующих соединений:

а) 1,4-диэтилбензол;

б) изопропилбензол;

в) 1-метил-2-этилбензол;

г) 1,4-дихлорбензол.

7. Реши задачи:

А. Какой алкен содержит 85,71% С и имеет плотность по воздуху 1,94? (О.: C_4H_8)

Б. Из ацетилена объемом 3,36 л (н. у.) получили бензол, который затем бромировали. Определи массу полученного бромбензола. (О.: 7,85 г)



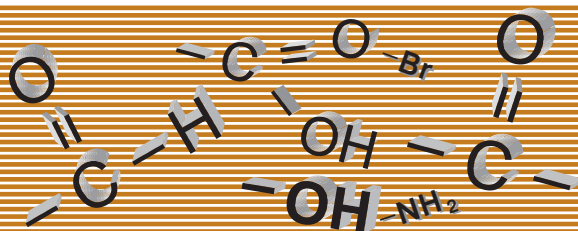
КИСЛОРОДСОДЕРЖАЩИЕ ПРОИЗВОДНЫЕ УГЛЕВОДОРОДОВ

Раздел

3



М. Бертло



М. Кучеров

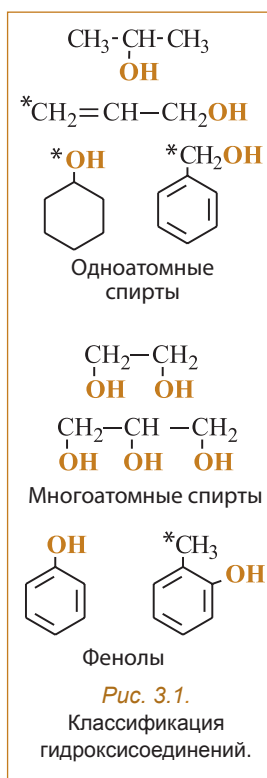
Замещением одного или нескольких атомов водорода в молекуле углеводорода атомом или группой атомов других элементов (называемых функциональными группами), получают производные углеводородов, образующие классы органических соединений. Функциональные группы определяют главные химические свойства молекул и принадлежность соединения к определённому классу.

Название класса соединений	Характеристики	Общая формула
Спирты (моно- и поли-)	Производные углеводородов, молекулы которых содержат одну или несколько гидроксигрупп ($-\text{OH}$).	$\text{R}-\text{OH}$
Фенолы	Производные бензола, молекулы которых содержат гидроксигруппу, связанную с ароматическим ядром.	$\text{Ar}-\text{OH}$
Альдегиды	Кислородные производные углеводородов, молекулы которых содержат альдегидную группу ($-\text{CHO}$).	$\text{R}-\text{C}\begin{smallmatrix} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H} \end{smallmatrix}$; $\text{Ar}-\text{C}\begin{smallmatrix} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H} \end{smallmatrix}$
*Кетоны	Производные углеводородов, молекулы которых содержат карбонильную группу ($>\text{C}=\text{O}$), связанную с двумя радикалами R или Ar.	$\text{R}-\text{C}\begin{smallmatrix} \text{O} \\ \parallel \end{smallmatrix}$; $\text{Ar}-\text{C}\begin{smallmatrix} \text{O} \\ \parallel \end{smallmatrix}$; $\text{Ar}-\text{C}\begin{smallmatrix} \text{O} \\ \parallel \end{smallmatrix}-\text{Ar}$
*Карбоновые кислоты	Производные углеводородов, молекулы которых содержат по крайней мере одну карбоксильную группу ($-\text{COOH}$).	$\text{R}-\text{C}\begin{smallmatrix} \text{O} \\ \parallel \\ \text{OH} \end{smallmatrix}$; $\text{Ar}-\text{C}\begin{smallmatrix} \text{O} \\ \parallel \\ \text{OH} \end{smallmatrix}$
*Сложные эфиры	Производные углеводородов, молекулы которых содержат сложноэфирную группу ($-\text{COO}-$), связанную с двумя радикалами R или Ar.	$\text{R}-\text{C}\begin{smallmatrix} \text{O} \\ \parallel \\ \text{O}-\text{R} \end{smallmatrix}$; $\text{Ar}-\text{C}\begin{smallmatrix} \text{O} \\ \parallel \\ \text{O}-\text{R} \end{smallmatrix}$

Субкомпетенции:

Изучив данный раздел, ты сможешь:

- классифицировать и называть кислородсодержащие производные углеводородов;
- осмысливать поведение органического вещества в зависимости от его функциональной группы и объяснять связь между: состав-строение-изомерия-номенклатура-свойства-получение-применение кислородсодержащих производных углеводородов;
- применять алгоритм для решения некоторых типов расчетных задач на основании свойств, получении и применении кислородсодержащих производных углеводородов;
- объяснять области применения кислородсодержащих производных углеводородов;
- находить генетическую связь между углеводородами, спиртами, *альдегидами, *карбоновыми кислотами и *сложными эфирами.



3.1.

Гидроксисоединения

Атомы или группы неуглеродных атомов, которые проявляют физические и химические свойства, характеризующие определенный класс органических соединений, называются функциональными группами.

Определение. Классификация гидроксисоединений

Гидроксисоединения – это органические соединения, получающиеся из углеводов замещением одного или нескольких атомов водорода на группу $-\text{OH}$ (гидроксигруппу).

В зависимости от числа гидроксигрупп в молекуле спирты подразделяются на:

- одноатомные спирты;
- многоатомные спирты (диолы, триолы и др.).

Общая формула моногидроксисоединений $\text{R}-\text{OH}$ (R – органический радикал).

Спирты – это соединения, в которых группа $-\text{OH}$ связана с насыщенным атомом углерода в состоянии sp^3 -гибридизации. Если группа $-\text{OH}$ связана с атомом углерода бензольного цикла, то соединение относится к классу фенолов (рис. 3.1).



3.1.1.

Одноатомные насыщенные спирты

Определение. Гомология. *Классификация

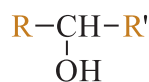
Насыщенные одноатомные спирты – это ациклические соединения, содержащие в молекуле гидроксигруппу ($-\text{OH}$), их общая формула $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{OH}$ или $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}\text{O}$.

Для спиртов также характерно явление гомологии.

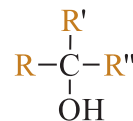
*В зависимости от типа атома углерода, с которым связана гидроксигруппа, спирты классифицируют на: *первичные, вторичные и третичные*:



Первичный спирт



Вторичный спирт



Третичный спирт

Номенклатура. Изомерия

Систематическое название спирта образуется из названия алкана с тем же числом атомов углерода прибавлением окончаний: *-ол* (для одноатомных спиртов), *-диол* (для двухатомных), *-триол* (для трёхатомных спиртов). Перед окончаниями через дефис цифрами отмечаются места гидроксигрупп в главной цепи.

Радикально-функциональное название спирта образуется из названия углеводородного радикала добавлением окончания *-овый* и слова **спирт** (таблица 3.1).

Таблица 3.1. Номенклатура и изомерия спиртов

Молекулярная формула	Структурная формула	Тип изомерии	Номенклатура	
			Систематическое название	Функциональное название
CH_4O	$\text{CH}_3\text{-OH}$	–	Метанол	Метиловый спирт
$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$	–	Этанол	Этиловый спирт
$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$	$\left. \begin{array}{l} \text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH} \\ \text{CH}_3\text{-CH(OH)-CH}_3 \end{array} \right\}$	а) положения группы -OH ;	Пропан-1-ол Пропан-2-ол	Пропиловый спирт Изопропиловый спирт
$\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$	$\left. \begin{array}{l} \text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH} \\ \text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH(OH)-CH}_3 \\ \text{CH}_3\text{-CH(CH}_3\text{)-CH}_2\text{-OH} \\ \text{CH}_3\text{-C(CH}_3\text{)}_2\text{-OH} \end{array} \right\}$	а) положения группы -OH ; б) углеродной цепи.	Бутан-1-ол Бутан-2-ол 2-Метил-пропан-1-ол 2-Метил-пропан-2-ол	Бутиловый спирт <i>втор</i> - Бутиловый спирт Изобутиловый спирт <i>трет</i> - Бутиловый спирт

Алгоритм составления структурных формул изомеров насыщенных одноатомных спиртов.

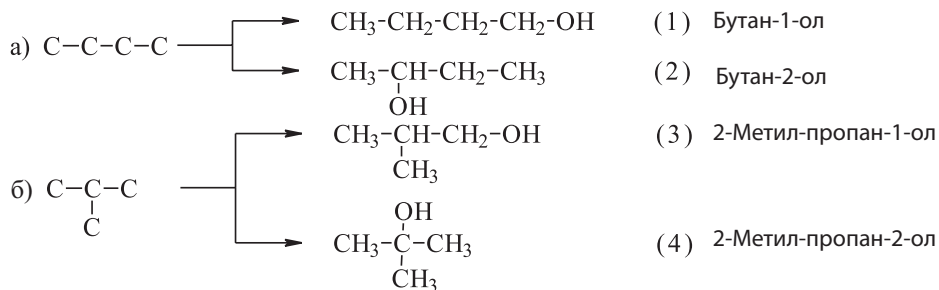
Пример: Составьте структурные формулы спиртов, имеющих состав $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$.

Решение: Вещество содержит 4 атома углерода и функциональную группу OH .

- 1 Напишем углеродные скелеты (линейный и разветвлённый) веществ с 4 атомами углерода:



- 2 В каждом углеродном скелете гидроксигруппа может находиться в разных местах:



Таким образом, существует **4 одноатомных спирта** $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$ или $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$.

Расширение

Спирты являются функциональными изомерами (вещества с одной и той же молекулярной формулой, но с различными функциональными группами) с простыми эфирами (общая формула $R-O-R'$, где R и R' – радикалы).

3* Составим формулы изомеров простых эфиров состава $C_4H_{10}O$:

$CH_3-CH_2-CH_2-O-CH_3$	(5)	Метилпропиловый эфир
$CH_3-\underset{\substack{ \\ CH_3}}{CH}-O-CH_3$	(6)	Изопропилметилловый эфир
$CH_3-CH_2-O-CH_2-CH_3$	(7)	Диэтиловый эфир

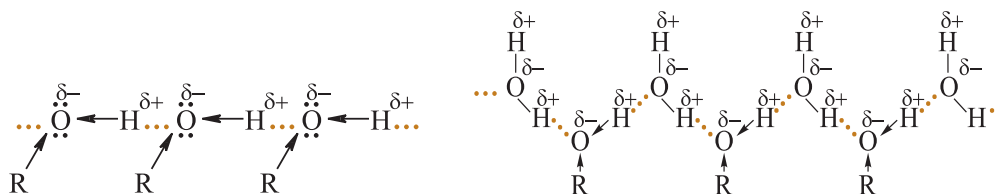
Существует 4 одноатомных спирта и **3 простых эфира** состава $C_4H_{10}O$.

Физические свойства спиртов

Как видно из таблицы 3.2, в обычных условиях ни один спирт не является газообразным. Одноатомные насыщенные спирты от C_1 до C_{12} являются жидкостями, остальные – твердые вещества.

Низшие спирты, по сравнению с углеводородами или простыми эфирами той же молекулярной массы, имеют аномально высокие температуры кипения. *Особенности физических свойств спиртов обусловлены возможностью образования их молекулами ассоциатов. Так, между электроположительным (δ^+) атомом водорода гидроксигруппы и электроотрицательным атомом кислорода (δ^-) другой молекулы действуют силы электростатического притяжения. В жидком и твердом состоянии спирты образуют молекулярные ассоциаты, соединенные водородными связями (обозначены пунктиром). Водородные связи сильнее связей Ван дер Ваальса и слабее ковалентных.

В ассоциаты могут входить и молекулы воды, этим объясняется растворимость в воде спиртов с низкой молекулярной массой:



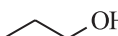
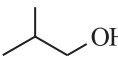
Именно водородные связи являются причиной высоких температур кипения спиртов. Например: этанол C_2H_5OH кипит при $+78^\circ C$, а его изомер, не содержащий гидроксигруппы – диметилловый эфир (CH_3OCH_3), кипит при $-24^\circ C$.

Водородные связи не влияют на химические свойства веществ, они влияют только на некоторые их физические свойства.

Из-за водородных связей спирты менее летучи, чем алканы, и лучше растворяются в воде (таблица 3.2). При кипении спиртов все водородные связи разрываются.

Растворимость в воде уменьшается с удлинением углеродной цепи молекулы спирта. Высшие одноатомные спирты нерастворимы в воде. Растворимость спиртов увеличивается при увеличении числа гидроксигрупп.

Таблица 3.2. Физические свойства некоторых одноатомных спиртов

Структурная формула	*Геометрия молекулы	Температура, °C		Плотность d, г/см ³	S ¹ , г/100 г H ₂ O (20°C)
		плавления	кипения		
CH ₃ OH	—OH	- 97	64,7	0,792	∞
CH ₃ -CH ₂ OH		- 115,0	78,3	0,789	∞
CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ OH		- 127	97,2	0,804	∞
CH ₃ -CH(OH)-CH ₃		- 86	82,4	0,786	∞
CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ OH		- 90	117,5	0,810	7,9
CH ₃ -CH ₂ -CH(OH)-CH ₃		- 11,4	99,5	0,806	12,5
CH ₃ -CH(CH ₃)-CH ₂ OH		- 108	108	0,802	10,0
CH ₃ -C(CH ₃)(OH)-CH ₃		25,5	83	0,789	∞

S¹ - растворимость

Творческое задание Сравни температуры кипения изомерных спиртов состава C₄H₁₀O, приведенных в таблице 3.2, и сделай выводы. Построй график в следующих координатах: на оси X – название спирта, на оси Y – температура кипения. Обоснуй форму графика прочностью водородных связей между молекулами.

Этиловый спирт не может быть полностью отделен от воды перегонкой. Безводный этанол называется «абсолютным спиртом», его получают кипячением этанола с веществами, реагирующими с водой, например, с CaO (негашеной известью) или безводным CuSO₄ с последующей перегонкой.

Связь между структурой, свойствами и применением спиртов

Спирты обладают богатым набором химических свойств. Они находят очень разнообразное применение. Этанол в смеси с жидким воздухом применяется как топливо для реактивных самолётов. В хирургии спиртом стерилизуют хирургические инструменты, а также руки хирургов перед операциями. Для того, чтобы избежать принятия внутрь технического спирта, его денатурируют – добавляют к нему дурно пахнущие и красящие вещества. Метанол, отличающийся от этанола лишь одной группой –CH₂–, очень токсичен. В организме под действием ферментов он окисляется до формальдегида и далее до муравьиной кислоты – очень ядовитых веществ, действующих на зрительные клетки, вызывая слепоту и даже смерть. В промышленности он широко применяется для получения формальдегида – исходного вещества для производства фенолформальдегидных пластмасс.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

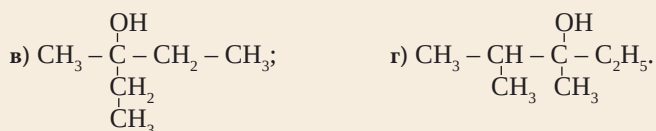
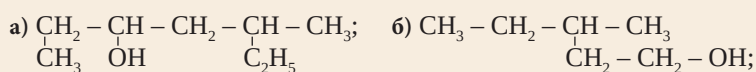
1. Дай определение понятиям:

- а) гидроксисоединения, их общая формула, функциональная группа;
- б) насыщенные одноатомные спирты, их общая формула;
- в) двухатомные и многоатомные спирты.

2. Объясни:

- а) классификацию гидроксисоединений R-OH по природе радикала R (спирты и фенолы);
- б) гомологический ряд насыщенных одноатомных спиртов;
- в) *классификацию одноатомных спиртов (первичные, вторичные, третичные);
- г) номенклатуру насыщенных одноатомных спиртов;
- д) типы изомерии: углеродной цепи, положения гидроксигруппы (OH), *функциональную.

3. Назови следующие спирты:



4. Напиши структурные формулы следующих спиртов:

- а) пропан-1-ол; б) 2-метилпентан-1-ол;
- в) *3-этил-гексан-3-ол; г) 2,2-диметилпентан-3-ол.

Укажи первичные, вторичные и третичные спирты.

5. Напиши уравнения реакций следующих превращений:

- а) метан → метанол; б) этан → этанол; в) *пропан → пропан-2-ол.

6. Ответь И (истинно) или Л (ложно) в следующих утверждениях:

А. *Связь C-O в молекуле CH₃OH разрывается легче, чем связь C-H в CH₄.

И

Л

☐☐

Б. Этиловый спирт является жидкостью и хорошо растворяется в воде потому, что образует с ней водородные связи.

☐☐

В. Спирты имеют высокие температуры кипения потому, что образуют межмолекулярные водородные связи.

☐☐

Г. *Водородные связи влияют на химические свойства веществ.

☐☐

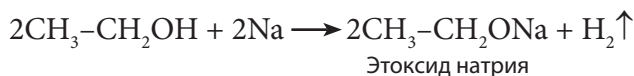
7.* Реши задачу:

В результате элементного анализа 0,96 г органического вещества получено 672 мл CO₂ и 1,08 г H₂O. Молярная масса вещества равна 32 г/моль. Определи молекулярную и напиши структурную формулы для анализируемого вещества.
(О.: CH₃OH)

Химические свойства спиртов

Химические свойства спиртов обусловлены наличием в их молекулах группы ОН.

1. Реакция спиртов с активными металлами (K, Na) говорит о слабых кислотных свойствах спиртов. Продукты реакции – солеобразные соединения, называемые алкоголятами или алкоксидами (метоксид $\text{CH}_3\text{O}-$, этоксид $\text{C}_2\text{H}_5\text{O}-$), и газообразный водород:



Эту реакцию можно применять для обнаружения спиртов в смесях органических соединений (при отсутствии карбоновых кислот и воды).

2. Спирты реагируют с концентрированными растворами кислот (HX), при этом группа OH замещается на X (галоген):

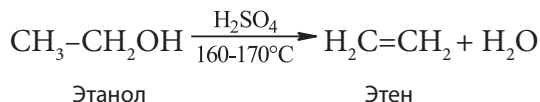

$$X = \text{Cl, Br, I}$$

Третичные спирты реагируют легче чем первичные.

2. Дегидратация (отщепление воды) происходит при нагревании с H_2SO_4 и, в зависимости от условий, может идти по двум направлениям:

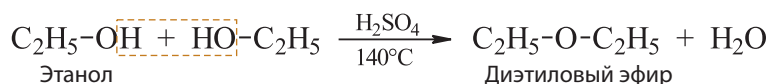
- а) внутримолекулярной дегидратации с образованием алкенов;
б) межмолекулярной дегидратации с образованием простых эфиров.

Дегидратация этанола в избытке серной кислоты при 160–170°C дает преимущественно этен:



Расширение

*При 140°C в избытке спирта происходит межмолекулярная дегидратация и образуется диэтиловый эфир:



Простые эфиры представляют собой летучие жидкости с характерным запахом, легко воспламеняются.

3. Окисление спиртов, в зависимости от условий, протекает по разному.

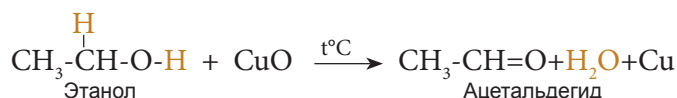
*Спирты могут быть окислены до альдегидов или кетонов, до карбоновых кислот и даже до углекислого газа и воды (горение):



Первичные спирты окисляются легче вторичных, последние – легче третичных.

а)* *частичное окисление.*

Мягкое окисление первичных спиртов может быть проведено действием оксида меди, образующегося при нагревании медной спирали в пламени горелки. При таком окислении получают альдегиды:



*Мягкое окисление первичных спиртов до альдегидов и далее до карбоновых кислот с тем же числом атомов углерода можно провести смесью $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ и H_2SO_4 (хромовой смесью). Реакция в действительности происходит в два этапа: на первом этапе образуется альдегид, который далее легко превращается в кислоту:

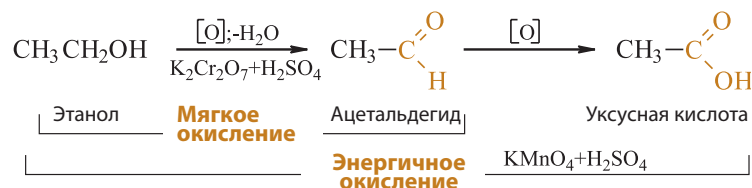
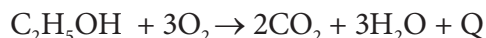


Рис. 3.2. Проверка на алкоголь в выдыхаемом воздухе.

Хромовая смесь до окисления имеет оранжевый цвет. После окисления раствор приобретает зеленый цвет (цвет ионов Cr^{3+}). Эта реакция применяется для определения алкоголя (алкотест) в воздухе, выдыхаемом водителями автомашин (рис.3.2).

б) *полное окисление* (горение).

Спирты горят голубоватым пламенем с выделением тепла:

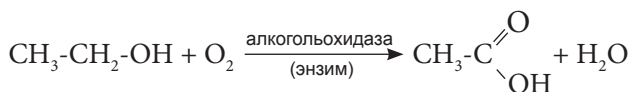


В некоторых странах низшие спирты применяют в качестве горючего для автомобилей.

Этиловый спирт под действием некоторых ферментов или бактерий может окисляться кислородом воздуха. Вино при стоянии на воздухе превращается в уксус (рис. 3.3):



Рис. 3.3. Вина содержат 10–12% спирта.



ЛАБОРАТОРНЫЙ ОПЫТ

*Окисление первичных спиртов

а) оксидом меди (II)

1. **Нагрей** медную спираль в пламени горелки, пока она не покроется черным налетом оксида меди (CuO).
2. **Введи** нагретую спираль в пробирку, содержащую 2-3 мл этанола (рис 3.4).
3. **Наблюдай** исчезновение черной окраски оксида меди и появление красноватой окраски металлической меди (Cu).

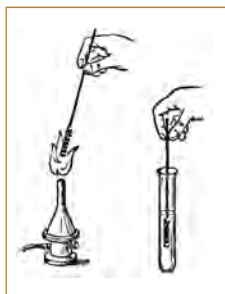


Рис. 3.4. Окисление первичных спиртов.

б) хромовой смесью ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ и H_2SO_4)

1. **Налей** в пробирку 1 мл 10% раствора $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, затем 0,5 мл концентрированной H_2SO_4 .
2. **Добавь** к полученной смеси оранжевого цвета несколько капель этанола.
3. **Перемешай** содержимое пробирки и убедись в переходе оранжевой окраски в зеленую (цвет ионов Cr^{3+}) и появлении запаха ацетальдегида (незрелых яблок).

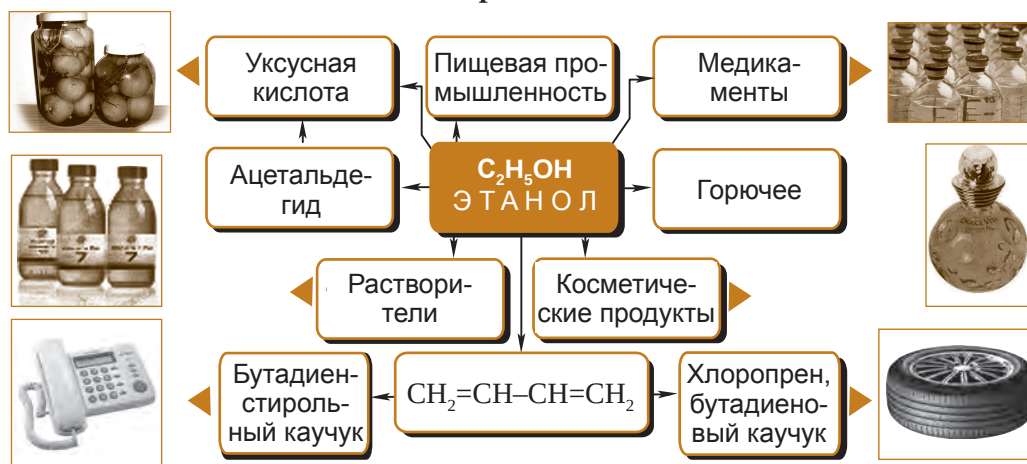
Наиболее важные спирты и их применение

Метанол является хорошим растворителем для смол, жиров и некоторых красителей.

Этанол используется в химической промышленности, в фармацевтике, для получения диэтилового эфира и сложных эфиров, для консервации анатомических препаратов, в парфюмерии.

Большие количества этанола расходуются для получения бутадиена (схема 3.1).

Схема 3.1. Применение этанола



Вредное физиологическое действие спиртов и их влияние на качество жизни и окружающую среду

Исторические документы свидетельствуют, что напитки, полученные брожением различных веществ, известны с незапамятных времен. Главным источником спиртных напитков был виноград.

Вино было известно и употреблялось людьми с древних времен. Фрески с пирамид свидетельствуют, что древние египтяне получали вино из винограда (рис. 3.5).



Рис. 3.5. Египетская фреска (получение вина из винограда).

Спирт, принятый в малых дозах, действует как стимулятор, однако чрезмерное употребление его разрушает здоровье человека. Отрицательное воздействие спиртных напитков на человеческий организм изучали многие ученые: физиологи, химики, врачи. Они выявили тесную связь между алкоголизмом и раком полости рта, гортани, пищевода, печени и легких.

Частое и обильное употребление алкоголя сильно вредит организму человека. Тяжелые нарушения функции печени, поджелудочной железы, желудка, почек — это лишь малый список последствий алкоголизма. Официально спирт не считается наркотиком, но он может привести к психической и, в некоторых случаях, физической зависимости от него. При неумеренном употреблении алкоголя ухудшается деятельность мозга. Последствиями этого являются нарушения памяти, человек теряет интеллектуальные и часто даже умственные способности.

Действие этанола на организм вызвано не только его прямым влиянием, но и веществами, в которые он превращается в организме. При метаболизме этанола в печени, он превращается в этаналь или ацетальдегид ($\text{CH}_3\text{CH}=\text{O}$). Это очень ядовитый продукт, который вызывает воспаление печени, а продолжительное употребление алкоголя приводит к циррозу или полному разрушению печени.

Алкоголь может производить:

- необратимые церебральные заболевания;
- сердечные заболевания, атеросклероз;
- атрофию почек;
- заболевания поджелудочной железы;
- воспаление нервов, дрожь в руках, нарушение произношения.

В случае отравления метанолом, этанол проявляет себя как антидот. Энзим (дегидрогеназа) организма реагирует с этанолом, а метанол остается неизменным и выделяется с мочой. Потребление алкоголя в больших количествах или продолжительное время является токсичным и вызывает зависимость:

- а) характеризуется желанием повторного употребления;
- б) расстройства психики;
- в) появление абстинентного синдрома при приеме наркотических средств.

Статистические данные показывают, что алкоголизм является третьей причиной смертности после сердечнососудистых и канцерогенных заболеваний.

Знаешь ли ты, что...

0,33 л пива (4% спирта), 0,01 л водки (38% спирта) и 0,125 л вина (11% спирта) оказывают одинаковое пагубное действие на организм человека.

**ЧРЕЗМЕРНОЕ
УПОТРЕБЛЕНИЕ
АЛКОГОЛЯ СЕРЬЕЗНО
ВРЕДИТ
ЗДОРОВЬЮ!**

Рис 3.6. Предупреждение, которое следует вписать в рекламу алкогольных напитков.



ЛАБОРАТОРНЫЙ ОПЫТ

Действие этанола на белки (молоко, яичный белок)

- Отдели** белок яйца и смешай его с дистиллированной водой (100 мл), перемешай смесь стеклянной палочкой, а потом отфильтруй полученный раствор.
 - Налей** в две пробирки по 1 мл раствору яичного белка.
 - Нагрей** на горелке содержимое одной пробирки до кипения. Наблюдай появление белых хлопьев (коагуляция белка).
 - Прибавь** к раствору белка в пробирке (2) этиловый спирт. Наблюдай такую же коагуляцию белка, однако, без нагревания. Этиловый спирт образует водородные связи с группами OH , NH_2 белка и вызывает его денатурацию (обратимая денатурация).
- Запомни:** денатурация белков под действием этилового спирта используется для дезинфекции и стерилизации. Таким образом, при действии этилового спирта гибнут патогенные микробы, которые имеют белковую природу и подвергаются денатурации.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

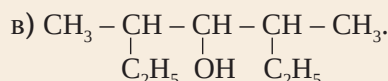
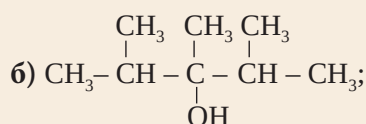
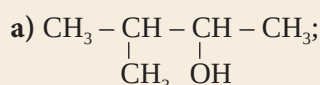
1. Дай определение понятиям:

- а) кислотность (минеральные кислоты);
- б) кислотность спиртов (R-OH);
- в) алкоголяты.

2. Объясни:

- а) как практически можно доказать, что у спиртов более слабые кислотные свойства, чем у воды?
- б) *что такое сложные эфиры и как они образуются?
- в) реакции внутри- и *межмолекулярной дегидратации на примере пропан-2-ола.

3.* Выбери формулу, соответствующую 2,3,4-триметилпентан-3-олу:



4. Напиши уравнения реакций:

- а) описывающих химические свойства пропан-1-ола (дегидратацию, этерификацию, окисление);
- б) взаимодействия этанола (если они происходят) с: NaOH, H₂, Na, Cu(OH)₂.

5. Выбери правильный ответ:

- А*. При окислении первичных спиртов образуются: а) альдегиды; б) кетоны.
 Б. Этанол: а) горит на воздухе светящимся пламенем с выделением тепла; б) не горит на воздухе.
 В. При сгорании 32 г метанола расходуется кислород объемом:
 а) 11,2 л; б) 22,4 л; в) 33,6 л; г) 42 л.

6. Заполни свободные места:

- а) При внутримолекулярной дегидратации этанола образуется, а при межмолекулярной дегидратации –
- б) При взаимодействии метанола с металлическим натрием выделяется и образуется
- в) Метанол и этанол применяются в следующих областях:

7. Напиши уравнения реакций следующих превращений:

карбид кальция → этин → этен → этанол → *диэтиловый эфир.

8. Реши задачи:

А. При взаимодействии 115 г раствора этанола в бензоле с металлическим натрием выделилось 6,72 л H₂ (н. у.). Определи массовую долю этанола в растворе.

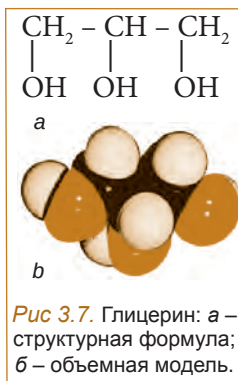
(О.: 24%)

Б. Вычисли объем водорода (н.у.), выделяющегося при взаимодействии 6,9 г металлического натрия с 16 г абсолютного (безводного) метанола.

(О.: 3,36 л)

3.1.4.

Многоатомные спирты

**Определение, строение, номенклатура**

Органические вещества, которые производятся от насыщенных углеводов, путем замещения двух или больше атомов водорода на функциональные групп –ОН, называются **многоатомными спиртами**.

Спирты, содержащие две гидроксигруппы, называются **диолами** или **гликолями**, а с тремя гидроксильными группами – **глицеринами** (рис. 3.7). Первым представителем является диол с двумя атомами углерода (таблица 3.3).

Таблица 3.3. Номенклатура и физические константы многоатомных спиртов

Формула	Номенклатура		Температура кипения, °С	Растворимость в воде, 25°С (г/100 г)
	Систематическое название	Несистематическое название		
$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{--CH}_2 \\ \quad \\ \text{OH} \quad \text{OH} \end{array}$	Этан-1,2-диол	Этиленгликоль	197	∞
$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{--CH--CH}_3 \\ \quad \\ \text{OH} \quad \text{OH} \end{array}$	Пропан-1,2-диол	α-Пропиленгликоль	187	∞
$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{--CH}_2\text{--CH}_2 \\ \quad \quad \\ \text{OH} \quad \quad \text{OH} \end{array}$	Пропан-1,3-диол	β-Пропиленгликоль	215	∞
$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{--CH--CH}_2 \\ \quad \quad \\ \text{OH} \quad \text{OH} \quad \text{OH} \end{array}$	Пропан-1,2,3-триол	Глицерин	290	∞

Физические свойства

С ростом числа гидроксильных групп у многоатомных спиртов появляется сладкий вкус и уменьшается токсичность.

Этиленгликоль и глицерин – вязкие бесцветные жидкости. Благодаря наличию большого числа групп –ОН, возрастает молекулярная ассоциация, увеличивается температура кипения, многоатомные спирты растворяются в воде лучше, чем спирты с одной гидроксильной группой.

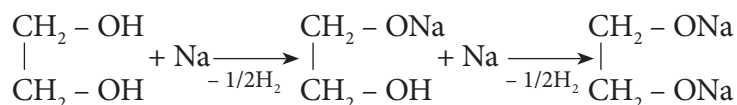
Водные растворы многоатомных спиртов не замерзают при низкой температуре и используются в качестве антифризов для автомобилей. Концентрированные водные растворы служат жидкостью в автомобильных радиаторах, т.к. такие смеси не замерзают при низких температурах (60%-ный водный раствор замерзает при –49°С).

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ОПЫТ****Незамерзающие растворы («антифриз»)**

1. Налей в одну пробирку 40%-ный водный раствор глицерина, а в другую – дистиллированную воду.
2. Приготовь из соли и измельченного льда охлаждающую смесь.
3. Погрузи обе пробирки в охлажденную смесь (–5°С).
4. Извлеки пробирки из охлаждаемой смеси через 10 минут.
5. Заметь, что в пробирке с дистиллированной водой образовался лед, а раствор глицерина остался жидким. Где в повседневной жизни применяется это явление?

Химические свойства

Многоатомные спирты вступают во все реакции, свойственные многоатомным спиртам. Гидроксильные группы диолов и полиолов могут реагировать независимо или вместе. Следовательно, образуются смеси продуктов монозамещения и полизамещения, например, при реакции с активными металлами (Na):

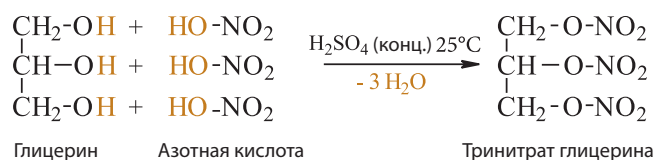


Аналогично протекают и реакции с глицерином.

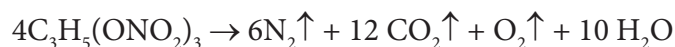
Реакция с $\text{Cu}(\text{OH})_2$. Взаимное влияние гидроксигрупп в молекулах диолов и триолов приводит к увеличению их кислотности, т. е. связь $\text{O}-\text{H}$ становится более поляризованной и атом водорода – более подвижным. Поэтому полиолы, в отличие от одноатомных спиртов, реагируют с гидроксидом меди (II), образуя хорошо растворимые соединения синего цвета.

Эта реакция характерна для всех многоатомных спиртов, содержащих вицинальные гидроксигруппы, и применяется для их идентификации.

Глицерин реагирует с азотной кислотой в присутствии H_2SO_4 (конц.) с образованием сложного эфира азотной кислоты и глицерина – тринитрата глицерина, часто называемого нитроглицерином:



Тринитрат глицерина представляет собой жидкость, которая может самопроизвольно взрываться:

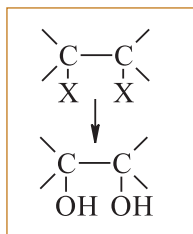


Впервые он был получен в 1847 г. итальянским химиком А. Собrero. Позднее Альфред Нобель обнаружил, что смесь нитроглицерина с пористым диоксидом кремния (кизельгуром) менее чувствительна к удару и более безопасна. В 1867 г. А. Нобель запатентовал свое открытие, назвав продукт «динамитом».

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ОПЫТ****Идентификация многоатомных спиртов с помощью гидроксида меди (II)**

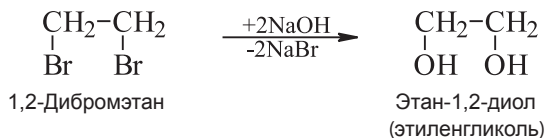
- Приготовь** гидроксид меди, прибавляя к 2%-му раствору сульфата меди (4–5 мл) 10%-ый раствор гидроксида натрия, до появления осадка гидроксида меди.
- Встряхни** полученный осадок и налей его в две пробирки.
- Прибавь** в одну из пробирок глицерин и встряхивай ее до исчезновения осадка и появления интенсивной синей окраски.
- Сравни** цвет растворов в обеих пробирках.
- Прибавь** в пробирку с глицератом меди (II) несколько капель 10%-го раствора HCl .
- Опиши** наблюдения и сделай выводы.

Методы получения

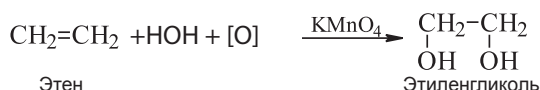


Этиленгликоль в промышленности получается из этена двумя методами:

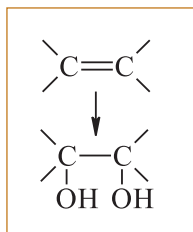
1. Гидролиз 1,2-дибромэтана водным раствором NaOH (стр.53):



2. При мягком окислении этена водным раствором KMnO_4 также получается этиленгликоль:



Сырьем для синтеза глицерина является пропен.

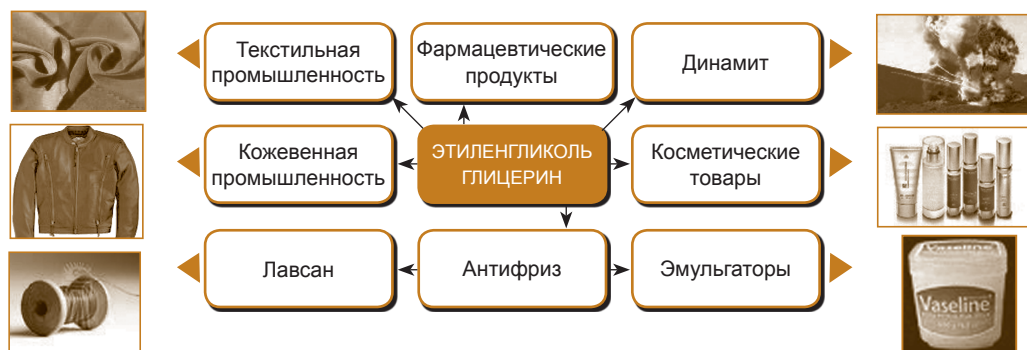


Применение этиленгликоля и глицерина

Этиленгликоль применяется в органическом синтезе. Значительные количества его идут на приготовление антифриза для охлаждения двигателей зимой. Он служит сырьем в производстве лавсана, различных эмульгаторов и других продуктов. Очень токсичен.

Глицерин находит широкое применение. Большие его количества используются для получения тринитроглицерина (динамит), некоторых пластмасс, в фармацевтике и косметике, для смягчения тканей и кожи. Разбавленный раствор тринитрата глицерина используется в медицине в качестве сосудорасширяющего средства.

Схема 3.2. Применение этиленгликоля и глицерина



Задание 3.2. Используя схему 3.2, опиши области применения этиленгликоля и глицерина.

Знаешь ли ты, что...



Альфред Нобель (1833–1896) – шведский инженер и изобретатель, изобрел динамит, за что был удостоен многочисленных наград. Изобретение динамита сделало его очень богатым. Создал Нобелевский Фонд в составе Королевской Академии Наук Швеции и учредил Нобелевскую Премию, которая присуждается ежегодно, начиная с 1901 г., за выдающиеся достижения в области физики, химии, физиологии и медицины, литературы, а также за деятельность по укреплению мира, и с 1968 г. за работы в области экономических наук.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ**1. Дай определение** понятиям:

- а) двух- и трехатомные спирты;
- б) этиленгликоль;
- в) глицерин.

2. Объясни:

- а) как составляется систематическое название многоатомных спиртов;
- б) критерии классификации многоатомных спиртов;
- в) какие факторы влияют на точку кипения спиртов;
- г) как производится динамит.

3. Объедини порядковый номер реагента и по меньшей мере с двумя буквами, под которыми подразумеваются вступающие в реакцию вещества:

- | | |
|-----------------------------|------------------|
| 1. Бромная вода | а) этен |
| 2. $\text{Cu}(\text{OH})_2$ | б) этанол |
| 3. Металлический Na | в) этан-1,2-диол |
| 4. Хлористый водород | г) этин |
| | д) глицерин |

4. Напиши последовательность уравнений реакций, с помощью которых можно провести следующие превращения:

- а) этан $\rightarrow$ этанол;
- б) метан $\rightarrow$ этанол.

5. Напиши уравнения реакций:

- а)*глицерина со следующими реагентами: а) Na; б)* азотная кислота.
- б) с помощью которых можно осуществить следующие превращения:

- а) $\text{CH}_4 \rightarrow \text{CH}\equiv\text{CH} \rightarrow \text{CH}_2=\text{CH}_2 \rightarrow \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{OH}$;
- б) $\text{CH}\equiv\text{CH} \rightarrow \text{CH}_3-\text{CH}_3 \rightarrow \text{CH}_2=\text{CH}_2 \rightarrow \text{Cl}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{Cl}$.

6. Предложи структурные формулы гидроксильных веществ со следующими молекулярными формулами:

- а) $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$; б) $\text{C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2$; в) $\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$; г) $\text{C}_3\text{H}_6(\text{OH})_2$ (2 изомера).

Укажи их систематические названия.

7.* Реши задачи:

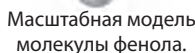
А. Какой объем водорода (н.у.) выделится при взаимодействии 40 г глицерина с 40 г металлического натрия?

(О.: 14,5 л)

Б. Этиленгликоль получается по схеме: этен $\rightarrow$ 1,2-дихлорэтан $\rightarrow$ этан-1,2-диол. Напиши уравнения реакций и вычисли массу получающегося этиленгликоля и объем хлора, использованного для хлорирования 3,36 л (н.у.) этена.

(О.: 9,3 г; 3,36 л)

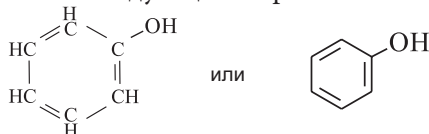
Фенол



Определение

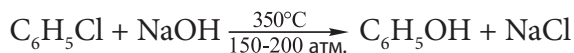
Фенол – это гидроксисоединение, в котором гидроксигруппа $-OH$ непосредственно связана с атомом углерода ароматического ядра (C_6H_5OH).

Структурная формула фенола, как и бензола, может быть представлена следующим образом:



*Получение фенола

Важным источником фенола и его гомологов является каменноугольная смола. Важным методом синтеза фенола является гидролиз хлорбензола. Реакция протекает в жестких условиях (при высокой температуре и давлении):



Этим методом производят фенол в промышленности.

Физические свойства

При обычной температуре фенол является кристаллическим, бесцветным, гигроскопичным веществом с неприятным проникающим запахом. На воздухе фенол окисляется и окрашивается в розовый цвет. Низкая температура плавления (+43°C) и летучесть фенола позволяют очищать его перегонкой. Фенол плохо растворим в воде и легко растворим в органических растворителях (этанол, диэтиловый эфир, бензол).

Химические свойства

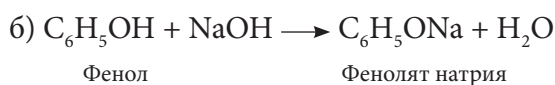
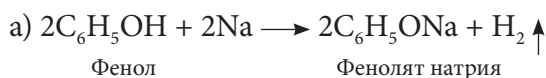
Химические свойства фенолов определяются наличием в их молекулах как гидроксильной группы, так и ароматического ядра, которые взаимно влияют друг на друга.

Фенол вступает в реакции двух типов.

А. Реакции гидроксигруппы фенолов.

1. Образование солеобразных соединений, или кислотность фенолов, характерно для этого класса гидроксисоединений.

В отличие от спиртов, которые являются очень слабыми кислотами и реагируют только с металлическим натрием, фенолы реагируют и со щелочами с образованием фенолятов (феноксидов):

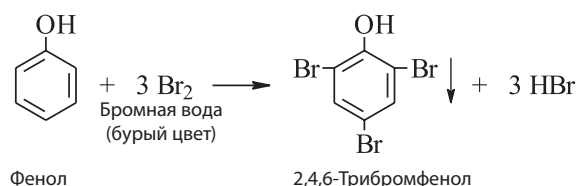


Фенолят натрия стабильнее этилата натрия.

Б. Реакции ароматического ядра.

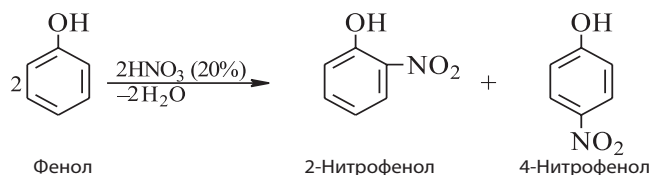
Ароматическое ядро фенола проявляет свойства, описанные в теме *Арены*. Но гидроксигруппа влияет на свойства ядра: она активирует его и направляет вступающие заместители в положения 2, 4 или 6 по отношению к ней. Реакции замещения в феноле протекают легче, чем в бензоле.

2. Галогенирование. При действии на фенол бромной воды образуется белый осадок 2,4,6-трибромфенола:

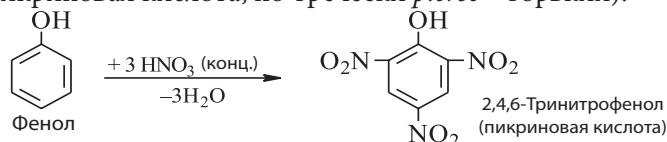


Эта реакция применяется для качественного и количественного определения фенола.

3. Нитрование фенола идет очень легко при действии разбавленной азотной кислоты при комнатной температуре. Образуется смесь 2- и 4-нитрофенолов:



Нитрование концентрированной азотной кислотой приводит к 2,4,6-тринитрофенолу (пикриновая кислота, по-гречески *picros* – горький):



Нитрофенолы – желтые кристаллические вещества, применяются как красители.

4. Цветные реакции. Фенол в присутствии хлорида железа (III) дает характерную красно-фиолетовую окраску, по которой его можно идентифицировать.



ЛАБОРАТОРНЫЙ ОПЫТ

Цветная реакция на фенольный гидроксил в парацетамол (медикамент с болеутоляющим и жаропонижающим действием), который является производным фенола

- 1. Измельчи** в ступке таблетку парацетамола.
- 2. Внеси** измельченный парацетамол в пробирку (1), прибавь 3 мл этанола и 3 мл дистиллированной воды. Энергично взболтай содержимое пробирки.
- 3. Слей** прозрачный раствор из пробирки (1) в другую пробирку (2) и прибавь 2-3 капли 5%-го раствора хлорида железа (III).
- 4. Наблюдай** появление красно-фиолетовой окраски, характерной для группы –ОН в феноле.

Знаешь ли ты, что...

Пикриновая кислота была первым синтетическим красителем для шерсти (1849), до того времени применялись только природные красители.



Рис. 3.8. Применение фенола и его производных:
1 – косметические красители; 2 – инсектициды;
3 – лекарства; 4 – стекло-текстолит.

Применение фенола

Фенол является важным сырьем для химической промышленности (схема 3.3). Большие количества фенола идут на производство лекарств (салициловая кислота), красителей, косметических продуктов, взрывчатых веществ (пикриновая кислота). Разбавленный раствор фенола является антисептиком.

Пластические массы на основе фенолформальдегидных смол (фенопласты) обладают твердостью и высокой стабильностью, а также электроизоляционными свойствами. Из них изготавливаются детали для радиотехнических приборов и для химических лабораторий. Большие количества фенола применяются для получения синтетических волокон (капрон, нейлон), гербицидов и инсектицидов (рис. 3.8). Фенол используется для защиты изделий из дерева (мебели, икон и др.).

Схема 3.3. Применение фенолов



Задание 3.3. Используя схему 3.3, опиши области применения фенола.

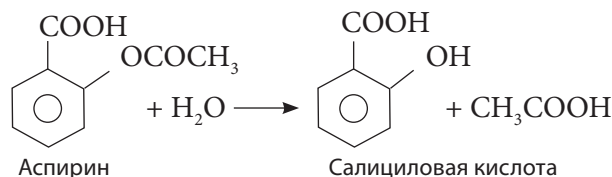
Защита окружающей среды. Фенолы являются токсичными веществами (предельно допустимая концентрация – 5 мг/м^3), поэтому их промышленное производство и применение должно удовлетворять определенным требованиям по защите окружающей среды. Слив фенольных отходов в водоемы крайне опасен для обитающей в них микрофлоры. Попадая в воду, фенол окисляется растворенным в ней кислородом, вызывая гибель живущих в воде организмов. Промышленные предприятия, допускающие выбросы фенолов и тем самым нарушающие действующее законодательство по защите окружающей среды, наказываются штрафами.

Некоторые меры по предупреждению загрязнений фенолом:

- оптимизация технологий, использующих фенол;
- модернизация применяемого оборудования;
- сбор фенолсодержащих сточных вод в специальные бассейны;
- очистка сточных вод химическими и биологическими методами.

Аспирин обладает противовоспалительным и жаропонижающим действием (временно понижает температуру тела). Он самое продаваемое лекарство в мире (ок. 20 млн. кг в год).

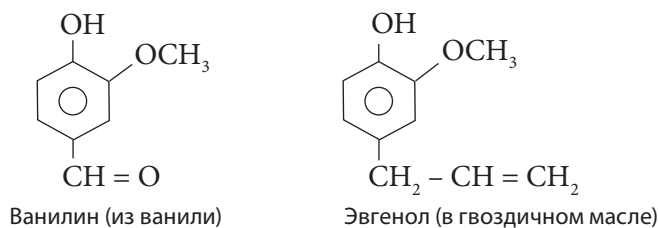
Аспирин – бесцветное кристаллическое вещество, без запаха, устойчивое в отсутствие влаги. Во влажной среде или в желудке он гидролизуется с образованием салициловой и уксусной кислот:



При употреблении аспирина в больших количествах, без назначения врача, могут проявиться его побочные эффекты – язва желудка, внутренние кровотечения и др. Поэтому его следует принимать с осторожностью, избегая больших доз и частого употребления.

Внимание! Если таблетки аспирина имеют легкий запах уксуса (уксусной кислоты), это означает, что произошёл гидролиз препарата (это бывает при превышении срока хранения) и он не пригоден к использованию.

В эфирных маслах многих растений присутствуют вещества фенольной природы, имеющие сильный приятный запах:



В зелёном чае, в винограде, в перцах присутствуют фенольные вещества, способные предупреждать развитие рака.

Творческое задание Предложи реакцию, которая может наглядно продемонстрировать наличие ароматического ядра в молекуле аспирина. Какой реагент, взаимодействуя с бесцветным аспирином, может дать жёлтую окраску?



ЛАБОРАТОРНЫЙ ОПЫТ

Обнаружение фенольной гидроксигруппы в продуктах гидролиза аспирина (ацетилсалициловой кислоты)

1. **Раствори** таблетку аспирина в 10 мл воды и нагрей раствор 2-3 мин. на водяной бане.
2. **Слей** прозрачный раствор в другую пробирку.
3. **Добавь** к полученному раствору 2-3 капли 5%-го свежеприготовленного раствора FeCl_3 .
4. **Наблюдай** появление фиолетовой окраски, свидетельствующей о присутствии фенольной гидроксигруппы в молекуле салициловой кислоты.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Дай определение понятиям:

- фенол;
- фенолят натрия.

2. Объясни: почему фенол вступает в реакции, характерные как для спиртов, так и для бензола.

3. Напиши последовательно реакции получения фенола из бензола.

4. Заполни свободные места в утверждениях:

А. В молекуле фенола есть гидроксигруппа и, которые влияют друг на друга.

Б. *Соединение $\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{OH}$ является фенола ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$).

В. Фенолят натрия получается в результате реакции фенола с

5. Составь структурные формулы следующих соединений:

- а) бензол;
- б) фенол;
- в) метилбензол;
- г) 2-метилфенол.

6. Напиши уравнения реакций фенола со следующими реагентами:

- а) Na;
- б) NaOH;
- в) $\text{Br}_2(\text{H}_2\text{O})$;
- г) $3\text{H}_2(\text{Ni})$.

7. Ответь И (истинно) или Л (ложно) в следующих утверждениях: И Л

а) *Фенол обладает более выраженной кислотностью, чем спирты, и реагирует со щелочами. ☐ ☐

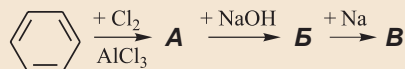
б) Фенол с раствором хлорида железа (III) даёт красно-фиолетовое окрашивание. ☐ ☐

в) *При обработке фенола бромной водой образуется белый осадок 2,4,6-трибромфенола. ☐ ☐

г) Фенол – белое кристаллическое вещество, изменяющее цвет при хранении. ☐ ☐

8. Приведи схемы реакций:

а) Напиши уравнения реакций и назови продукты А, Б, В из следующей схемы:



б) Напиши уравнения реакций, по которым можно осуществить следующие превращения:



9. Реши задачу:

- Какой объём водорода (н. у.) выделится при взаимодействии 9,4 г фенола с избытком натрия?

(О.: 1,12 л)

3.1.6. Идентификация гидроксилсодержащих соединений в продуктах, используемых в повседневной жизни

Практическая работа № 2

Приборы и принадлежности: спиртовка или газовая горелка, спички, металлический штатив с зажимом, штатив с пробирками, пробка с газоотводной трубкой, стеклянная палочка, резинка.

Реактивы: спиральная медная проволочка, 10% раствор NaOH, 2% раствор CuSO_4 , аспирин или парацетамол, дистиллированная вода, спиртовой раствор медикамента из аптеки.

Порядок работы:

I. Обнаружение этилового спирта в растворе настойки *Tinctură de gălbenele* (настойка календулы) или другой препарат доступный в местной аптеке.

1. **Налей** в пробирку (1) 0,5 мл раствора медикамента.
2. **Нагревай** в пламени горелки медную проволоку до почернения (CuO).
3. **Внеси** раскаленную спираль в спиртовой раствор медикамента.
4. **Наблюдай** изменение поверхности медной спирали. Повтори эту процедуру несколько раз. Ощути появление запаха альдегида (запах яблок).
5. **Запиши** в таблицу внизу уравнение реакции окисления этанола оксидом меди (стр. 136).

II. Обнаружение многоатомных спиртов в составе жевательной резинки.

1. **Разрежь** жевательную резинку на несколько кусочков величиной с кукурузного зерна и внеси по одному в несколько пробирок.
2. **Прибавь** в пробирку 1–2 мл дистиллированной воды. Закрой пробирку резиновой пробкой и энергично ее встряхивай.
3. **Отдели** декантацией в отдельную пробирку водный раствор из пробирки (1).
4. **Налей** в пробирку (2) несколько капель 10% раствора NaOH, затем несколько капель 2% раствора CuSO_4 . Наблюдай образование осадка $\text{Cu}(\text{OH})_2$.
5. **Прибавь** к образовавшемуся осадку водный раствор из пробирки (1) и энергично встряхни содержимое пробирки (2).
6. **Наблюдай** растворение осадка $\text{Cu}(\text{OH})_2$, появление интенсивной синей окраски, которая свидетельствует о присутствии многоатомного спирта (стр. 142), который придает сладкий вкус жевательной резинке.

III. Обнаружение фенольной гидроксигруппы в аспирине, который является производным фенола.

1. **Измельчи** таблетку аспирина и раствори в 10 мл дистиллированной воды, прибавь две капли HCl и нагревай на водяной бане 2–3 минуты.
2. **Декантируй** прозрачный раствор в другую пробирку.
3. **Прибавь** в полученный раствор 2–3 капли свежеприготовленного 5%-го раствора FeCl_3 .
4. **Наблюдай** появление фиолетовой окраски, характерной для группы $-\text{OH}$ в феноле.
5. **Перепиши** в тетрадь таблицу и на основании проделанных опытов заполни соответствующие столбцы.

Оборудование и реактивы	Ход работы. Схематические рисунки установок	Наблюдения и их объяснение	Уравнения реакций и выводы

3.1.7.–
3.1.8.

Упражнения и расчетные задачи по уравнениям химических реакций, характерных для гидроксисоединений

Упражнение 1

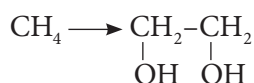
Напиши последовательные реакции, необходимые для следующих превращений:

А. метан $\longrightarrow$ этан-1,2-диол

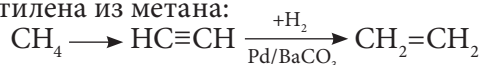
Б. метан $\longrightarrow$ фенол

Решение А:

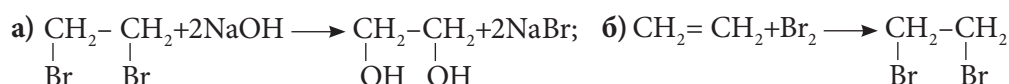
1. **Запишем** структурные формулы исходного и конечного веществ:



2. Для увеличения числа атомов углерода в молекуле воспользуемся реакцией получения ацетилена из метана:

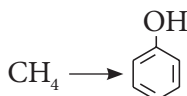


3. Диолы получают при гидролизе вицинальных галогенопроизводных (а), которые образуются из этена (б):

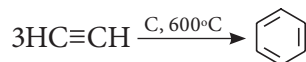


Решение Б:

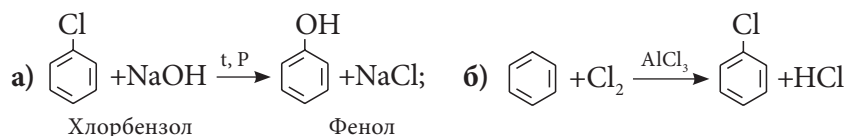
1. **Запишем** структурные формулы исходного и конечного веществ:



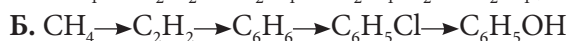
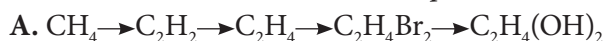
2. Для получения бензола, содержащего 6 атомов углерода, воспользуемся реакцией тримеризации ацетилена:



3. Введение ОН-группы в бензольное кольцо осуществляется при замещении атома галогена в хлорбензоле (а), который, в свою очередь, получается из бензола (б):



О т в е т: последовательность реакций такова:



I. Расчётные задачи на определение молекулярной формулы гидроксисоединений по их общей формуле.

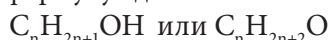
Задача 1

Установите молекулярную формулу одноатомного насыщенного спирта, содержащего 21,62% кислорода.

Дано:
 $\omega(\text{O}) = 21,62\%$

Решение:

1. Напишем общую формулу одноатомных насыщенных спиртов:



Формула – ?

2. Выразим молекулярную массу спирта через n:

$$\text{Mr}(\text{C}_n\text{H}_{2n+2}\text{O}) = 12n + 2n + 2 + 16 = 14n + 18$$

3. Вычислим значение n из уравнения:

$$\omega(\text{E}) = \frac{n(\text{E}) \cdot \text{Ar}(\text{E})}{\text{Mr}} \cdot 100\% \quad \omega(\text{O}) = \frac{1 \cdot 16}{14n + 18} \cdot 100\%, \quad 21,62 = \frac{1600}{14n + 18}, \text{ откуда } n = 4.$$

4. Подставим значение n в общую формулу: $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$.

Отв е т: молекулярная формула спирта $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$ или $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$.

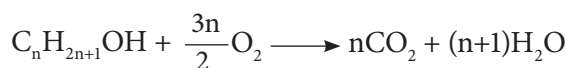
***Задача 2**

При сгорании 1,2 г одноатомного насыщенного вторичного спирта образовалось 2,64 г CO_2 . Установите молекулярную и структурную формулы спирта.

Дано:
 $m(\text{ROH}) = 1,2 \text{ г}$
 $m(\text{CO}_2) = 2,64 \text{ г}$

Решение:

1. Напишем общее уравнение горения одноатомных насыщенных спиртов:



2. Определим количества вещества спирта и CO_2 :

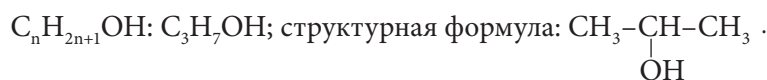
$$\begin{aligned} \text{Mr}(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{OH}) &= 12n + 2n + 1 + 17 = 14n + 18 \\ \text{Mr}(\text{CO}_2) &= 44. \end{aligned}$$

$$\nu = \frac{m}{M}; \quad \nu(\text{спирта}) = \frac{1,2}{14n + 18}; \quad \nu(\text{CO}_2) = \frac{2,64}{44n}.$$

3. Из уравнения реакции следует:

$$\nu(\text{спирта}) = \nu(\text{CO}_2); \quad \frac{1,2}{14n + 18} = \frac{2,64}{44n}, \text{ откуда } n = 3.$$

4. Подставим значение n = 3 в общую формулу:



Отв е т: молекулярная формула спирта $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$, структурная формула $\text{CH}_3 - \text{CH}(\text{OH}) - \text{CH}_3$.

II. Расчёт массы исходного вещества по количеству вещества продукта реакции.**Задача 3**

Вычислите массу фенолята калия, полученного из 2,82 г фенола и 5,6 г 40%-го раствора КОН.

Дано:

$$m(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) = 2,82 \text{ г}$$

$$m(\text{р-ра КОН}) = 5,6 \text{ г}$$

$$\omega(\text{р-ра КОН}) = 40\%$$

$$m(\text{C}_6\text{H}_5\text{OK}) - ?$$

Решение:

1. Вычислим массу КОН в растворе:

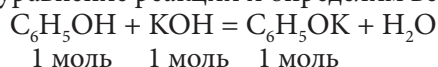
$$\omega = \frac{m(\text{в-ва})}{m(\text{р-ра})} \cdot 100\%; \quad m(\text{КОН}) = \frac{m(\text{р-ра})\text{КОН} \cdot \omega}{100\%} = \frac{5,6 \text{ г} \cdot 40\%}{100\%} = 2,24 \text{ г}.$$

2. Определим количество вещества $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ и КОН.

$$M(\text{КОН}) = 56 \text{ г/моль}; \quad M(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) = 94 \text{ г/моль};$$

$$\nu(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) = \frac{m(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH})}{M(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH})} = \frac{2,82 \text{ г}}{94 \text{ г/моль}} = 0,03 \text{ моль}; \quad \nu(\text{КОН}) = \frac{m(\text{КОН})}{M(\text{КОН})} = \frac{2,24 \text{ г}}{56 \text{ г/моль}} = 0,04 \text{ моль}$$

3. Напишем уравнение реакции и определим вещество, взятое в избытке:



Из уравнения реакции следует: $\nu(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) = \nu(\text{КОН})$; согласно расчётам $0,03 \text{ моль} < 0,04 \text{ моль}$. Значит, расчёт следует проводить по фенолу, так как КОН в избытке.

$$\nu(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) = \nu(\text{C}_6\text{H}_5\text{OK}) = 0,03 \text{ моль}; \quad M(\text{C}_6\text{H}_5\text{OK}) = 132 \text{ г/моль};$$

$$m(\text{C}_6\text{H}_5\text{OK}) = \nu \cdot M = 0,03 \text{ моль} \cdot 132 \text{ г/моль} = 3,96 \text{ г}.$$

Ответ: масса фенолята калия 3,96 г.

III. *Расчёты по химическим свойствам гидроксисоединений, находящихся в смеси.**Задача 4**

При обработке смеси этанола и фенола избытком бромной воды получили 33,1 г белого осадка. Такую же порцию этой смеси обработали металлическим натрием, при этом выделилось 2,24 л (н. у.) водорода. Вычислите массу исходной смеси и массы этанола и фенола в ней.

Дано:

$$m(\text{осадка}) = 33,1 \text{ г}$$

$$V(\text{H}_2) = 2,24 \text{ л}$$

$$m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) - ?$$

$$m(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) - ?$$

$$m(\text{смеси}) - ?$$

Решение:

Из этой смеси с бромом реагирует только фенол.

1. Напишем уравнение реакции:



$$M(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) = 94 \text{ г/моль}; \quad M(\text{C}_6\text{H}_2\text{Br}_3\text{OH}) = 331 \text{ г/моль}.$$

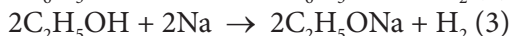
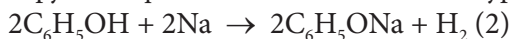
2. Вычислим количества вещества трибромфенола и фенола, а также массу фенола:

$$\nu(\text{C}_6\text{H}_2\text{Br}_3\text{OH}) = \frac{33,1 \text{ г}}{331 \text{ г/моль}} = 0,1 \text{ моль}.$$

Согласно уравнению реакции(1): $\nu(\text{C}_6\text{H}_2\text{Br}_3\text{OH}) = \nu(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) = 0,1 \text{ моль};$

$$m(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) = \nu \cdot M = 0,1 \text{ моль} \cdot 94 \text{ г/моль} = 9,4 \text{ г}.$$

3. С натрием реагирует как фенол, так и этанол, согласно уравнениям реакций (2) и (3):



4. Определим количество вещества водорода, этанола и массу этанола:

$$v(\text{H}_2) = \frac{V}{V_m} = \frac{2,24 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,1 \text{ моль}; \quad M(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 46 \text{ г/моль}.$$

Из уравнения (2) следует, что из 2 молей $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ получается 1 моль H_2 ,

а из 0,1 моля $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ – 0,05 моля H_2 .

В ходе реакции (3) выделится 0,05 моля H_2 (0,1 моля – 0,05 моля = 0,05 моля).

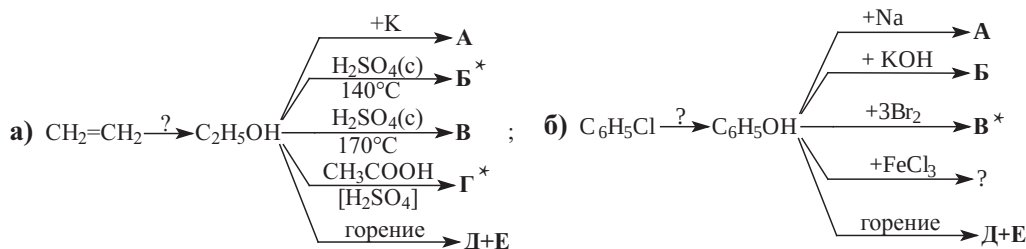
Таким образом, $v(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 0,1 \text{ моль}$; $m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = v \cdot M = 0,1 \text{ моль} \cdot 46 \text{ г/моль} = 4,6 \text{ г}$.

Ответ: масса смеси равна $m(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) + m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 9,4 \text{ г} + 4,6 \text{ г} = 14 \text{ г}$.

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Напишите уравнения реакций следующих превращений:
 а. метан $\rightarrow$ фенол; б.* этан $\rightarrow$ 2,4,6-трибромфенол.
2. В каком одноатомном вторичном спирте содержится 13,34% Н? (О.: $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$)
3. Вычислите массу этанола, образующегося при гидратации 6,72 л этена (н. у.).
(О.: 13,8 г)
4. Вычислите массовые доли компонентов в 39 кг эквимолярной смеси метанола и этанола.
(О.: 41% CH_3OH ; 59% $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)
5. *Вычислите объем водорода (н.у.), который образуется при взаимодействии 1,24 г этиленгликоля с 1,15 г металлического натрия.
(О.: 0,448 л)
6. Какой объем 9,4%-го раствора фенола в бензоле ($\rho = 0,9 \text{ г/см}^3$) при взаимодействии с металлическим натрием даст количество водорода, достаточное для полного каталитического гидрирования 1,12 л (н. у.) ацетилена? (О.: 222 мл)
7. *Из 64 г одноатомного насыщенного спирта обработкой серной кислотой при нагревании получили 46 г простого эфира. Установите формулы спирта и эфира.
(О.: $\text{CH}_3\text{--O--CH}_3$)
8. *В медицине применяется как сосудорасширяющее средство 1% раствор тринитрата глицерина в спирте. Сколько тринитрата нужно взвесить для приготовления 1,5 кг такого раствора?
(О.: 15 г)

Работа в группе Напишите уравнения реакций превращений, показанных на схеме, и назовите продукты А-Е.



3.1.9.

Генетическая связь гидроксильных соединений с другими классами органических веществ

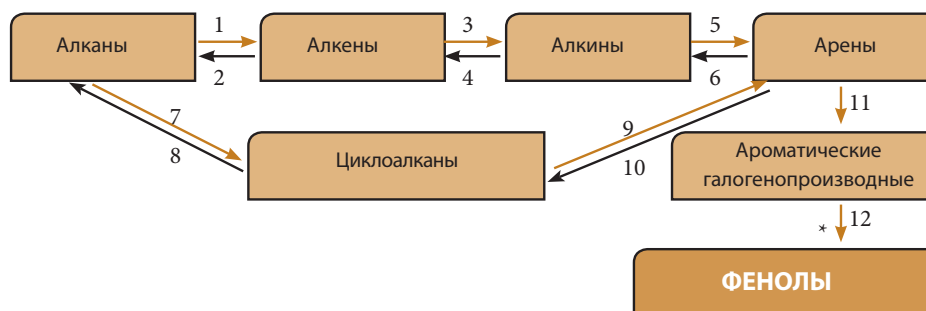
После изучения раздела 2 можно убедиться, что углеводороды можно использовать в качестве исходных веществ для получения органических соединений, содержащих кислород, каковыми являются спирты и фенолы. Генетическая связь между типами углеводородов и гидроксильными соединениями представлена в схемах 3.4 и 3.5.

Схема 3.4. Генетическая связь между алканами, алкенами, алкинами и одноатомными спиртами



Задание 3.4. Перепиши в тетрадь схему 3.4. и заполни ее соответствующими общими формулами.

Схема 3.5. Генетическая связь между алканами, циклоалканами, алкенами, алкинами, аренами и фенолами



Задание 3.5. Перепиши в тетрадь схемы и заполни клетки соответствующими общими формулами, а затем – примерами конкретных формул. Между стрелками клеток отметь реагенты и условия, в которых происходят превращения. Напиши уравнения реакций.

Упражнения и задачи на основе схем 3.4 и 3.5.

1. Напиши уравнения реакций, в результате которых происходят следующие превращения:

- а) метан→этан→этен→этанол; б) этин→этаналь→этанол→хлорэтан→этен;
в) этан→хлорэтан→этанол→этен.

2. Напиши уравнения реакций, при которых могут произойти следующие превращения:

- а) метан→хлорметан→этан→этен→этин→бензол→хлорбензол→фенол;
б) гексан→циклогексан→бензол→бромбензол→фенол→2,4,6-трибром-фенол.

3*. Какое количество вещества (моль) и его масса (г) каждого продукта образуется в результате следующих превращений:

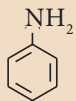
метан→этин→бензол→хлорбензол→фенол, если объем CH_4 равен 67,2 л (н.у.).

РАСШИРЕНИЕ

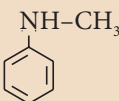
Амины



$\text{CH}_3\text{-NH}_2$
Алифатический амин



Ароматический амин



Арилалифатический
(смешанный) амин



Общая формула
первичных
алкиламинов



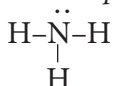
$\text{H}_2\text{N}(\text{CH}_2)_5\text{NH}_2$
Пропорциональная
модель молекулы када-
верина

Определение

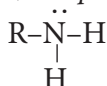
Амины – это производные аммиака, в котором атомы водорода замещены на углеводородные радикалы.

Классификация

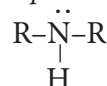
В зависимости от числа замещенных атомов водорода (числа органических радикалов, связанных с азотом) различают *первичные, вторичные и третичные* амины:



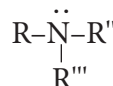
Аммиак



Первичный
амин



Вторичный
амин



Третичный
амин

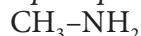
R, R', R'' могут быть одинаковыми или различными.

☉ Объясни выражения «первичный», «вторичный» и «третичный» в случае спиртов и сравни их с такими же выражениями в отношении аминов. В зависимости от природы радикала, различают *алифатические, ароматические и арилалифатические* амины.

Номенклатура алифатических аминов (алкиламинов)

Названия первичных аминов R-NH_2 производят от названий углеводородных радикалов, связанных с атомом азота, добавлением окончания *-амин* к названию радикала (R).

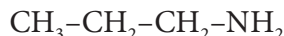
Примеры:



Метиламин

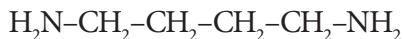


Этиламин



Пропиламин

Существуют амины, содержащие в молекуле две аминогруппы. В основу систематических названий алифатических диаминов положены названия соответствующих алканов, перед которыми цифрами указываются позиции аминогрупп с добавлением префиксов *ди-* к окончанию *-амин*; в скобках указаны несистематические названия:



Бутан-1,4-диамин (путресцин)



Пентан-1,5-диамин (кадаверин)

Эти соединения могут быть рассмотрены как углеводороды, в которых два атома водорода замещены аминогруппами. Путресцин и кадаверин образуются из аминокислот, образующихся из белков при разложении трупов.

Изомерия алкиламинов

Для первичных аминов характерны: а) изомерия углеродной цепи, соединённой с группой NH_2 , и б) изомерия положения функциональной группы $-\text{NH}_2$.

Задание 3.6. Напиши структурные формулы изомеров состава $\text{C}_4\text{H}_{11}\text{N}$.

Методы получения аминов

Алифатические амины образуются в природе в результате разложения (гниения) азотсодержащих веществ, в первую очередь аминокислот образующихся из белков. Такие процессы происходят и в кишечнике человека и животных. Некоторые амины были открыты в растениях.

1. Получение аминов алкилированием аммиака.

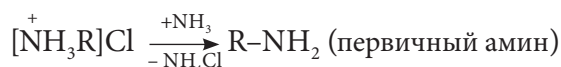
Тебе уже известно, что аммиак реагирует с галогеноводородами, образуя соли аммония:



По этому методу, т.е. реакцией аммиака с алкилгалогенидами (R-Cl), получают хлориды алкиламмония:

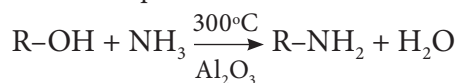


Если имеется избыток аммиака, то он отнимает галогеноводород от соли алкиламмония, превращаясь в галогенид аммония:



Практически, в ходе взаимодействия аммиака с галогенопроизводными образуется смесь первичного, вторичного и третичного аминов, которую зачастую очень трудно разделить.

2. Получение аминов из спиртов. Реакция спирта с аммиаком происходит при высоких температурах в газовой фазе:



Физические свойства алкиламинов

Амины обладают характерным неприятным запахом – у низших запахи аммиака, у высших запахи селедочного рассола. Амины, в зависимости от молекулярного веса, бывают газообразные, жидкие или твердые (таблица 3.4).

Таблица 3.4. Физические свойства некоторых алифатических аминов (алкиламинов)

Название	Формула	Температура, °C		Агрегатное состояние, 20°C
		плавления	кипения	
Метиламин	$\text{CH}_3\text{-NH}_2$	-92,5	-6,5	gaz
Этиламин	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-NH}_2$	-80	16,8	gaz
Пропиламин	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-NH}_2$	-50	60	lichid

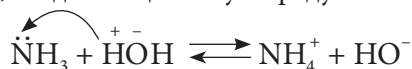
Температуры кипения аминов растут с увеличением их молекулярной массы. Молекулы низших первичных аминов ассоциированы за счет водородных связей.

Низшие амины (газообразные и жидкие) растворимы в воде, высшие – растворимы только в органических растворителях.

Задание 3.7. Сравни температуры кипения аминов с температурами кипения углеводов и спиртов с тем же числом атомов углерода. Сформулируй выводы.

Химические свойства

А. Основность аминов. Будучи производными аммиака, амины обладают основными свойствами, причём алкиламины гораздо более сильные основания, чем аммиак. Аммиак в реакции с водой связывает один протон своей неподелённой электронной парой, создавая щелочную среду.

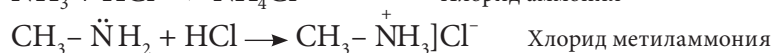


Как и аммиак, амины являются основаниями и в обратимой реакции с водой так же образуют гидроксильный ион:

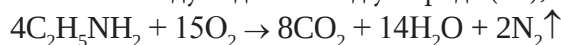


Основность аминов оценивается в сравнении с аммиаком.

Установлено, что алифатические амины являются более сильными основаниями, чем аммиак. При действии минеральных кислот амины, как и аммиак, образуют растворимые в воде соли:

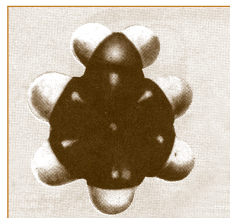


Б. Горение аминов на воздухе даёт оксид углерода (IV), воду и азот:

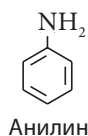
**Ароматические амины**

Ароматические амины – это соединения, в которых аминогруппа (NH₂) непосредственно связана с атомом углерода ароматического ядра.

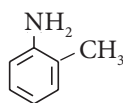
В основу несистематического названия ароматического амина берётся название первого представителя гомологического ряда – анилина.



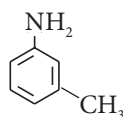
Пропорциональная модель анилина.



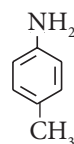
Анилин



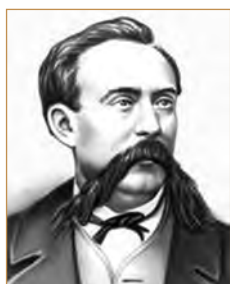
2-Метиланилин
(о-Толуидин)



3-Метиланилин
(м-Толуидин)



4-Метиланилин
(п-Толуидин)



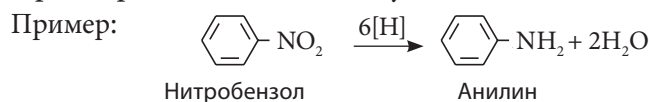
Н. Зинин
(1818–1880)

Русский химик. Впервые осуществил синтез анилина.

Получение анилина

Впервые анилин был получен восстановлением нитробензола сульфатом аммония (Н. Зинин, 1842).

Восстановление нитробензола – это метод, который применяется для получения анилина:



Нитробензол

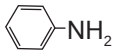
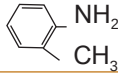
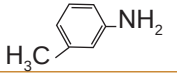
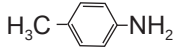
Анилин

Водород, необходимый для восстановления, получается при взаимодействии кислот с металлами (Zn или Fe).

Физические свойства

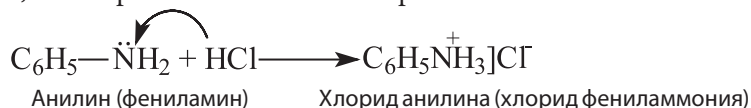
Ароматические амины – бесцветные или желтоватые жидкости, или твёрдые вещества с неприятным запахом и высокими температурами кипения (таблица 3.5). При длительном хранении на воздухе они медленно окисляются, окрашиваясь в красновато-коричневый цвет. Ароматические амины плохо растворяются в воде.

Таблица 3.5. Физические свойства некоторых ароматических аминов

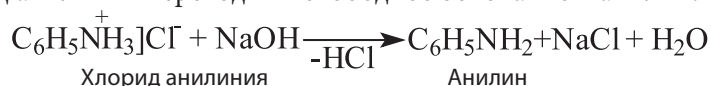
Название	Формула	Температура, °C		Растворимость в воде (г/100 мл), 25°C
		плавления	кипения	
Анилин (фениламин)		–6,2	184,4	3,4
о-Толуидин (2-Метиланилин)		–24,7	199,7	0,3
м-Толуидин (3-Метиланилин)		–31,6	203,2	0,25
р-Толуидин (4-Метиланилин)		+45,0	200,4	0,1

Химические свойства анилина

При взаимодействии с кислотами анилин образует устойчивые кристаллические соли. Это доказывает, что и ароматические амины проявляют основные свойства:



Хлорид анилина растворяется в воде. При действии на раствор сильных оснований хлорид анилина переходит в свободное основание – анилин:



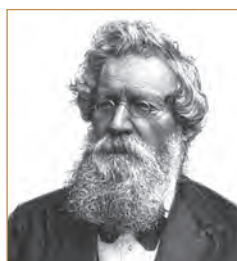
Алкиламины более сильные основания чем аммиак, но ароматические амины слабее аммиака.

Свидетельством меньшей основности ароматических аминов является тот факт, что водный раствор анилина не даёт щелочную реакцию на лакмус. В то же время, водные растворы алифатических аминов и аммиака изменяют цвет фенолфталеина или метилоранжа. О том, что аммиак более сильное основание, чем анилин, доказывает следующая реакция:



Именно поэтому аммиак освобождает анилин из его солей.

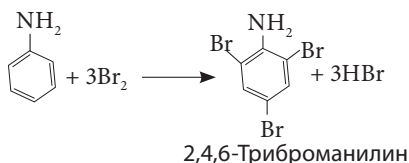
Взаимодействие анилина с бромной водой. Бензольное ядро анилина проявляет, в основном, такие же химические свойства, как и бензол. Однако, благодаря влиянию группы NH_2 на реакционную способность ароматического ядра, реакции замещения в положения 2, 4 и 6 идут быстрее, чем в бензоле (как в случае фенола).



А. Гофман (Hofmann)
(1818–1892)

Немецкий химик, известный своими исследованиями в области азотсодержащих органических соединений, в частности, азокрасителей

С бромной водой анилин образует осадок 2,4,6-триброманилина:



Применение анилина

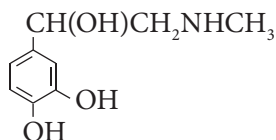
Анилин применяется в промышленности для производства синтетических красителей. При действии бихромата калия ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) в присутствии серной кислоты раствор анилина окрашивается в чёрный цвет. Краситель, который при этом образуется, «чёрный анилин», применяют для окрашивания кожи и тканей из хлопка. Большинство синтетических органических красителей имеют в молекулах аминогруппу NH_2 . Некоторые красители – метиленовый синий, метиловый фиолетовый – применяют для лабораторного окрашивания биологических проб. Из анилина производят в больших количествах лекарства (из группы сульфамидов), такие, как белый стрептоцид, этазол, сульфадимезин и др.

Анилин в качестве сырья для получения красителей и медикаментов

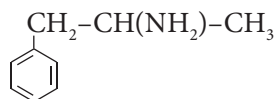
Пищевые азокрасители. Газированные напитки и пищевые продукты содержат красители. Так как некоторые из них токсичны, применение красителей в пищевой промышленности регламентировано определенными нормами. С этой точки зрения особенно важно, чтобы на упаковке пищевых продуктов назывался использованный краситель, для которого установлен международный код. На этикетке также должна быть цифра, указывающая на допустимую дозу (D.Z.A.), относительно массы тела человека.

Цвет красителя	Международный код	Обычное название красителя	Цветовая гамма	D.Z.A. (мг/кг)
Красный	E-122	Азобутин	Карминовый	4,0
Желтый	E-104, 102	Тартразин	Лимонный	7,5
Синий	E-131	Сине-фиолетовый	Азурин	1,5
Красно-коричневый	E-140	Родоксандрин	Малиновый	5,0

Анилин является также сырьем для получения медикаментов. Некоторые из них действуют на психику человека и называются психотропными препаратами (адреналин и амфетамин).



Адреналин (стимулятор)



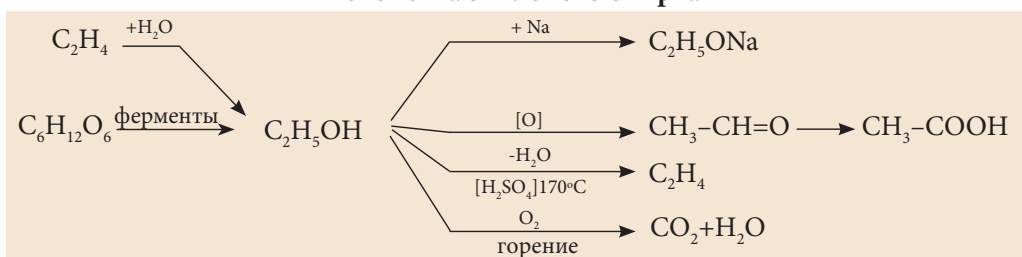
Амфетамин (антидепрессант)

Адреналин – это стимулятор, а амфетамин – это опасный наркотический препарат, который вызывает зависимость. Он известен под названием «speed».

ПОВТОРИ И ЗАКРЕПИ СВОИ ЗНАНИЯ: СПИРТЫ, ФЕНОЛЫ, АМИНЫ

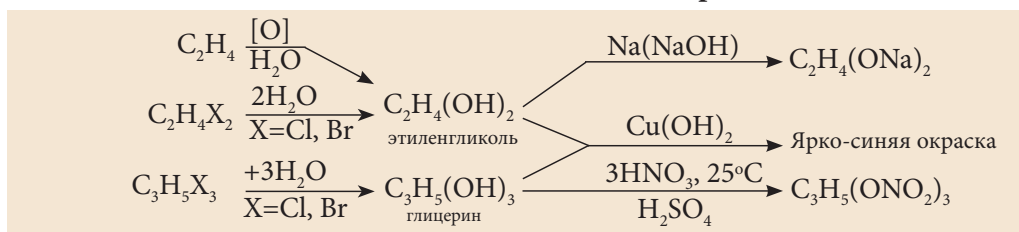
- ♦ **Спирты** – это производные насыщенных углеводородов, содержащие гидроксигруппу ($-\text{OH}$). *В зависимости от типа атома углерода, с которым связана гидроксигруппа, спирты бывают *первичные*, *вторичные* и *третичные*. Одноатомные спирты образуют гомологический ряд с общей формулой $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{OH}$.
- ♦ **Номенклатура.** Систематическое название спирта образуется из названия алкана с тем же числом атомов углерода добавлением окончаний: *-ол*, *-диол* или *-триол*. Перед окончанием указываются цифрами положения гидроксигрупп.
- ♦ **Физические свойства.** Спирты являются жидкостями с относительно высокими температурами кипения или твердыми веществами. Это обусловлено наличием водородных связей между молекулами спирта. Образованием водородных связей между молекулами спирта и воды объясняется растворимость низших спиртов в воде.
- ♦ **Методы получения** и химические свойства изученного ранее этанола представлены в схеме 3.6.

Схема 3.6. Методы получения и химические свойства этилового спирта



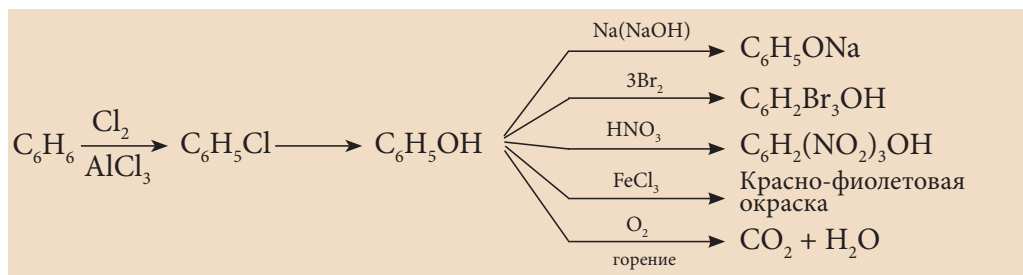
- ♦ **Двух- и трехатомные спирты** содержат в молекуле две или три гидроксигруппы, связанные с различными атомами углерода. Главные представители – этан-1,2-диол (этиленгликоль) и пропан-1,2,3-триол (глицерин). В обычных условиях они – вязкие жидкости, сладковатого вкуса, растворимые в воде.
- ♦ **Химические свойства** многоатомных спиртов определяются присутствием в их молекулах нескольких гидроксигрупп. В отличие от одноатомных спиртов они обладают более сильными кислотными свойствами (связи $\text{O}-\text{H}$ более полярны) и взаимодействуют с гидроксидом меди (II) с образованием соединений ярко-синего цвета.
- ♦ **Методы получения** и химические свойства этиленгликоля и глицерина представлены в схеме 3.7.

Схема 3.7. Методы получения и химические свойства этиленгликоля и глицерина



- ♦ **Фенол** – гидроксисоединение, в котором гидроксигруппа –ОН непосредственно связана с ароматическим ядром, поэтому он обладает свойствами бензола и спиртов. Под влиянием ароматического ядра связь О–Н становится более полярной, поэтому фенол, в сравнении со спиртами, является более сильной кислотой.
- ♦ **Методы получения** и химические свойства фенола представлены в *схеме 3.8*.

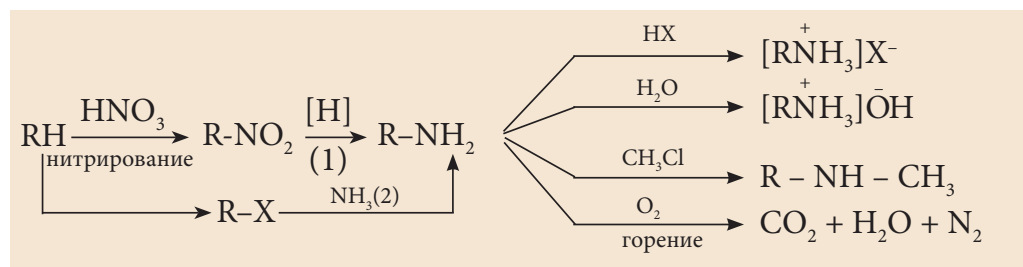
Схема 3.8. Методы получения и химические превращения фенола



Расширение

- ♦ **Амины** формально образуются из аммиака замещением одного, двух или трёх атомов водорода в нём на углеводородные радикалы (алкильные или арильные). В зависимости от числа замещённых атомов водорода различают первичные, вторичные и третичные амины. Анилин – это амин, в котором аминогруппа NH_2 связана с бензольным ядром (ароматический амин).
- ♦ Амины имеют тетраэдрическое строение молекул, такое же, как аммиак. На атоме азота в аминах, как и в аммиаке, имеется неподелённая пара электронов.
- ♦ Наличие на атоме азота неподелённой электронной пары обуславливает основные свойства аминов. Важнейшие методы получения и химические свойства аминов представлены в *схеме 3.9*.

Схема 3.9. Методы получения и химические свойства аминов



Метод (1) применяют для получения ароматических аминов, метод (2) – для получения алифатических аминов.

- ♦ **Применение спиртов, фенолов и аминов.** Спирты, фенолы и амины применяют как исходные вещества для производства красителей, лекарств, косметических товаров, взрывчатых веществ, пластмасс и др. Они применяются также как растворители и антисептики.

ЗАВЕРШАЮЩАЯ ОЦЕНКА ЗНАНИЙ

Гуманитарный профиль

1. Дай определение понятий:

- а) одноатомные насыщенные спирты;
- б) многоатомные спирты;
- в) фенол.

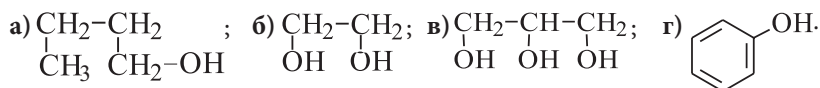
2. Объясни:

- а) классификацию спиртов по числу гидроксигрупп $-\text{OH}$;
- б) гомологический ряд одноатомных насыщенных спиртов;
- в) почему фенол, попадая в водоемы, крайне опасен?

3. Напиши структурные формулы следующих соединений:

- а) 2-метилпропан-1-ол; б) 2-этилбутан-1-ол; в) N-метил-этиламин.

4. Назови вещества:



5. Напиши:

А. Структурные формулы трёх гомологов и одного изомера пропан-1-ола.

Б. Уравнения реакций следующих превращений:



6. Заполни свободные места в утверждениях:

- А. Этанол является ... метанола.
- Б. Молекула фенола содержит ... атомов углерода, ... атомов водорода и один атом кислорода.
- В. Идентификация полиспиртов осуществляется реакцией с ...
- Г. Одноатомные спирты содержат в молекуле функциональную группу ...
- Д. Молекулярная формула фенола ...

7. Выбери правильный ответ:

- А. Этанол реагирует с:
 - а) HCl ; б) Na ; в) NaOH ; г) H_2 .
- Б. Вещество, относящееся к классу спиртов:
 - а) $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$; б) C_3H_8 ; в) $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$; г) $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$.

8. Разработка и представление проекта:

Составь реферат, в котором аргументировано изложено справедливое предупреждение «**Чрезмерное употребление алкоголя серьезно вредит здоровью**».

3.1.10.*

ЗАВЕРШАЮЩАЯ ОЦЕНКА ЗНАНИЙ

Реальный профиль

1. Объясни:

- а) по какому признаку классифицируют производные углеводов.
 б) влияние групп $-\text{OH}$ и $-\text{NH}_2$ на реакционную способность ароматического ядра.

2. Определи, к какому классу относится каждое из следующих соединений и подчеркни в его формуле функциональную группу:

- а) $\text{CH}_3 - \text{OH}$; б) $(\text{CH}_3)_2 \text{C} = \text{O}$; в) $\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH}_2 \\ | \quad | \\ \text{OH} \quad \text{OH} \end{array}$;
 г) $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$; д) $\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$.

3. Напиши структурные формулы следующих соединений:

- а) бромэтан; б) пропан-2-ол; в) 3-метилпентан-3-ол; г) 2,4-динитрофенол;
 д) триэтиламин; е) N-метиланилин; ж) пропан-1,3-диол.

4. Выбери правильный ответ:

А. При действии воды на бут-2-ен образуется:

- а) бутан-1-ол; б) бутан-2-ол; в) этан-1,2-диол.

Б. В каком количестве воды содержится то же количество кислорода, что и в 64 г метанола:

- а) 16 г; б) 32 г; в) 18 г; г) 38,25 г.

В. Массовая доля углерода в феноле ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$) составляет:

- а) 60,3%; б) 71,7%; в) 76,6%.

Г. HCl реагирует со следующими веществами:

- а) пропен; б) пропин; в) бензол; г) этен;
 д) фенол; е) этанол; ж) этин; з) аммиак.

5. Установи соответствие *соединение–свойство–метод получения*:

Соединение	Свойство	Методы получения	Ответ
1. Этанол	а. С бромной водой образует нерастворимый в воде белый осадок.	А. В промышленности получают из пропена.	1, в, Б
2. Этиленгликоль	б. С азотной кислотой образует взрывчатое вещество.	Б. Получается при гидратации этена.	
3. Глицерин	в. Применяется в пищевой промышленности.	В. Получается из гудрона и ископаемого угля.	
4. Фенол	г. С $\text{Cu}(\text{OH})_2$ образует раствор синего цвета.	Г. Образуется при гидролизе вицинальных дигалогенидов.	

6. Реши:

- ♦ Сколько литров этена можно получить из 40 г 92%-го этанола? (О.: 17,9 л)

7. Разработка и представление проекта:

Представь материал о том, как присуждается Нобелевская Премия, как был создан Нобелевский Фонд, а также о жизни и творчестве шведского инженера и изобретателя Альфреда Нобеля.

3.2.*

Насыщенные карбонильные соединения

Насыщенные карбонильные соединения формально производятся от алканов, в которых два атома водорода замещены на атом кислорода. Общая формула карбонильных соединений $C_nH_{2n}O$.

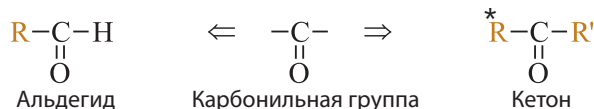
Карбонильные соединения – это класс органических соединений, содержащих карбонильную группу $>C=O$.

Определение. Классификация

Карбонильные соединения, в которых атом углерода карбонильной группы связан по крайней мере с одним атомом водорода, называются **альдегидами**.

Карбонильные соединения, в которых атом углерода карбонильной группы связан с двумя органическими радикалами, называются ***кетонами**.

Карбонильная группа определяет существование двух рядов карбонильных соединений – альдегидов и *кетонов:



$R = H$, алкил или арил; R и $R' =$ алкил или арил.

Альдегиды и кетоны – это два класса соединений, проявляющих сходные химические свойства, обусловленные присутствием одной и той же функциональной группы.

3.2.1.

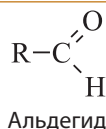
Насыщенные
монокарбонильные альдегиды**Номенклатура и изомерия**

Насыщенные альдегиды содержат в молекуле функциональную группу $-CH=O$, связанную с одним алкильным радикалом, за исключением первого представителя этого ряда.

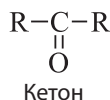
Насыщенные монокарбонильные альдегиды образуют гомологический ряд с общей формулой $C_nH_{2n+1}CHO$.

Первый представитель гомологического ряда альдегидов содержит один атом углерода ($H-CH=O$). Это единственный альдегид, в котором карбонильная группа связана с двумя атомами водорода. Остальные члены гомологического ряда альдегидов имеют общую формулу $R-CHO$. Отдельные члены ряда отличаются на одну (или несколько) группу $-CH_2-$, называемую гомологической разностью (таблица 3.6).

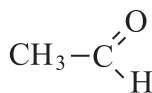
Систематическое название альдегида или *кетона образуется из названия алкана, соответствующего главной цепи карбонильного соединения, добавлением окончания *-аль* (для альдегида) и *-он* (для кетона).



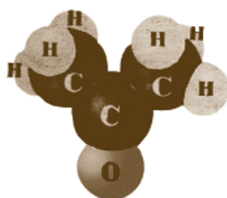
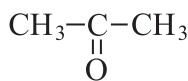
Альдегид



Кетон



Этаналь



Пропан-2-он

Масштабные модели
молекул карбонильных
соединений

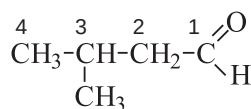
Несистематические названия альдегидов производятся от названий кислот, которые получаются при их окислении (муравьиная кислота → муравьиный альдегид, уксусная кислота → ацетальдегид).

Радикально-функциональные названия кетонов образуются из названий радикалов, связанных с карбонильной группой, с добавлением окончания «кетон» ($\text{CH}_3\text{-CO-CH}_3$ – диметилкетон, $\text{C}_2\text{H}_5\text{-CO-C}_2\text{H}_5$ – диэтилкетон). В случае разных радикалов, их называют в алфавитном порядке ($\text{CH}_3\text{-CO-C}_2\text{H}_5$ – метилэтилкетон, $\text{C}_2\text{H}_5\text{-CO-C}_6\text{H}_5$ – фенилэтилкетон). В таблице 3.6 приведены часто употребляемые названия некоторых альдегидов и кетонов.

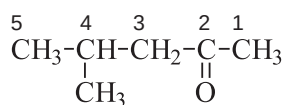
Таблица 3.6. Гомологический ряд карбонильных соединений и их названия

Номенклатура					
Альдегиды			*Кетоны		
Формула	Название		Формула	Название	
	систематическое	несистематическое		систематическое	радикально-функциональное
$\text{H}-\text{C}(=\text{O})-\text{H}$	Метаналь	Формальдегид	–		
$\text{CH}_3-\text{C}(=\text{O})-\text{H}$	Этаналь	Ацетальдегид	–		
$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{C}(=\text{O})-\text{H}$	Пропаналь	Пропионовый альдегид	$\text{CH}_3-\text{C}(=\text{O})-\text{CH}_3$	Пропан-2-он	Диметилкетон (Ацетон)
$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}(=\text{O})-\text{H}$	Бутаналь	Масляный альдегид	$\text{CH}_3-\text{C}(=\text{O})-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	Бутан-2-он	Метилэтилкетон
$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_3-\text{C}(=\text{O})-\text{H}$	Пентаналь	Валериановый альдегид	$\text{CH}_3-\text{C}(=\text{O})-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	Пентан-2-он	Метилпропилкетон
$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_4-\text{C}(=\text{O})-\text{H}$	Гексаналь	Капроновый альдегид	$\text{CH}_3-\text{C}(=\text{O})-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	Гексан-2-он	Метилбутилкетон

В альдегидах и кетонах нумерация главной цепи начинается так, чтобы атом углерода карбонильной группы получил наименьший номер. Карбонильная группа имеет приоритет перед алкильными группами:



3-Метил-бутаналь



4-Метил-пентан-2-он

Изомерия альдегидов определяется структурой углеводородного радикала, а *изомерия кетонов – также и положением карбонильной группы.

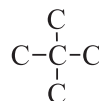
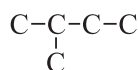
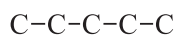
*Насыщенные альдегиды и кетоны являются функциональными изомерами с общей формулой $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}$.

Расширение

***Алгоритм написания и составления названий изомеров карбонильных соединений**

Пример: Напишем изомеры карбонильных соединений состава $C_5H_{10}O$.

Решение. Углеродный скелет из пяти атомов углерода может иметь 3 различные структуры:



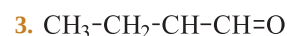
Для перехода к карбонильным соединениям, прибавим к одному из углеродных атомов атом кислорода, соединенный двойной связью.



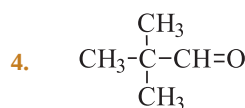
Пентаналь



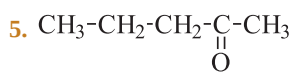
3-Метилбутаналь



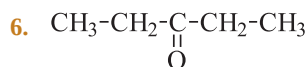
2-Метилбутаналь



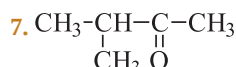
2,2-Диметилпропаналь



Пентан-2-он



Пентан-3-он



3-Метилбутан-2-он

Физические свойства

Из всех альдегидов только формальдегид при обычной температуре является газом, остальные представляют собой жидкости или твердые вещества с характерным запахом. Низшие представители хорошо растворяются в воде. По мере увеличения молекулярной массы альдегидов их растворимость в воде уменьшается. Высшие альдегиды растворяются только в органических растворителях. Температуры кипения альдегидов ниже, чем спиртов и кислот с тем же числом атомов углерода (*почему?*).

*Кетоны – жидкие или твердые вещества. Их температуры кипения выше, чем у альдегидов с тем же числом атомов углерода, и ниже, чем у соответствующих спиртов (таблица 3.7).

Таблица 3.7. Физические свойства некоторых альдегидов и кетонов

Название	Структурная формула	Геометрия молекулы	Температура кипения, °C	Плотность d , г/см ³	Растворимость в воде, г/100 г
Метаналь	$\begin{array}{c} O \\ // \\ H-C \\ \\ H \end{array}$	$=O$	- 19,2	0,815	∞
Этаналь	$CH_3-\begin{array}{c} O \\ // \\ C \\ \\ H \end{array}$	$\text{CH}_3-CH=O$	+ 20,8	0,781	∞
Пропаналь	$CH_3-CH_2-\begin{array}{c} O \\ // \\ C \\ \\ H \end{array}$	$CH_3-CH_2-CH=O$	+ 49,1	0,807	20
Бутаналь	$CH_3-CH_2-CH_2-\begin{array}{c} O \\ // \\ C \\ \\ H \end{array}$	$CH_3-CH_2-CH_2-CH=O$	+ 75,0	0,817	15
*Пропан-2-он	$CH_3-\underset{\substack{ \\ O}}{C}-CH_3$	$\text{CH}_3-C(=O)-CH_3$	+ 56,0	0,781	∞

3.2.2.

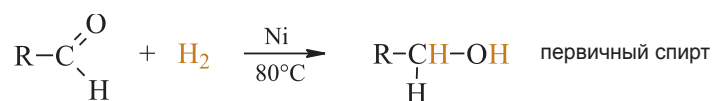
Химические свойства и методы получения насыщенных карбонильных соединений**Химические свойства**

Карбонильные соединения обладают высокой реакционной способностью. Альдегиды и кетоны, имея одну и ту же функциональную группу, вступают в одни и те же реакции. В то же время, для них характерны и специфические реакции, что позволяет их идентифицировать и разделять.

А. Реакции присоединения.

В реакциях присоединения альдегиды более активны, чем кетоны.

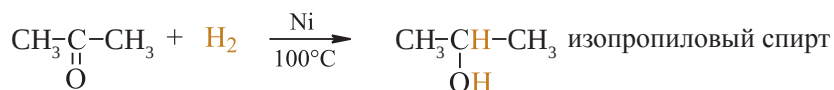
Присоединение водорода (гидрирование или восстановление) к двойной связи карбонильной группы альдегидов в присутствии металлических катализаторов (Ni, Pt и др.) превращает их в первичные спирты:



*Кетоны при восстановлении образуют вторичные спирты:



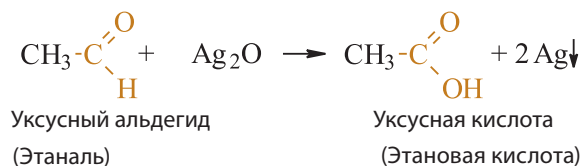
Ацетон (пропанон) в присутствии Ni и нагревании присоединяет водород. При этом образуется изопропиловый спирт (пропан-2-ол):

**Б. Реакции окисления.**

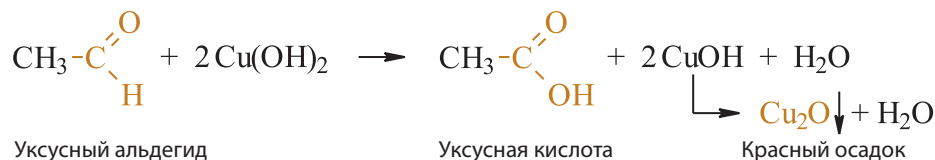
Реакции окисления альдегидов и кетонов протекают по-разному и могут быть использованы для их идентификации.

Окисление альдегидов. Альдегиды, в отличие от кетонов, легко окисляются даже слабыми окислителями, такими, как аммиачный раствор оксида серебра (реактив Толленса).

Если к реактиву Толленса добавить альдегид и смесь подогреть, то на стенках сосуда осаждается блестящий слой металлического серебра. Альдегид при этом окисляется до кислоты (реакция «серебряного зеркала»):



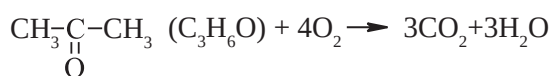
Альдегиды легко окисляются также гидроксидом меди (II) (осадок светло-синего цвета). В ходе реакции $\text{Cu}(\text{OH})_2$ восстанавливается до CuOH (осадок желтого цвета), который при нагревании переходит в оксид меди (I) (осадок кирпично-красного цвета):



Эти реакции применяются для идентификации альдегидной группы ($-\text{CH}=\text{O}$). В этих условиях кетоны не окисляются, другими словами – они не дают вышеописанные реакции.

Альдегиды и кетоны горят с выделением CO_2 и воды.

Ацетон легко воспламеняется и горит коптящим пламенем:



ЛАБОРАТОРНЫЙ ОПЫТ

Идентификация альдегидов

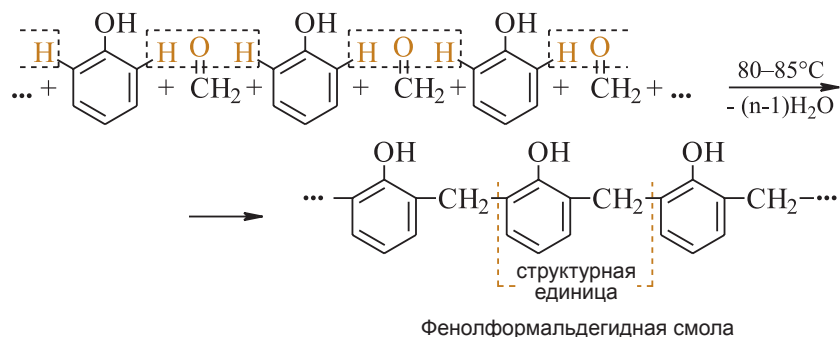
- А) 1. **Налей** в чистую пробирку 5 мл 2% водного раствора нитрата серебра, затем закапайте 5% водный раствор гидроксида натрия.
2. **Добавь** по каплям 2% водный раствор аммиака до растворения осадка Ag_2O , получая реактив Толленса.
3. **Налей** 2 мл раствора формальдегида (40%) в реактив Толленса и нагрей содержимое пробирки на водяной бане при $50-60^\circ\text{C}$. Что ты заметил?
- Б) 1. **Налей** в пробирку 1 мл 2% раствора CuSO_4 , затем 2 мл 10% раствора NaOH .
2. **Добавь** к осадку несколько капель раствора уксусного альдегида или формальдегида (40%) $\text{Cu}(\text{OH})_2$ и осторожно нагрей содержимое пробирки почти до кипения.
3. **Обрати** внимание на образование красноватого металлического медного зеркала на стенках пробирки.
4. **Напиши** уравнения реакций в опытах А и Б, укажи окислитель и восстановитель.

Расширение

В. Реакция фенола с формальдегидом применяется в промышленности, т.к. лежит в основе получения продуктов конденсации, названных бакелитами (по имени ученого Бакеланда, 1907) или фенопластами.

Фенопласты – это фенолформальдегидные смолы, получаемые по реакции формальдегида ($\text{CH}_2=\text{O}$) с веществами, содержащими подвижный водород, например фенол (поскольку в его молекуле три таких атома в 2, 4, 6 местах бензольного кольца). Механизм образования фенолформальдегидных смол весьма сложен.

Схематически можно представить его следующим образом:



Так образуется макромолекула с молекулярной массой около 1500–2000. Это линейный полимер. При его специальной переработке, т.е. нагревании в присутствии избытка формальдегида, образуется полимер с трехмерной структурой. Таким образом получается неплавкий термореактивный полимер (при нагревании он разлагается не плавясь).

Применение пластмасс из фенолформальдегидных смол

Изделия, получаемые на основе фенолформальдегидных смол, характеризуются механической прочностью, термической стабильностью, устойчивостью к действию химических реагентов и хорошими диэлектрическими свойствами.

Из пластической массы, где в качестве наполнителя используется древесная мука, в большом ассортименте производятся электротехнические изделия, а также изделия для домашнего обихода. Если в качестве наполнителя используется хлопчатобумажная ткань, получается пластмасса, называемая текстолит. В производстве машин широко используются материалы из фенолформальдегидных смол со структурой, похожей на деревянное изделие, эти же материалы применяются для производства мебели.

Таким образом, пластические массы, известные под названиями *бакелит*, *текстолит*, *фенелит*, широко применяются в различных областях: розетки, электросчетчики, выключатели, кожухи для электродвигателей; аксессуары для костюмов, сувениры; дешевые настольные игры: шашки, домино, шахматы и т. д.



ЛАБОРАТОРНЫЙ ОПЫТ

Исследование образцов материалов на основе фенолформальдегидных смол

Внешний осмотр образцов (кусочек предмета, изготовленного из фенолформальдегидной смолы), обрати внимание на цвет и прочность: оттенок от кофейного до черного, повышенная твердость.

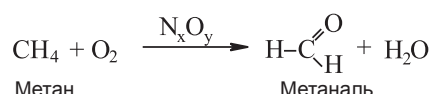
1. **Исследуй** поведение фенолформальдегидной смолы к нагреванию, удерживая ее щипцами в горизонтальном положении в пламени спиртовки и заметь, что она стабильна при нагревании.
2. **Установи**, что при более сильном нагревании пластмасса разлагается.
3. **Обрати внимание**, что при нагревании пластмасса разлагается не плавясь и при этом распространяется запах фенола.
4. **Убери** щипцы с пластмассой из пламени спиртовки и сделай вывод о ее горючести.
5. **Сделай** выводы и рекомендации по применению исследованных пластмасс.

Методы получения альдегидов и кетонов

В темах, рассмотренных ранее, ты познакомился с некоторыми реакциями, которые могут восприниматься как методы получения альдегидов и *кетонов. Карбонильные соединения получают многими методами. Однако наиболее часто используется окисление и дегидрирование спиртов, а также гидратация алкенов.

А. Методы окисления (действие окислителей)

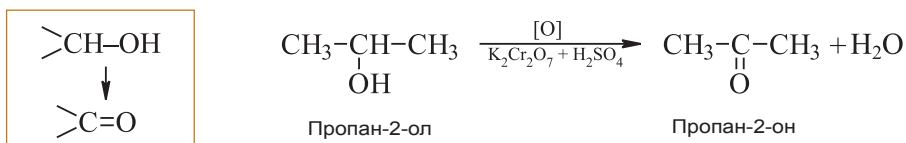
1. *Окисление метана является важным методом получения метанала (формальдегида). Реакция протекает в присутствии оксидов азота:



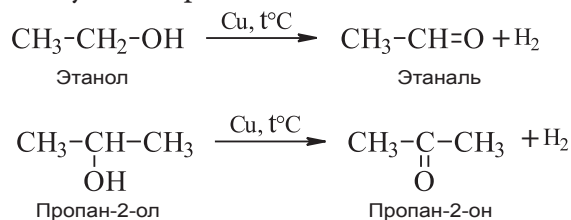
2. Окисление первичных спиртов окислителями средней силы. Такой метод позволяет получать альдегиды (см. тему *Спирты*):



*Окисление вторичных спиртов происходит труднее. Они окисляются более сильными окислителями ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{SO}_4$). В результате реакции образуются кетоны:



3. *Дегидрирование спиртов в присутствии металлической меди также позволяет получать карбонильные соединения:



Этот метод получения карбонильных соединений широко применяется в промышленности.

Задание 3.8. * Напиши уравнения реакций окисления и дегидрирования бутан-2-ола. Назови продукты реакции.

Б. Гидролитические методы

4. Гидратация алкинов широко применяется в промышленности для получения ацетальдегида и *кетонов (см. тему *Алкины*, стр. 97).

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Дай определение понятиям:

- а) гидрирование;
б) гидратация.

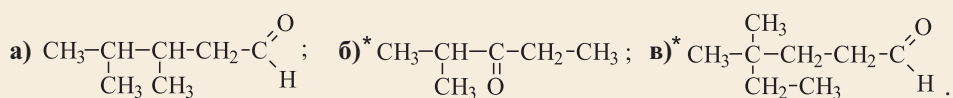
2. Объясни:

- а) почему альдегиды, в сравнении со спиртами с тем же числом атомов углерода, кипят при более низких температурах;
б) *почему карбонильные соединения обладают высокой химической активностью;
в) *что общего у двойных связей $C=C$ и $C=O$ и чем они отличаются;
г) окисление и восстановление альдегидов и *кетонов;
д) как можно распознать вещества, находящиеся в трех пробирках:
1) этаналь; 2) этанол; 3) этан-1,2-диол.

3. Выбери правильный ответ:

- А. *Альдегиды образуются при окислении спиртов: а) первичных; б) вторичных.
Б) Метаналь – это газ, который в воде: а) растворяется; б) не растворяется.
В. Присоединение водорода к карбонильным соединениям дает: а) спирты; б) диолы.

4. Назови следующие карбонильные соединения:



5. Напиши структурные формулы соединений:

- а) пропаналь; б) 2-метилпропаналь; *в) бутан-2-он.

6. Отметь буквой И (истинно) или Л (ложно) каждое утверждение:

- а) *Пропаналь является функциональным изомером пропан-2-она.
б) *Бутаналь и бутан-2-он окисляются при действии аммиачного раствора оксида серебра.
в) *Продукты поликонденсации фенола с формальдегидом называются фторопластами.
г) Окисление альдегидов реактивом Толленса свидетельствует об их восстановительном характере.
д) Из этанала получают уксусную кислоту (окислением) и этиловый спирт (восстановлением).
е) *Ацетон в промышленности получают окислением пропан-1-ола.

И

Л

☐	☐
☐	☐
☐	☐
☐	☐
☐	☐
☐	☐

7. Напиши уравнения реакций следующих превращений:

- а) метан $\rightarrow$ метанол $\rightarrow$ метаналь;
б) метан $\rightarrow$ этин $\rightarrow$ этаналь $\rightarrow$ этанол.

3.2.3.

Практическое применение карбонильных соединений и их влияние на качество жизни



Рис. 3.9. Законсервированные анатомические препараты.



Рис. 3.10. Елочные игрушки.



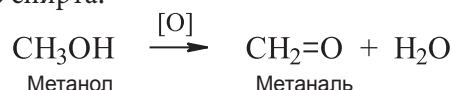
Рис. 3.11. Пластмассы (линолеум).



Рис. 3.12. Растворители.

Применение важнейших карбонильных соединений

Метаналь, или формальдегид ($\text{CH}_2=\text{O}$), может быть получен частичным окислением метана или окислением метилового спирта:



Формальдегид – газ, хорошо растворимый в воде. Его 40%-й водный раствор обычно называют **формалином** (старое название **формол**).

Формальдегид ядовит. Белки при его действии свертываются, превращаясь в роговидную массу, на этом основано применение формалина для консервации анатомических препаратов (рис. 3.9).

Формальдегид широко применяется в органическом синтезе, для получения некоторых красителей и фармацевтических препаратов, для изготовления зеркал, елочных игрушек и т. п. (рис. 3.10). Важнейшей областью применения формальдегида остается производство пластических масс (фенолформальдегидных смол) (рис. 3.11).

Этаналь, или **ацетальдегид** (CH_3-CHO), получают окислением этанола в мягких условиях.

Ацетальдегид – жидкость с характерным запахом незрелых яблок, легко растворимая в воде.

В промышленности ацетальдегид получают каталитическим присоединением воды к ацетилену (по реакции Кучерова, см. стр. 97).

Окислением из него получают уксусную кислоту. Гидрированием ацетальдегида получают этанол.

***Ацетон**, или **пропан-2-он** $\text{CH}_3-\text{CO}-\text{CH}_3$, – простейший алифатический кетон, является летучей жидкостью, смешивающейся с водой. Его применяют как растворитель для лаков, как сырье для получения хлороформа и других веществ (рис. 3.12).



ЛАБОРАТОРНЫЙ ОПЫТ

Исследование действия формальдегида на белки

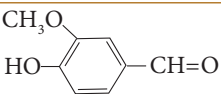
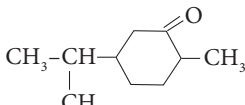
1. Налей в коническую колбу около 50 мл дистиллированной воды.
2. Старательно отдели белок яйца от желтка и прибавь его в коническую колбу.
3. Энергично помешай стеклянной палочкой.
4. Декантируй через 5 минут прозрачный раствор в химический стакан.
5. Налей в пробирку 1–2 мл этого раствора белка и прибавь по каплям раствор формалина до появления мути. Это свидетельствует о том, что произошло свертывание белка. Свертываются от формальдегида и белковые вещества бактерий, что обуславливает их гибель.

Карбонильные соединения – компоненты натуральных ароматизаторов и эссенции

Некоторые карбонильные соединения обладают запахом пищевых продуктов и активно проникают в повседневную жизнь. Природные ароматные вещества используются с древних времен чтобы придавать блюдам и напиткам приятный вкус. С развитием прогресса появилась возможность и желание не только извлекать эссенции и ароматные вещества из растений, но и получать их искусственным путем. Еще в древности египтяне использовали эссенции и ароматные вещества не только как косметические средства, но и как антисептики в медицинских целях.

Душистые вещества – это смеси природных или синтетических продуктов, растворенные в этаноле или воде: некоторые душистые вещества получают из эфирных масел. С точки зрения состава, в эфирных маслах содержатся вещества из разных классов: простые и сложные эфиры, спирты, альдегиды, кетоны и т.д. Душистые вещества не должны быть токсичными, не должны вызывать аллергии и раздражения. Благодаря своему приятному запаху, некоторые альдегиды используются в качестве эссенций: ванилин (из ванили), бензальдегид (из миндаля), коричный альдегид (из корицы). Некоторые кетоны являются природными веществами с приятными запахами: камфара (из камфорного дерева), карвон (из тмина).

В таблице ниже представлены некоторые природные и синтетические карбонильные соединения, обладающие определенным ароматом.

Карбонильные соединения	Структура	Запах
Уксусный альдегид	$\text{CH}_3\text{--CH=O}$	зеленых яблок
Бензойный альдегид	$\text{C}_6\text{H}_5\text{--CH=O}$	миндаля
Ванилин		ванильный
Коричный альдегид	$\text{C}_6\text{H}_5\text{--CH=CH--CH=O}$	корицы
Карвоментон		мяты

Ванилин – это органическое вещество, которое содержит ароматическое кольцо, альдегидную группу (--CHO), метоксигруппу (--OCH_3), гидроксильную группу (--OH). Извлекается из ванили, орхидеи, произрастающей в Мексике и на Мадагаскаре. Получается также синтетически, применяется в пищевой промышленности и в парфюмерии.

Коричный альдегид – органическое вещество, содержащий в молекуле ароматический цикл, двойную связь и альдегидную группу. Извлекается из коры коричневого дерева и обладает успокоительным действием.

Карвоментон – органическое вещество, которое содержит циклогексановое кольцо, кетонную карбонильную группу. Это масло из зеленой мяты, используется для получения жевательной резинки и зубной пасты.

3.2.4.

Расчётные задачи на вычисление по уравнениям химических реакций карбонильных соединений

I. Определение формулы карбонильного соединения по его химическим свойствам.

Задача 1

При окислении 1,8 г кислородсодержащего органического вещества действием аммиачного раствора оксида серебра было получено 5,4 г серебра. Какое вещество было подвергнуто окислению?

Дано:

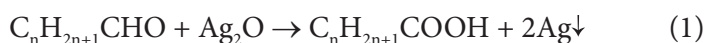
$$m(\text{в-ва}) = 1,8 \text{ г}$$

$$m(\text{Ag}) = 5,4 \text{ г}$$

Формула вещества – ?

Решение:

1. Напишем общее уравнение реакции:



2. Определим количество вещества серебра и количество ве-

$$\text{щества альдегида: } \nu(\text{Ag}) = \frac{m(\text{Ag})}{M(\text{Ag})} = \frac{5,4 \text{ г}}{108 \text{ г/моль}} = 0,05 \text{ моль};$$

$$\text{из (1): } \nu(\text{альдегида}) = \frac{1}{2} \nu(\text{Ag}) = \frac{0,05 \text{ моль}}{2} = 0,025 \text{ моль}.$$

3. Вычислим молярную массу альдегида на основании отношения:

$$\nu(\text{альдегида}) = \frac{m}{M}; \quad M = \frac{m}{\nu} = \frac{1,8 \text{ г}}{0,025 \text{ моль}} = 72 \text{ г/моль}.$$

4. Определим значение n , применяя общую формулу насыщенных альдегидов:

$$Mr(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{CHO}) = 14n + 30; \quad 14n + 30 = 72; \quad n = 3.$$

От в е т: формула вещества $\text{C}_3\text{H}_7\text{CHO}$ или $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}=\text{O}$ – бутаналь.

II. Вычисление массы продукта реакции по массе реагента.**Задача 2**

Какая масса этаналь получится при окислении 6,9 г этанола?

Дано:

$$m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 6,9 \text{ г}$$

$$m(\text{CH}_3\text{CH}=\text{O}) - ?$$

Решение:

1. Напишем общее уравнение реакции:



2. Определим количество вещества этанола и количество вещества этаналь:

$$\nu(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = \frac{m}{M} = \frac{6,9 \text{ г}}{46 \text{ г/моль}} = 0,15 \text{ моль}.$$

Из уравнения реакции следует: $\nu(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = \nu(\text{CH}_3\text{CH}=\text{O})$;

$$\nu(\text{CH}_3\text{CH}=\text{O}) = 0,15 \text{ моль}.$$

3. Определим массу этаналь:

$$m(\text{CH}_3\text{CHO}) = \nu \cdot M = 0,15 \text{ моль} \cdot 44 \text{ г/моль} = 6,6 \text{ г}.$$

От в е т: масса этаналь, полученного при окислении, равна 6,6 г.

III. Вычисления на основании химических реакций карбонильных соединений, которые используют для их идентификации.

Задача 3

При обработке 14,5 г смеси пропаналя и пропан-2-она аммиачным раствором оксида серебра (Ag_2O) выделилось 32,4 г серебра. Вычисли массовые доли изомеров в смеси.

Дано:

$$m(\text{смеси}) = 14,5 \text{ г}$$

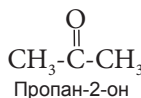
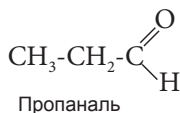
$$m(\text{Ag}) = 32,4 \text{ г}$$

$$\omega(\text{пропаналя}) - ?$$

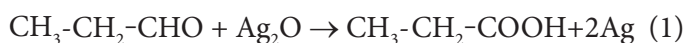
$$\omega(\text{пропан-2-она}) - ?$$

Решение:

1. Напишем формулы веществ, находящихся в смеси:



2. Напишем уравнение реакции ($\text{C Ag}_2\text{O}$ реагирует только пропаналь.):



3. Вычислим количество вещества серебра, количество вещества пропаналя, массу пропаналя и массу пропан-2-она:

$$\nu(\text{Ag}) = \frac{m(\text{Ag})}{M(\text{Ag})} = \frac{32,4 \text{ г}}{108 \text{ г/моль}} = 0,03 \text{ моль}; \quad \nu(\text{пропаналя}) = \frac{1}{2} \nu(\text{Ag}) = \frac{0,03 \text{ моль}}{2} = 0,015 \text{ моль};$$

$$m = \nu \cdot M; \quad m(\text{пропаналя}) = 0,015 \text{ моль} \cdot 58 \text{ г/моль} = 0,87 \text{ г};$$

$$m(\text{пропан-2-она}) = m(\text{смеси}) - m(\text{пропаналя}) = 14,5 \text{ г} - 0,87 \text{ г} = 13,63 \text{ г}.$$

4. Вычислим массовые доли компонентов в смеси.

$$\omega(\text{пропаналя}) = \frac{m(\text{пропаналя})}{m(\text{смеси})} \cdot 100\% = \frac{0,87 \text{ г}}{14,5 \text{ г}} \cdot 100\% = 6\%;$$

$$\omega(\text{пропан-2-она}) = \frac{m(\text{пропан-2-она})}{m(\text{смеси})} \cdot 100\% = \frac{13,63 \text{ г}}{14,5 \text{ г}} \cdot 100\% = 94\%.$$

Отв ет: массовые доли пропаналя и пропан-2-она в смеси равны 6% и 94%.

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Сколько пропилового спирта нужно окислить для получения 87 г пропаналя?
(О.: 90 г)
2. При окислении 12 г карбонильного соединения реактивом Толленса получили 58,9 г Ag. Установите молекулярную формулу карбонильного соединения.
(О.: $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$)
3. Эквимолярная смесь метанала и этанала прореагировала с 69,6 г оксида серебра (аммиачный раствор). Определи массовую долю метанала в смеси.
(О.: 40,54%; $\text{CH}_2 = \text{O}$)
4. Определи молекулярную массу и напиши возможные структурные формулы окисленного соединения, если известно, что при взаимодействии 7,4 г этого вещества с 7,4 г металлическим натрием выделяется 1,12 л водорода (н.у.), а при окислении его с помощью CuO образуется вещество, которое дает реакцию «серебряного зеркала».
(О.: $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$; 74 г/моль)
5. Вычисли объём метанала (н. у.), который получится при окислении 16,16 см³ метанола ($d = 0,792 \text{ г/см}^3$).
(О.: 8,96 л)

3.2.5.

Генетическая связь между алканами, алкинами, спиртами и карбонильными соединениями

Генетическая связь между алканами, алкинами, спиртами и карбонильными соединениями представлена на схеме 3.10.

Схема 3.10. Генетическая связь между алканами, алкинами, спиртами и карбонильными соединениями



Задание 3.9. Перепиши в тетрадь и заполни клетки в схеме 3.10 соответствующими общими формулами, затем – примерами конкретных формул. Над стрелками между клетками отметь реагент и условия при которых происходит превращение.

Упражнения и задачи на основе схемы 3.10.

1. Напиши уравнения реакций, в результате которых могут быть реализованы следующие превращения:

- метан → этин → этаналь → этанол → этаналь;
- хлорметан → метанол → метаналь → метанол;
- этан → хлорэтан → этен → этанол → этаналь;
- пропен → пропан-2-ол → пропан-2-он → $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$;
- $\text{CH}_4 \rightarrow \text{CH}_2=\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{OH} \rightarrow \text{CH}_3\text{Cl} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_6 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} \rightarrow \text{CH}_3\text{CHO}$;
- $\text{CH}_4 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{CHO} \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} \rightarrow \text{CH}_3\text{CHO}$.

2. Напиши структурную формулу вещества, имеющего состав $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$, если известно что он присоединяет водород в присутствии катализатора, а при нагревании со свежеприготовленным гидроксидом меди (II) образуется красно-кирпичный осадок. Назови вещество. Напиши уравнения соответствующих реакций.

3. Напиши уравнения реакций получения пропанона из пропаналя, используя на первой стадии неорганические реагенты.

4. Предложи способ идентификации следующих веществ:

- этин;
- этен;
- этаналь;
- этанол.

Напиши уравнения соответствующих реакций.

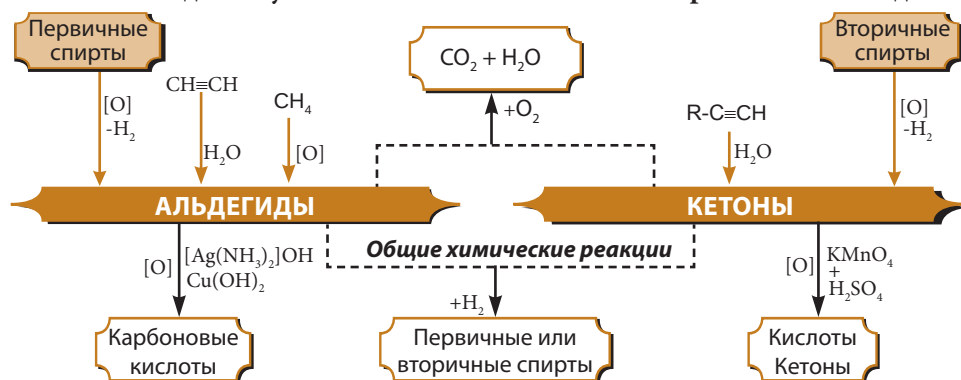
5. Вычисли массу продукта, образовавшегося после окисления 6 г пропан-2-ола избытком оксида меди (II).

(О.: 5,8 г)

ПОВТОРИ И ЗАКРЕПИ СВОИ ЗНАНИЯ : КАРБОНИЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

- ♦ **Карбонильные соединения** – это органические вещества, содержащие в молекуле одну или больше двухвалентных карбонильных ($>\text{C}=\text{O}$) функциональных групп.
 - ♦ **Классификация:** альдегиды и кетоны.
 - ♦ **Альдегиды:** карбонильные соединения, у которых карбонильная группа соединена с одним углеводородным радикалом (R или Ar) и одним атомом водорода (исключая метаналь).
- Общая формула: $\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{H}$ или $\text{Ar}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{H}$
- ♦ ***Кетоны:** карбонильные соединения, у которых карбонильная группа связана с двумя радикалами R или Ar. Их общая формула: $\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{R}$ или $\text{Ar}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{Ar}$
 - ♦ **Номенклатура.** Систематическое название альдегида образуется из названия углеводорода, с тем же числом атомов углерода и окончанием *-аль*, для *кетонов – окончание *-он*. Обычные названия: муравьиный альдегид, уксусный альдегид и др.
 - ♦ **Альдегиды и кетоны** являются функциональными изомерами с общей формулой $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}$.
 - ♦ **Физические свойства.** Только первый член (муравьиный альдегид) является газом, все другие карбонильные соединения – жидкости или твердые (таблица 3.7).
 - ♦ **Химические свойства.** Альдегиды очень легко окисляются. *Кетоны окисляются в более жестких условиях, более сильными окислителями ($\text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$).
 - ♦ **Методы получения и химические свойства** карбонильных соединений представлены в схеме 3.11.

Схема 3.11. Методы получения и химические свойства карбонильных соединений



- ♦ **Реакции для идентификации альдегидов:**
 - реакция «серебряного зеркала», которая происходит при нагревании с реактивом Толленса;
 - образование красного осадка (Cu_2O), который образуется при нагревании с $\text{Cu}(\text{OH})_2$.
- ♦ **Применение** карбонильных соединений: формальдегид применяется для консервирования анатомических препаратов. Самое важное применение формальдегида – получение фенолформальдегидных смол, из которых производятся различные полимерные материалы. Ацетальдегид применяется в промышленности для производства уксусной кислоты и этанола. Ацетон широко используется в производстве лаков и красок.

3.2.6.

ЗАВЕРШАЮЩАЯ ОЦЕНКА ЗНАНИЙ

- Дай определение понятиям:
 - карбонильные соединения;
 - функциональная альдегидная группа и функциональная кетонная группа.
- Объясни:
 - почему для альдегидов и кетонов характерны многие общие реакции;
 - алгоритм составления названий карбонильных соединений, используя таблицу 3.6;
 - типы изомерии, характерные для альдегидов и кетонов;
 - понятие «функциональная изомерия» на конкретных примерах.
- Для карбонильных соединений с молекулярной формулой C_4H_8O требуется:
 - написать и назвать все возможные изомеры;
 - уточнить класс веществ, к которым относятся эти изомеры;
 - написать уравнения реакции присоединения водорода к пропан-2-ону и назвать полученный продукт.
- *. Выбери молекулярные формулы, которые соответствуют насыщенным карбонильным соединениям:
 - $C_4H_{10}O$;
 - $C_7H_{14}O$;
 - C_3H_6O ;
 - $C_6H_{12}O$.
- Ответь И (истинно) или ложно (Л) на следующие утверждения:

	И	Л
а) Связь >C=O в карбонильных соединениях полярна.	☐	☐
б) Изомерия кетонов также определяется положением карбонильной группой.	☐	☐
в) При полном окислении (горении) метана образуется метаналь.	☐	☐
г) Этаналь образуется при гидратации пропена.	☐	☐
д) При гидратации этена образуется этаналь.	☐	☐
- Напиши уравнения реакций, по которым можно осуществить следующие превращения:
 - $C \rightarrow CH_4 \rightarrow CH_3Cl \rightarrow CH_3OH \rightarrow HCHO \rightarrow CO_2$
 - $C \rightarrow CaC_2 \rightarrow H-C \equiv C-H \rightarrow CH_3-CHO \rightarrow CO_2$
 - *в) $CH_3-CH=CH_2 \rightarrow CH_3-\underset{\text{Cl}}{\underset{|}{CH}}-CH_3 \rightarrow CH_3-\underset{\text{OH}}{\underset{|}{CH}}-CH_3 \rightarrow CH_3-\overset{\text{O}}{\underset{||}{C}}-CH_3 \rightarrow CO_2$
- Реши:

Сколько граммов этанала образуется при гидратации 4,48 л этина? (О.: 8,8 g)
- Разработка и представление проекта:

Составь реферат на тему: «Натуральные ароматизаторы эссенций и душистых веществ».

Подчеркни роль карбонильных соединений. Для документации используй сайты: -www.aromaweb.com; -www.concept_arome.com

3.3.*

Карбоновые кислоты

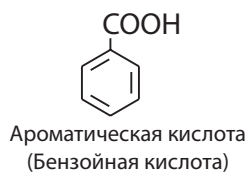
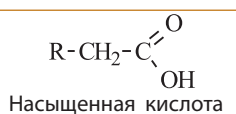


Рис. 3.13.
Классификация кислот.

Определение. Классификация

Производные углеводов, содержащие одну или большее число карбоксильных групп ($-\text{COOH}$), называются **карбоновыми кислотами**.

Карбоновые кислоты имеют общую формулу:



По природе углеводородного радикала (R-) кислоты разделяют на: *насыщенные*, *ненасыщенные* и *ароматические* (рис. 3.13). В зависимости от числа карбоксильных групп (COOH) различают моно- и поликарбоновые кислоты.

3.3.1. Монокарбоновые насыщенные кислоты

Монокарбоновыми насыщенными кислотами называются вещества, содержащие одну функциональную группу $-\text{COOH}$, связанную с насыщенным углеводородным радикалом, за исключением первого представителя ряда.

Монокарбоновые насыщенные кислоты образуют гомологический ряд с общей формулой: $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{COOH}$ или $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_2$.

Гомологический ряд монокарбоновых насыщенных кислот начинается с кислоты, содержащей один атом углерода, все остальные отличаются на группу $-\text{CH}_2-$ или на группу кратную ей. В таблице 3.8 представлены часто встречающиеся монокарбоновые насыщенные кислоты.

Номенклатура и изомерия

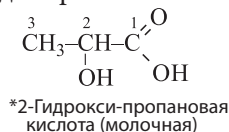
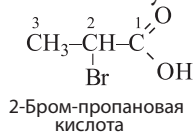
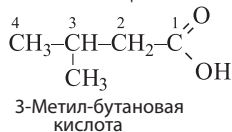
Систематическое название монокарбоновой кислоты образуется добавлением окончания *-овая* и слова *кислота* к названию нормального (неразветвленного) углеводорода с такой же главной цепью, как у кислоты (рис. 3.14).

В практике употребляются и *несистематические* (тривиальные) названия, которые часто отражают название источника,

из которого была выделена кислота (таблица 3.8). Монокарбоновые насыщенные кислоты с нормальной цепью, начиная от C_4 и выше, и имеющие четное число атомов углерода, называются *жирными кислотами*, поскольку они входят в состав жиров.

В кислотах с разветвленными цепями, а также в кислотах, содержащих заместители, нумерация главной цепи начинается с атома углерода карбоксильной группы:

Примеры:



Знаешь ли ты, что...

Пищевые продукты содержат различные органические кислоты. Например, виноград содержит винную кислоту, лимоны – лимонную, кислое молоко – молочную кислоту, щавель – щавелевую кислоту, незрелые яблоки – яблочную кислоту.

Изомерия монокарбоновых насыщенных кислот определяется строением углеродного скелета. Карбоновые кислоты являются функциональными изомерами сложных эфиров.

Таблица 3.8. Некоторые монокарбоновые насыщенные кислоты

Формула	Номенклатура		Температура, °C		Растворимость в воде, г/100 г
	Систематическое название	Несистематическое название	плавления	кипения	
H-COOH	Метановая кислота	Муравьиная кислота	8,6	101	∞
CH ₃ -COOH	Этановая кислота	Уксусная кислота	16,6	118	∞
CH ₃ -CH ₂ -COOH	Пропановая кислота	Пропионовая кислота	- 22,0	141	∞
CH ₃ -(CH ₂) ₂ -COOH	Бутановая кислота	Масляная кислота	- 4,0	164	∞
CH ₃ -(CH ₂) ₃ -COOH	Пентановая кислота	Валериановая кислота	- 35,0	186	Нерастворима
CH ₃ -(CH ₂) ₄ -COOH	Гексановая кислота	Капроновая кислота	- 2,0	205	Нерастворима
CH ₃ -(CH ₂) ₁₄ -COOH	Гексадекановая кислота	Пальмитиновая кислота	64,0	390 (разл.)	Нерастворима
CH ₃ -(CH ₂) ₁₆ -COOH	Октадекановая кислота	Стеариновая кислота	69,4	360	Нерастворима

Задание 3.10. Напиши структурные формулы и назови изомеры кислот состава C₅H₁₀O₂.

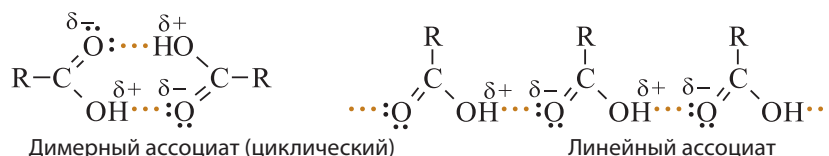
Физические свойства

Низшие насыщенные одноосновные карбоновые кислоты являются бесцветными жидкостями. Кислоты, начиная с декановой – твердые вещества.

Задание 3.11. Проанализируй таблицу 3.8 и сделай выводы о том, как изменяются свойства насыщенных одноосновных карбоновых кислот при увеличении числа атомов углерода в их молекулах.

Измерения молекулярных масс кислот при комнатной температуре показывают удвоенные значения. Только при высоких температурах молекулярная масса соответствует формуле R-COOH.

Это объясняется тем, что карбоновые кислоты, имея группу -OH, подобно воде и спиртам, в жидком состоянии образуют ассоциаты за счет водородных связей. Ассоциаты могут быть циклическими (димеры) или линейными:



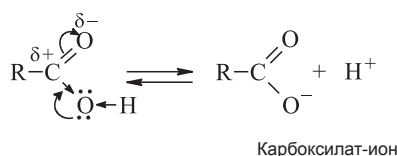
Кислоты, по сравнению со спиртами, образуют более прочные водородные связи. Образованием молекулярных ассоциатов объясняются аномально высокие температуры кипения карбоновых кислот и некоторые другие их свойства.

3.3.2.

Химические свойства насыщенных
монокарбоновых кислот

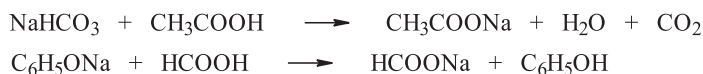
Наиболее характерным свойством органических кислот является кислотность карбоксильной группы. Как ты уже знаешь, карбоксильная группа $-\text{COOH}$ образована карбонильной группой ($\text{C}=\text{O}$) и гидроксигруппой ($-\text{OH}$), взаимно влияющими одна на другую.

Строение карбоксильной группы. Диссоциация. В неионизированной карбоновой кислоте атом кислорода группы $\text{C}=\text{O}$ притягивает электронную плотность, создавая дефицит электронов на атоме углерода (δ^+), который, в свою очередь, притягивает электроны от атома кислорода гидроксигруппы. Это приводит к ослаблению связи $\text{O}-\text{H}$, что облегчает отрыв протона (диссоциацию карбоновых кислот):

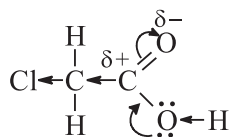


Карбоновые кислоты слабее минеральных. Равновесие их диссоциации в значительной мере смещено влево. Органические кислоты меняют цвет индикаторов (метилоранжа, лакмуса). Сила карбоновых кислот убывает с ростом углеродной цепи. В гомологическом ряду насыщенных кислот самой сильной является муравьиная. Она сильнее угольной кислоты и фенола.

Задание 3.12. Объясни, почему возможны следующие реакции:

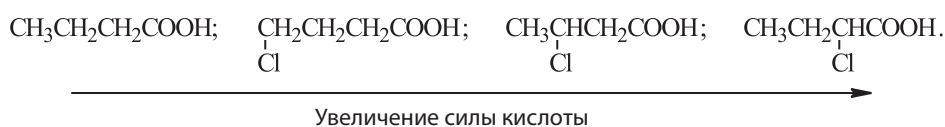


Замещение атома водорода метильной группы в уксусной кислоте на атом галогена сильно влияет на силу кислоты. Галоген притягивает электроны ковалентной связи, увеличивая силу кислоты. Например, хлоруксусная кислота в 80 раз сильнее уксусной:



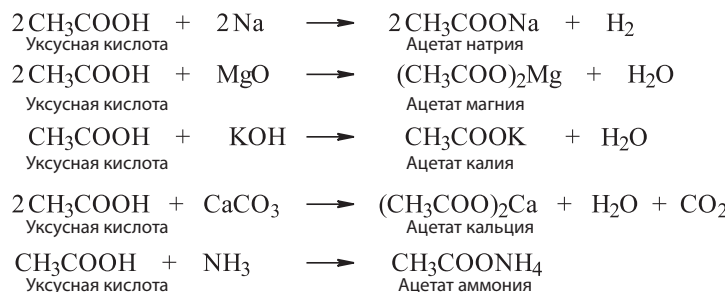
Влияние атома хлора передается по цепи на расстояние до трех атомов углерода.

Задание 3.13. Принимая во внимание положение галогена в цепи, объясни направление увеличения силы следующих кислот:



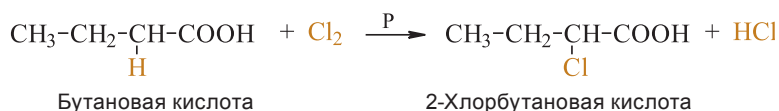
Большинство реакций карбоновых кислот идут с участием группы $-\text{COOH}$:

1. Образование солей является характерным свойством карбоновых кислот:



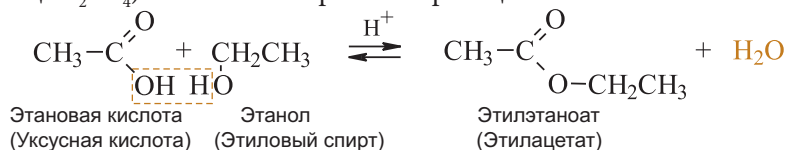
Соли уксусной кислоты (ацетаты) растворимы в воде. Соли карбоновых кислот тяжелых металлов (Pb, Hg) в воде не растворяются.

2. Галогенирование монокарбоновых кислот происходит при действии хлора в присутствии фосфора, при этом с высокими выходами образуются хлоркарбоновые кислоты:



Эта реакция имеет особое значение: она лежит в основе одного из методов получения аминокислот.

3. Этерификация – это взаимодействие карбоновых кислот со спиртами с образованием сложных эфиров. Сложные эфиры являются производными карбоновых кислот. Этерификация происходит при нагревании в присутствии катализатора (конц. H_2SO_4) и является обратимой реакцией.



Задание 3.14. Напиши уравнение реакции этерификации уксусной кислоты пропан-2-олом.

Сложные эфиры являются функциональными производными карбоновых кислот, т. к. при гидролизе превращаются в исходные кислоты.



ЛАБОРАТОРНЫЙ ОПЫТ

Удаление накипи и ржавчины карбоновыми кислотами

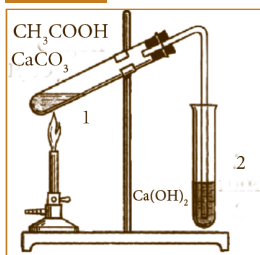


Рис. 3.15. Реакция уксусной кислоты с известняком.

1. Внеси в пробирку (1) немного карбоната кальция (меловой пыли, известкового камня, кусочек мрамора).
2. Налей в пробирку (1) 5 мл 10%-го водного раствора уксусной кислоты и сразу закрой пробирку пробкой с газоотводной трубкой.
3. Введи свободный конец трубки в пробирку (2) с прозрачным раствором известковой воды $\text{Ca}(\text{OH})_2$ или баритовой воды $\text{Ba}(\text{OH})_2$ (рис. 3.15).
4. Обрати внимание, что в обеих пробирках произошла химическая реакция: в пробирке (1) выделяется газ, который барботируется в раствор пробирки (2), образуя белый осадок.

5. Напиши уравнения химических реакций, которые имели место.
6. Повтори эксперимент, описанный выше, заменив уксусную кислоту на кислый сок из смородины или из яблок, отвар шиповника, рассол квашенной капусты или соленых помидор. Заметь, что все эти реакции имеют сходство.
7. Внеси в пробирку ржавый гвоздь и облей его раствором лимонной кислоты или рассолом после консервирования овощей.
8. Осмотри гвоздь, который был ржавый. Объясни это явление и его применение в повседневной жизни.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Дай определение понятиям:
 - а) карбоновые кислоты;
 - б) монокарбоновые кислоты;
 - в) насыщенные карбоновые кислоты.
2. Объясни:
 - а) гомологический ряд насыщенных монокарбоновых кислот и их общую формулу;
 - б) правила систематической номенклатуры насыщенных монокарбоновых кислот;
 - в) тривиальные названия первых 6 гомологов этих кислот;
 - г) типы изомерии, характерные для соединений этого класса;
3. Назови вещества со следующими структурными формулами. Отдельно напиши названия: а) гомологов; б) изомеров.

а) $\text{CH}_2\text{--CH}_2\text{--CH}_2\text{--COOH};$ $\begin{array}{c} \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	г) $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH--C} \\ \quad \diagup \quad \diagdown \\ \text{CH}_3 \quad \text{O} \quad \text{OH} \end{array}$
б) $\text{CH}_3\text{--CH}_2\text{--COOH};$	д) $\text{CH}_3\text{--CH}_2\text{--CH}_2\text{--COOH};$
в) $\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{--CH--CH}_2\text{--COOH}; \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	е) $\text{CH}_3\text{--(CH}_2\text{)}_3\text{--COOH}.$
4. Представь структурные формулы и назови изомеры кислот с пятью атомами углерода в основной цепи, имеющих состав $\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}_2$.
5. Напиши уравнения реакций следующих превращений:
 - а) $\text{C} \rightarrow \text{CaC}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{CH=O} \rightarrow \text{CH}_3\text{--COOH};$
 - б) $\text{C} \rightarrow \text{CH}_4 \rightarrow \text{CH}_3\text{Cl} \rightarrow \text{CH}_2\text{Cl}_2 \rightarrow \text{CH}_2=\text{O} \rightarrow \text{HCOOH}.$
6. Приведи два метода получения этановой кислоты из метана.
7. Вычисли объем CO_2 (н.у.) который образуется при взаимодействии 240 мл 7%-го раствора уксуса ($\rho = 1,07 \text{ г/см}^3$) с 16,8 г пищевой соды (NaHCO_3). Какое из этих веществ в избытке? (О.: $V = 4,48 \text{ л CO}_2$; избыток CH_3COOH)

Творческое задание

Напиши уравнения реакций, показывающих, что данные вещества проявляют кислотные свойства:

- | | | | |
|----------------------------|---|-------------------------------------|---------------------------------------|
| а) $\text{CH}_3\text{OH};$ | б) $\text{HO--CH}_2\text{--CH}_2\text{--OH};$ | в) $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH};$ | г) $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH};$ |
| д) $\text{HCl};$ | е) $\text{H}_2\text{CO}_3;$ | ж) $\text{HC}\equiv\text{CH};$ | з) $\text{HCOOH}.$ |

Расположи соединения а-з в порядке возрастания кислотности.

3.3.3.

Методы получения насыщенных монокарбоновых кислот и их применение

В природе существует большое количество насыщенных монокрбоновых кислот. Они являются конечными продуктами многих реакций окисления. Это означает, что они обладают высокой устойчивостью.

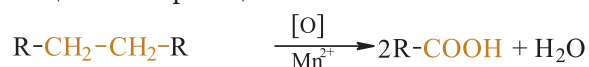
Изучая другие классы органических соединений, ты встречался со многими реакциями окисления, продуктами которых были кислоты.

Задание 3.15. Напиши уравнения реакций энергичного окисления следующих соединений: а) толуол; б) этанол; в) этаналь. К каким классам соединений относятся эти вещества? Назови продукты окисления.

Наиболее важные методы получения монокрбоновых насыщенных кислот – это методы окисления и гидролиза.

Окисление проводят действием таких реагентов, как перманганат калия в кислой среде, воздух в присутствии катализаторов, реактив Толленса и др.

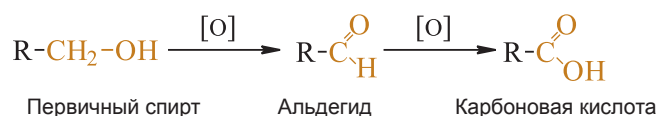
1. Метод окисления алканов играет особую роль в химической промышленности. С его помощью из высших алканов нефти получают карбоновые кислоты линейного строения. Окисление проводят продуванием воздуха через парафин, нагретый до 200°C и содержащий катализатор – соли Mn^{2+} . При этом связи C–C в симметричных алканах разрываются и получают кислоты с меньшим числом атомов углерода. Общая схема реакции:



Задание 3.16. Напиши уравнение реакции окисления алкана, содержащего 4 атома углерода. Назови продукт реакции.

2. Окисление ароматических углеводородов с боковой цепью (гомологов бензола). Окисляют перманганатом калия при нагревании или воздухом в присутствии катализаторов. При этом образуется бензойная кислота (см. *Арены*).

3. Окисление первичных спиртов приводит к альдегидам, которые далее легко окисляются до карбоновых кислот:

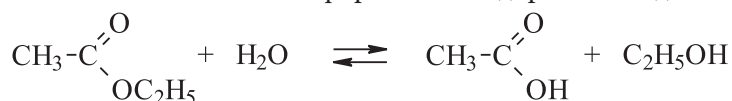


Окисление обычно проводят подкисленными растворами $KMnO_4$ или $K_2Cr_2O_7$.
Задание 3.17. Дай систематические названия веществам из этой схемы, для которых $R = C_2H_5$.

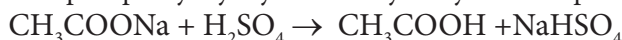
Творческая задача

Врачи рекомендуют: после употребления ягод или кислых фруктов полоскать рот слабым раствором бикарбоната натрия ($NaHCO_3$). Почему? Какие химические реакции имеют место до полоскания и во время полоскания?

4. Для получения кислот можно использовать **гидролиз (омыление) сложных эфиров**. Как правило, гидролизу подвергают сложные эфиры природного происхождения (синтетические сложные эфиры обычно дороже исходных кислот):



Этот метод применяется в промышленности для получения жирных кислот из растительных и животных жиров, в которых они находятся в виде сложных эфиров с глицерином. В лаборатории уксусную кислоту получают по реакции:



Важнейшие представители насыщенных монокарбоновых кислот.

Их применение

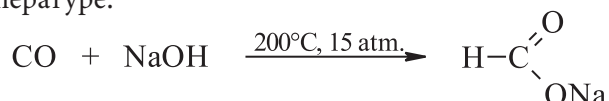


Рис. 3.16. Иголки сосны.

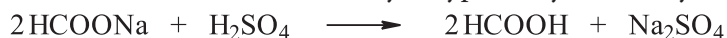


Рис. 3.17. Красные муравьи.

Муравьиная (метановая) кислота $\text{H}-\text{COOH}$ встречается в природе в зеленых сосновых иголках (рис. 3.16), в листьях крапивы, в выделениях муравьев. Название кислоты происходит от латинского *formica* – муравей (рис. 3.17). В промышленности ее получают методом, открытым в 1855 г. Марселем Бертелло (М. Berthelot) реакцией оксида углерода (II) с гидроксидом натрия при высоких давлениях и температуре:



Полученный формиат натрия обрабатывают серной кислотой и выделяют свободную муравьиную кислоту:

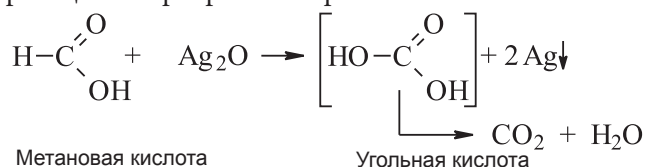


Муравьиная кислота обладает всеми характерными свойствами карбоновых кислот. В отличие от других представителей гомологического ряда, она проявляет ряд специфических свойств, обусловленных непосредственной связью карбонильной группы с атомом водорода.

Муравьиную кислоту можно считать гидроксильдегидом:



Подобно альдегидам, муравьиная кислота окисляется. Так, с реактивом Толленса она дает реакцию «серебряного зеркала»:



Эта реакция применяется для идентификации муравьиной кислоты.

Задание 3.18. Укажи, как можно отличить муравьиную кислоту от уксусной.



Рис. 3.18.
Пчеловодство.



Рис. 3.19. Столовый УКСУС.



Рис. 3.20.
Консервированные
продукты.

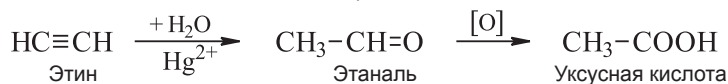


Рис. 3.21.
Стеариновые свечи.

Муравьиная кислота применяется в текстильной промышленности при крашении и отделке тканей, в медицине, в пчеловодстве (для лечения болезней пчел, *рис. 3.18*), в табачном производстве и др.

Уксусная (этановая) кислота CH_3COOH – первая органическая кислота, известная людям с древних времен в виде разбавленных растворов, называемых уксусом. Чистая уксусная кислота кристаллизуется при $16,6^\circ\text{C}$.

Важным методом синтеза уксусной кислоты является окисление ацетальдегида, получаемого, в свою очередь, при соединении воды к ацетилену:



Синтетическая уксусная кислота (99%-ная) на холоду кристаллизуется, образуя кристаллы, похожие на лед. Кислота, образующаяся при плавлении этих кристаллов, называется ледяной уксусной кислотой. В таком виде ее используют как сырье для производства многих сложных эфиров, некоторых красителей, лекарств (аспирин), синтетических волокон (ацетатное волокно) и др.

Уксусную кислоту применяют как приправу (уксус) для консервирования пищевых продуктов и для приготовления некоторых фруктовых эссенций (рис. 3.19). Некоторые соли уксусной кислоты (ацетаты) применяются в процессах крашения (фиксаторы цвета).

Твердые жиры являются сложными эфирами насыщенных жирных кислот, из которых наиболее важными являются следующие: *пальмитиновая кислота* $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$ или $\text{C}_{15}\text{H}_{31}\text{COOH}$ и *стеариновая кислота* $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$ или $\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COOH}$.

Гидролизом (омылением) жиров получают глицерин и смесь жирных кислот. Эту смесь, состоящую главным образом из пальмитиновой и стеариновой кислот, применяют при изготовлении свечей (рис. 3.21). Высшие жирные кислоты нерастворимы в воде. Соли жирных кислот называются мылами, натриевые и калиевые мыла применяются как моющие средства.



ЛАБОРАТОРНЫЙ ОПЫТ

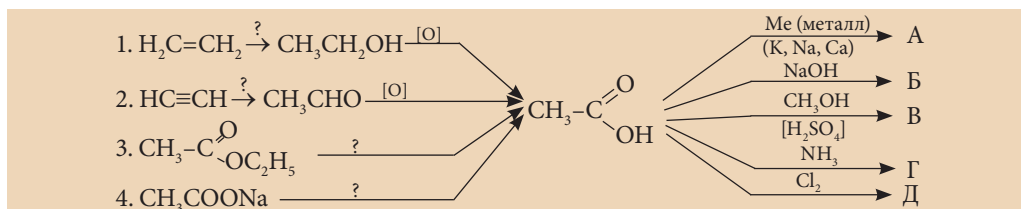
Анализ этикеток на косметических и продовольственных товарах

На упаковке краски для волос читаем целый ряд ингредиентов, которые входят в ее состав: стеариновая кислота, вода, белый воск, этоксилицилин, глицилин, гидроксид аммония и многое другое, среди которых метилпарабен, этилпарабен, пропилпарабен и др.

Что представляет собой вещество с общим названием парабен? Какими свойствами он обладает, связанные с его применением?

Ответ: В составе многих современных косметических изделий входит органическое вещество с общей формулой: $R-NH-C_6H_4-COOH$, где R – это алкильный радикал (метил, этил, пропил, бутил и др.). Эта серия веществ называется парабенами, к которому прибавляется название радикала (метилпарабен, этилпарабен и др.). Обоснование этого общего названия серии веществ, которые являются производными ароматической кислоты, замещенной в положении 4 (пара-). Как называется ароматическая кислота? Это вещество проявляет консервирующие и антисептические свойства и действует на кожу, подобно витаминам.

Работа в группе Каждая команда из 5 учеников пишет уравнения реакций на схеме и идентифицирует вещества (А–Д):

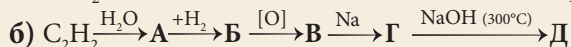
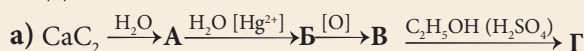


ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Объясни:

- как можно оценить силу кислоты (приведи примеры);
- общие свойства органических и неорганических кислот (приведи примеры);
- образование сложных эфиров;
- получение муравьиной кислоты в промышленности;
- почему муравьиная кислота дает реакцию «серебряного зеркала».

2. Напиши уравнения реакций следующих превращений и назови продукты А–Д:



3. Укажи, какие химические свойства проявляют следующие органические кислоты:

- а) $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{COOH}$; б) COOH ; в) $\text{ClCH}_2-\text{COOH}$; г) $\text{CH}_3-\underset{\text{OH}}{\text{CH}}-\text{COOH}$.



4. Отметь буквой И (истинно) или Л (ложно) каждое утверждение:

- | | | |
|---|--------------------------|--------------------------|
| а) Высшие карбоновые кислоты получают частичным окислением высших алканов. | И | Л |
| б) Муравьиная кислота не дает реакцию «серебряного зеркала». | ☐ | ☐ |
| в) Насыщенные монокарбоновые кислоты и их сложные эфиры имеют одну и ту же общую формулу ($\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_2$). | ☐ | ☐ |
| г) Карбоновые кислоты слабее минеральных. | ☐ | ☐ |
| д) При окислении гомологов бензола получается бензойная кислота. | ☐ | ☐ |

5. Выбери правильный ответ:

А. Муравьиная кислота реагирует с:

- а) HCl ; б) NaOH ; в) H_2 ; г) Ag_2O (аммиачный раствор); д) $\text{C}_6\text{H}_5\text{ONa}$.

Б. Число веществ (кислот и сложных эфиров) состава $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$ равно:

- а) 4; б) 5; в) 6; г) 7.

6. Реши задачу:

Элементный анализ 1,065 г органического вещества дал следующие результаты: 1,018 г CO_2 и 0,415 г H_2O . Определи структурную формулу этого вещества, зная, что $M = 46$ г/моль. Напиши структуры других веществ с этой же молярной массой.
(О.: CH_2O_2)

РАСШИРЕНИЕ

**Практическое применение
карбоновых кислот других типов**

Жирные кислоты. Карбоновые кислоты, которые входят в состав жиров, называются жирными кислотами (таблица 3.9). Жирные кислоты очень широко распространены в природе и находят разнообразное практическое применение.

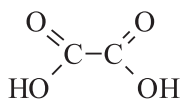
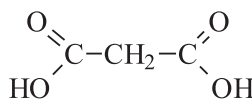
Таблица 3.9. Кислоты – как наиболее важные компоненты жиров

Название и формула	Структура	Тем. плав. °С
Насыщенные кислоты		
Масляная кислота C_4H_7COOH	$CH_3-(CH_2)_2-COOH$	- 7,9
Миристиновая кислота $C_{13}H_{27}COOH$	$CH_3-(CH_2)_{12}-COOH$	54
Пальмитиновая кислота $C_{15}H_{31}COOH$	$CH_3-(CH_2)_{14}-COOH$	63
Стеариновая кислота $C_{17}H_{35}COOH$	$CH_3-(CH_2)_{16}-COOH$	70
Ненасыщенные кислоты		
Олеиновая кислота $C_{17}H_{33}COOH$	$CH_3-(CH_2)_7-CH=CH-(CH_2)_7-COOH$	14
Линолевая кислота $C_{17}H_{31}COOH$	$CH_3-(CH_2)_4-CH=CH-CH_2-CH=CH-(CH_2)_7-COOH$	- 5
Линоленовая кислота $C_{17}H_{29}COOH$	$CH_3-CH_2-CH=CH-CH_2-CH=CH-CH_2-CH=CH-(CH_2)_7-COOH$	- 4

Жирные кислоты входят в состав мыла – продукта, необходимого для гигиены и здоровья людей. По этой причине потребность в жирных кислотах в мировом масштабе растет вместе с ростом населения.

Дикарбоновые кислоты

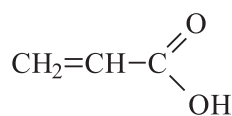
Дикарбоновые кислоты содержат в своих молекулах по две функциональные группы $-COOH$.

Этандиовая кислота
(Щавелевая кислота)Пропандиовая кислота
(Малоновая кислота)

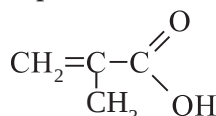
Щавелевая кислота, как и некоторые ее соли (оксалаты), используется в текстильной промышленности как отбеливатель. Она восстанавливает оксиды различных металлов, не затрагивая сам металл. Щавелевая кислота используется для чистки изделий из меди и бронзы. В аналитической химии она используется для определения кальция.

Ненасыщенные монокарбоновые кислоты

Кислоты этой группы содержат одну или больше двойных связей в углеводородном радикале, связанном с единственной карбоксильной группой –COOH.

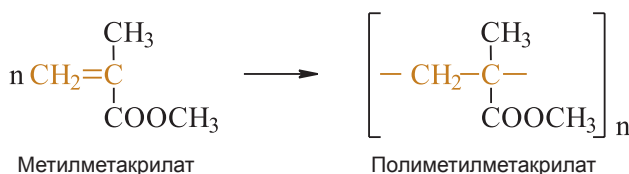


Пропеновая кислота (акриловая)



2-Метилпропеновая кислота (метакриловая)

Важное значение имеют эфиры метакриловой кислоты, особенно ее метиловый эфир – метилметакрилат, который полимеризуется, как все виниловые мономеры:



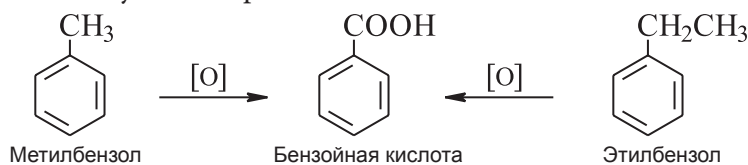
Метилметакрилат

Полиметилметакрилат

Полиметилметакрилат под названием **органическое стекло** или **плексиглас** используется для изготовления различных пластин, предметов домашнего обихода, как оптический материал (он пропускает более 90% видимого света). Особое применение он находит в хирургии (как материал для изготовления костей, зубов и др.). Метакрилаты высших спиртов используются в производстве лаков и красок.

Ароматические кислоты

Простейшим представителем ароматических карбоновых кислот является бензойная. Она получается при окислении алкилбензолов:



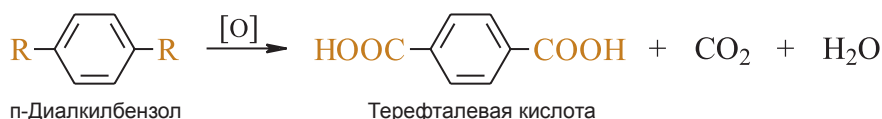
Бензойная кислота используется как исходное вещество для синтеза красителей, медикаментов, душистых веществ и др.

Бензойная кислота и ее соли встречается во многих фруктах и овощах.

Бензойная кислота (Е 210) и бензоат натрия ингибируют рост плесени и дрожжей, поэтому используются в качестве консервантов в пищевой промышленности.

Ароматические дикарбоновые кислоты

Ароматические дикарбоновые кислоты получают окислением диалкилбензолов:



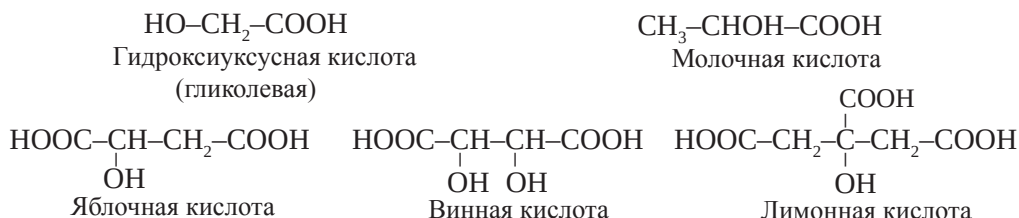
п-Диалкилбензол

Терефталевая кислота

Терефталевая кислота производится в больших количествах, так как используется для получения ценных синтетических волокон под названием *лавсан* или *терилен*.

Гидроксикислоты – это карбоновые кислоты, которые имеют в своих молекулах гидроксильную группу. Различают алифатические гидроксикислоты (спиртокислоты) и ароматические гидроксикислоты (фенолокислоты).

Алифатические гидроксикислоты:



Гликолевая кислота содержится в незрелых фруктах, особенно в незрелых гроздьях винограда.

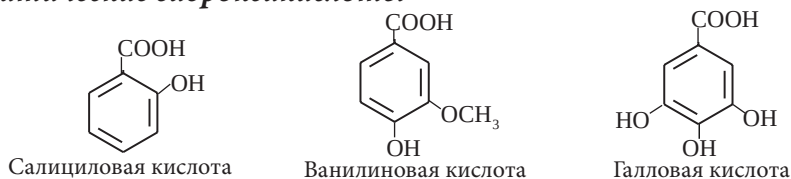
Молочная кислота образуется в мышцах животных после усиленной их работы без доступа воздуха. Она содержится в йогурте и простокваше. Было обнаружено, что молочная кислота образуется при закисании ряда продуктов: она содержится в кислой капусте, солённых огурцах, образуется при созревании сыра и т. д. Закисание этих продуктов вызывается жизнедеятельностью молочнокислых бактерий. Этот процесс называется *молочное брожение*. Молочная кислота применяется в текстильном производстве, в кожевенной промышленности, для дубления кож и в медицине.

Яблочная кислота содержится в незрелых фруктах.

Винная кислота впервые была выделена из винных дрожжей в виде калиевой соли. Она содержится в вине в небольшом количестве. Используется в пищевой промышленности.

Лимонная кислота – это моногидрокситрикарбоновая кислота. Она представляет собой бесцветное белое вещество с кислым вкусом, легко растворяется в воде. Известна под названием *лимонная кислота*. В большом количестве содержится в лимонном соке, откуда она выделяется в промышленном масштабе. Образуется также при лимонном брожении свекловичного сахара. Лимонная кислота применяется в кондитерской промышленности, в косметике для обеспечения нужного значения pH в косметических кремах. В медицине лимонная кислота используется в качестве противоядия при отравлении щелочами.

Ароматические гидроксикислоты



Салициловая (2-гидроксibenзойная) кислота в природе содержится в цветках ромашки и в масле гвоздики. Она находит большое применение: в пищевой промышленности как консервант, в производстве медикаментов (аспирин), а также азокрасителей.

Ванилиновая кислота используется в пищевой промышленности.

Галловая кислота является сильным восстановителем. Восстанавливает соли благородных металлов. Ее эфиры с глюкозой входят в состав танина.

3.3.4.–

3.3.5.

Упражнения и расчетные задачи
по уравнениям химических реакций
карбоновых кислот

Упражнение 1

Для кислоты состава $C_5H_{10}O_2$ напишите: а) структурную формулу кислоты с линейной углеродной цепью; б) структурную формулу одного изомера и одного гомолога; в) систематические названия всех веществ из пунктов а) и б).

Решение:

1. **Напишем** формулы требуемых веществ и их систематические названия:

а) $CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-COOH$ Пентановая кислота;

б) $CH_3-\underset{\substack{| \\ CH_3}}{CH}-CH_2-COOH$ 3-Метилбутановая кислота (изомер);

в) CH_3-CH_2-COOH Пропановая кислота (гомолог).

Упражнение 2

В трех пробирках находятся водные растворы: метановой кислоты, этанола и этиленгликоля. Определите содержимое каждой пробирки.

Решение:

1. **Напишем** структурные формулы предложенных веществ и укажем классы соединений, к которым они принадлежат:

HSO_3H – монокарбоновая кислота;

C_2H_5OH – одноатомный насыщенный спирт;

$HO-CH_2-CH_2-OH$ – двухатомный насыщенный спирт.

2. Для проверки метановой кислоты **применим** реактив Толленса, который с альдегидами дает реакцию „серебряного зеркала” (стр. 187).

3. Этиленгликоль **обнаружим** с помощью $Cu(OH)_2$, который растворяется в присутствии этиленгликоля с образованием ярко-синего раствора.

4. Этанол не реагирует с этими веществами.

Задача 1

Какой объем CO_2 (н. у.) выделится при реакции пищевой соды ($NaHCO_3$) с 200 г 6%-го раствора этановой (уксусной) кислоты?

Дано:

$m(p-pa)=200$ г

$\omega = 6\%$

$V(CO_2) - ?$

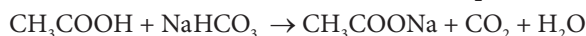
Решение:

1. **Определим** массу и количество вещества кислоты в растворе:

$$\omega = \frac{m(p-pa)}{m(b-ba)} \cdot 100\%; \quad m(CH_3COOH) = \frac{m(p-pa)(CH_3COOH) \cdot \omega}{100\%} = \frac{200 \text{ г} \cdot 6\%}{100\%} = 12 \text{ г};$$

$$\nu(CH_3COOH) = \frac{m(CH_3COOH)}{M(CH_3COOH)} = \frac{12 \text{ г}}{60 \text{ г/моль}} = 0,2 \text{ моль}.$$

2. **Напишем** уравнение реакции и определим объем CO_2 :



Согласно уравнению реакции: $\nu(\text{CH}_3\text{COOH}) = \nu(\text{CO}_2) = 0,2 \text{ моль}$;

$$\nu = \frac{V}{V_m}; \quad V(\text{CO}_2) = \nu \cdot V_m = 0,2 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ г/моль} = 4,48 \text{ л.}$$

Отв е т: объем CO_2 равен 4,48 л.

Задача 2

На нейтрализацию 8,3 г смеси метановой и этановой кислот израсходовано 6 г NaOH. Вычислите массовые доли кислот в смеси.

Дано:

$$m(\text{смеси}) = 8,3 \text{ г}$$

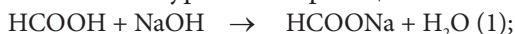
$$m(\text{NaOH}) = 6 \text{ г}$$

$$\omega(\text{HCOOH}) - ?$$

$$\omega(\text{CH}_3\text{COOH}) - ?$$

Решение:

1. Напишем уравнения реакций:



$$46 \text{ г/моль} \quad 40 \text{ г/моль}$$



$$60 \text{ г/моль} \quad 40 \text{ г/моль}$$

2. Обозначим через x массу HCOOH; тогда: $\frac{x}{46}$ – количество вещества HCOOH;

$(8,3 - x)$ – масса CH_3COOH ; $\frac{8,3-x}{60}$ – количество вещества CH_3COOH .

3. В соответствии с уравнениями (1) и (2):

$$\nu(\text{HCOOH}) = \nu(\text{NaOH}) = \frac{x}{46} \text{ моль}; \quad \nu(\text{CH}_3\text{COOH}) = \nu(\text{NaOH}) = \frac{8,3-x}{60};$$

$$\nu(\text{NaOH}) = \frac{6 \text{ г}}{40 \text{ г/моль}} = 0,15 \text{ моль.}$$

4. Составим математическое уравнение и решим его:

$$\frac{x}{46} + \frac{8,3-x}{60} = 0,15; \quad x = 2,3 \text{ г (HCOOH)}.$$

5. Вычислим массу CH_3COOH и массовые доли кислот в смеси:

$$m(\text{HCOOH}) = 2,3 \text{ г}; \quad m(\text{CH}_3\text{COOH}) = 8,3 - 2,3 = 6 \text{ г};$$

$$\omega(\text{HCOOH}) = \frac{2,3 \text{ г}}{8,3 \text{ г}} \cdot 100\% = 27,7\%; \quad \omega(\text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{6 \text{ г}}{8,3 \text{ г}} \cdot 100\% = 72,3\%.$$

О т в е т: массовая для метановой кислоты 27,7%, этановой – 72,3%.

Задача 3

При прокаливании натриевой соли монокарбоновой насыщенной кислоты с NaOH выделилось 11,2 л органического газообразного вещества, 1 л этого газа имеет массу 1,965 г. Определите исходную массу прокаленной соли и формулу выделившегося газа.

Дано:

$$V(\text{газа}) = 11,2 \text{ л}$$

$$\rho = 1,965 \text{ г/л}$$

$$m(\text{соли}) - ?$$

$$\text{Формула газа} - ?$$

Решение:

1. Напишем общее уравнение реакции прокаливания:



2. Вычислим молярную массу газа по формуле:

$$M = V_m \cdot \rho = 22,4 \text{ л/моль} \cdot 1,965 \text{ г/л} = 44 \text{ г/моль.}$$

3. Определим значение n из общей формулы алканов:

$$Mr(C_nH_{2n+2}) = 12n + 2n + 2; 14n + 2 = 44; n = 3.$$

Следовательно, полученный газ – пропан – C_3H_8 , а соль – C_3H_7COONa .

4. Вычислим массу соли (C_3H_7COONa); из уравнения реакции следует:

$$\nu(\text{газа}) = \nu(\text{соли}); \nu(\text{газа}) = \frac{11,2 \text{ г}}{22,4 \text{ г/моль}} = 0,5 \text{ моль}; \quad \nu(\text{соли}) = 0,5 \text{ моль};$$

$$m(C_3H_7COONa) = \nu \cdot M(C_3H_7COONa) = 0,5 \text{ моль} \cdot 110 \text{ г/моль} = 55 \text{ г}.$$

От в е т: $m(C_3H_7COONa) = 55 \text{ г}$; газ – C_3H_8 .

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Напиши уравнения реакций метановой кислоты со следующими реагентами:
а) Na; б) NaOH; в) CaO; г) NH_3 ; д) $CH_3OH(H_2SO_4)$.
Назови продукты реакций.
2. В трех пронумерованных пробирках находятся водные растворы:
а) этанола, муравьиной кислоты, уксусной кислоты;
б) этиленгликоля, фенола, уксусной кислоты.
Как можно экспериментально определить содержимое каждой пробирки?
Напиши уравнения соответствующих реакций и укажи ожидаемые изменения в растворах (видимые эффекты).
3. Напиши уравнения реакций следующих превращений:
 $CH_4 \rightarrow C_2H_2 \rightarrow CH_3CHO \rightarrow CH_3COOH \rightarrow ClCH_2COOH$.
4. Органическое кислородсодержащее соединение А обладает следующими свойствами:
а) восстанавливает аммиачный раствор Ag_2O , при этом выделяется газ;
б) реагирует с этанолом, образуя органическое соединение состава $C_3H_6O_2$;
в) выделяет водород в реакции с металлическим натрием.
Какова структура соединения А?
5. При взаимодействии 8,8 г насыщенной монокарбоновой кислоты с металлическим натрием выделилось 1,12 л водорода (н. у.). Установите молекулярную формулу кислоты.
(О.: C_3H_7COOH)
6. При взаимодействии 5,3 г смеси этановой кислоты и этанола с Na_2CO_3 выделилось 0,56 л газа (н. у.). Вычислите массовые доли веществ в смеси.
(О.: 56,6%; 43,4%)
7. При взаимодействии 35,55 г 10%-го раствора монокарбоновой насыщенной кислоты с избытком гидрокарбоната натрия выделилось 3,36 л газа (н. у.). Определите строение органической кислоты.
(О.: $C_3H_6O_2$)
8. Для нейтрализации 0,37 г монокарбоновой насыщенной кислоты потребовалось 10 г 2%-го раствора NaOH. Определите молекулярную формулу кислоты и напишите её структурную формулу.
(О.: C_2H_5COOH)
9. Сколько пропановой кислоты и метилового спирта потребуется для получения 25,6 г сложного эфира?
(О.: 21,46 г; 9,28 г)
10. Монокарбоновая насыщенная кислота содержит 54,5% углерода. Определите формулу и строение этой кислоты.
(О.: $C_4H_8O_2$)
11. Какая монокарбоновая насыщенная кислота образует серебряную соль, содержащую 29,75% серебра?
(О.: $CH_3(CH_2)_{14}COOH$)

3.3.6.

Изучение свойств уксусной кислоты

Практическая работа № 3

Приборы и принадлежности: спиртовка или газовая горелка, спички, металлический штатив с держателем, штатив с пробирками, газоотводная трубка с пробкой, кусочки фарфора, вата, химический стакан, стеклянная палочка.

Реактивы: раствор серной кислоты (1:1), лакмус, фенолфталеин, опилки магния, гранулы цинка, гидроксид натрия, гидрокарбонат натрия (пищевая сода), раствор NaOH 10%, этиловый или изоамиловый спирт, концентрированная (ледяная) уксусная кислота, концентрированная серная кислота.

Порядок работы*а) Действие на индикаторы*

1. **Налей** в две пробирки по 1 мл раствора: 1–уксусной кислоты; 2– H_2SO_4 (1:1).
2. **Добавь** в каждую пробирку по несколько капель лакмуса.
3. **Наблюдай** изменение цвета лакмуса в каждой пробирке.

б) Взаимодействие с некоторыми металлами

1. **Налей** в одну пробирку 1 мл уксусной кислоты, в другую – 1 мл серной кислоты (1:1).
2. **Внеси** в обе пробирки немного магниевых опилок или по одной грануле цинка.
3. **Сравни** скорости обеих реакций (по скорости выделения образующегося газа).

в) Взаимодействие с оксидами и основаниями

1. **Налей** в две пробирки по 1 мл раствора уксусной кислоты, в другие две – по 1 мл H_2SO_4 (1:1) и добавь по несколько капель лакмуса во все четыре пробирки.
2. **Добавь** в одну пробирку с уксусной кислотой немного порошка оксида кальция, в другую – 1 мл разбавленного раствора гидроксида натрия, содержащего несколько капель фенолфталеина. То же проделай с пробирками с H_2SO_4 .
3. **Объясни** причину изменения цвета во всех пробирках. Какие вещества получаются во всех случаях?

4. **Установи**, в каком случае потребовалось больше основания. Почему?

г) Взаимодействие уксусной кислоты с солями

1. **Налей** в пробирку 1 мл уксусной кислоты и добавь 1 г сухого NaHCO_3 .
2. **Закрой** пробирку пробкой с газоотводной трубкой, свободный конец трубки опусти в другую пробирку с известковой водой (рис. 3.22).



Рис. 3.22. Взаимодействие уксусной кислоты с NaHCO_3 .

3. **Наблюдай** изменения, происходящие в обеих пробирках.

4. **Повтори** опыт с серной кислотой. Что наблюдается?

5. На основании наблюдений сделай вывод, какая кислота сильнее.

д) Взаимодействие со спиртами

1. **Налей** в пробирку 2 мл концентрированной уксусной кислоты, затем 2 мл этилового спирта и 1 мл концентрированной серной кислоты.

2. **Перемешай** содержимое пробирки и нагрей ее на кипящей водяной бане.

3. **Добавь** к полученной смеси 2–3 мл насыщенного раствора NaCl.

4. **Убедись**, что полученный сложный эфир имеет приятный запах.

5. **Сформулируй** выводы по проведенным опытам. Перепиши в тетрадь данную таблицу и заполни ее.

Приборы и реактивы	Порядок работы	Схема прибора. Наблюдения и их объяснения	Уравнения реакций. Выводы

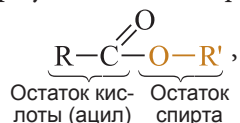
3.3.7.

Сложные эфиры – функциональные производные карбоновых кислот

**Определение**

Сложные эфиры – это производные карбоновых кислот, образующиеся при замещении группы –ОН в карбоксильной группе на остаток спирта (–OR) или фенола (–OAr).

Как видно, формула сложных эфиров состоит из двух частей:



в которых оба радикала R и R' могут быть одинаковыми или разными (в том числе и Ar). Их общая формула такая же, как и у карбоновых кислот: $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_2$.

Номенклатура и изомерия

⊙ Как образуются систематические и несистематические названия насыщенных монокислот?

Номенклатура IUPAC сложных эфиров включает несколько типов названий.

Систематическое название сложного эфира образуется из систематического названия кислоты, в котором окончание *-овая* заменено на *-оат* и перед которым указывается название углеводородного радикала спирта (например, сложный эфир этановой кислоты и этилового спирта называется этилэтаноем (рис. 3.23)).

♦ **Несистематическое название** сложного эфира образуется из несистематических названий кислоты и спирта, из которых образован сложный эфир. Например, сложный эфир, образованный из муравьиной кислоты и метилового спирта, будет называться метиловый эфир муравьиной кислоты.

Полусистематическое название сложного эфира построено так же, как название соли кислоты, и включает в себя название радикала спирта и название кислоты (таблица 3.10).

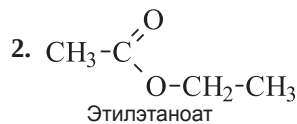
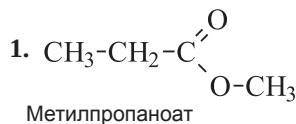
Таблица 3.10. Номенклатура IUPAC сложных эфиров

Формула	Название		
	систематическое	несистематическое	полусистематическое
$\text{H}-\overset{\text{O}}{\underset{\text{ }}{\text{C}}}-\text{OCH}_3$	Метилметаноат	Метиловый эфир муравьиной кислоты	Метилформиат
$\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\underset{\text{ }}{\text{C}}}-\text{OCH}_3$	Метилэтаноем	Метиловый эфир уксусной кислоты	Метилацетат
$\text{CH}_3\text{CH}_2-\overset{\text{O}}{\underset{\text{ }}{\text{C}}}-\text{OCH}_3$	Метилпропаноем	Метиловый эфир пропионовой кислоты	Метилпропионат
$\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\underset{\text{ }}{\text{C}}}-\text{OCH}_2\text{CH}_3$	Этилэтаноем	Этиловый эфир уксусной кислоты	Этилацетат
$\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\underset{\text{ }}{\text{C}}}-\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$	Пропилэтаноем	Пропиловый эфир уксусной кислоты	Пропилацетат
$\text{C}_6\text{H}_5-\overset{\text{O}}{\underset{\text{ }}{\text{C}}}-\text{OCH}_2\text{CH}_3$	Этилбензоат	Этиловый эфир бензойной кислоты	Этилбензоат

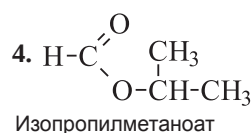
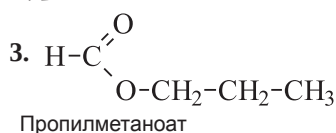
Изомерия сложных эфиров определяется структурной изомерией: а) строением углеводородных радикалов кислоты и спирта; б) положением сложноэфирной группы $-\text{COO}-$ между этими двумя радикалами и в) функциональной изомерией с монокарбоновыми кислотами.

Примеры изомеров состава $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$:

а) положения сложноэфирной группы $-\text{COO}-$:

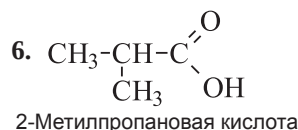
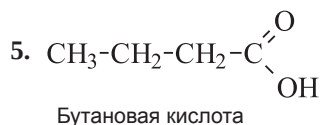


б) структурные:



Расширение

в) функциональные с карбоновыми кислотами:



Задание 3.19. Укажи несистематические названия вышеприведенных сложных эфиров (пользуясь таблицей 3.10).

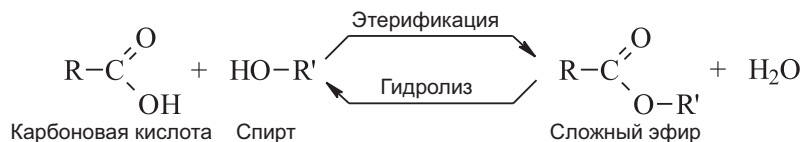
Структурные изомеры отличаются по физическим свойствам, тогда как функциональные сильно отличаются по химическим свойствам, так как принадлежат к различным классам – кислотам и сложным эфирам.

Задание 3.20. Напиши и назови изомеры сложных эфиров состава $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$.

Получение сложных эфиров

Реакция между карбоновой кислотой и спиртом называется **реакцией этерификации**.

Она происходит при нагревании кислоты со спиртом в присутствии каталитических количеств серной кислоты. В ходе этерификации устанавливается равновесие между исходными реагентами и продуктами реакции:



Константа равновесия этой реакции выражается соотношением:

$$K_p = \frac{[\text{RCOOR}'] \cdot [\text{H}_2\text{O}]}{[\text{RCOOH}] \cdot [\text{R'OH}]}$$

Для смещения равновесия в сторону образования сложного эфира берут в избытке один из реагентов (спирт или кислоту) или удаляют из реакционной среды один из продуктов реакции (воду или сложный эфир) по мере его образования. Чаще всего равновесие смещают, отгоняя воду.

Методом меченых атомов, используя спирт, содержащий изотоп ^{18}O , ученые доказали, что в состав сложного эфира входит кислород спирта:



Это говорит о том, что вода образуется из группы $-\text{OH}$ кислоты и протона спирта. В отсутствие катализатора (серной кислоты) этерификация протекает с малой скоростью.



ЛАБОРАТОРНЫЙ ОПЫТ

Получение этилацетата

1. **Внеси** в пробирку 1 мл концентрированной уксусной кислоты.
2. **Добавь** туда же 0,5 мл концентрированной H_2SO_4 и 2 мл этилового спирта.
3. **Внеси** 2–3 кусочка битого фарфора (для облегчения кипения).
4. **Нагрей** внимательно и равномерно содержимое пробирки круговыми движениями в пламени спиртовки.
5. **Убедись**, что полученный сложный эфир имеет приятный запах.

Физические свойства

В зависимости от молекулярной массы сложные эфиры бывают жидкостями или твердыми веществами. Низшие сложные эфиры летучи и имеют приятный цветочный или фруктовый запах. Они плохо растворимы в воде, намного хуже, чем спирты и кислоты, из которых они состоят. Например, этанол и уксусная кислота смешиваются с водой в любых отношениях, а растворимость этилацетата составляет 8 г на 100 мл воды.

Причина этого – отсутствие в них гидроксигрупп ($-\text{OH}$) и, следовательно, невозможность образования водородных связей. В то же время сложные эфиры хорошо растворяются в органических растворителях.

Химические свойства

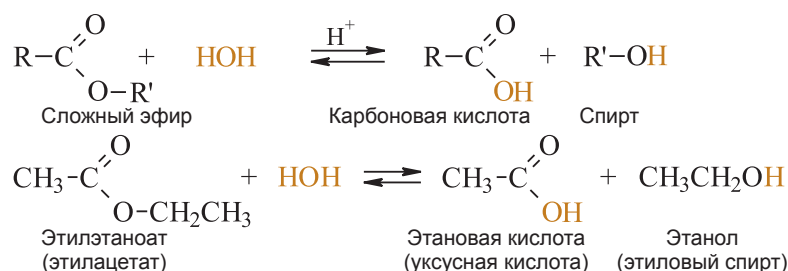
Химические свойства сложных эфиров определяются природой кислоты и спирта, из которых они образованы.

Знаешь ли ты, что ...

Многие сложные эфиры имеют приятный запах и применяются как синтетические фруктовые эссенции. Так, этилбутират имеет запах ананаса, амилформиат – рома, метилбутират – яблок, октилацетат – апельсина, амилацетат – бананов, амилбутират – абрикосов и т. д.



Гидролиз – реакция, обратная этерификации, это важнейшее химическое свойство сложных эфиров. Его можно проводить как **в кислой**, так и **в нейтральной** или **щелочной среде**:



Обычно его проводят в щелочной среде, в этих условиях происходит наиболее полное смещение равновесия в сторону образования соли кислоты и спирта (реакция становится необратимой):

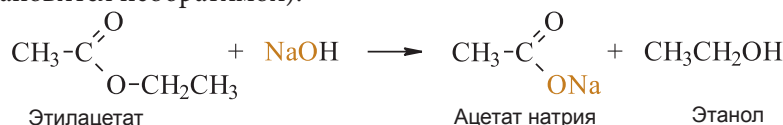


Рис. 3.24. Эфирные эссенции.



Рис. 3.25. Косметические средства.



Рис. 3.26. Кондитерские изделия и напитки с фруктовым и цветочным запахом.



Рис. 3.27. Растворители.

Важнейшие сложные эфиры. Их применение

Этилацетат, $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$, – бесцветная жидкость с т.кип. 77°C , мало растворим в воде (8,5% при 20°C).

Получают этерификацией уксусной кислоты этанолом. Широко применяется как растворитель ряда полимеров, жиров, парафина и др. Входит в состав пищевых эссенций (рис. 3.24).

Изоамилацетат, $\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)_2$, – бесцветная жидкость с т.кип. 142°C , имеет грушевый запах, плохо растворяется в воде (2%). Изоамилацетат получают этерификацией уксусной кислоты изоамиловым спиртом. Применяется как растворитель. Входит в состав косметических и парфюмерных изделий (рис. 3.25).

Некоторые сложные эфиры входят в состав синтетических эссенций, применяемых в пищевой промышленности для придания кондитерским изделиям запаха груш, яблок, вишни, рома, апельсинов, ананасов и др. Их добавляют в прохладительные напитки с фруктовым и цветочным запахом (рис. 3.26).

Сложные эфиры широко распространены в природе. Низшие сложные эфиры находятся в цветках, фруктах, ягодах, придавая им характерный запах. Большие количества сложных эфиров применяют как растворители в различных областях (рис. 3.27).

Сложные эфиры высших спиртов с жирными кислотами называются *восками*. Их применяют в производстве бумаги, красок, лаков, изоляционных материалов и др. Широко применяются в косметических средствах.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

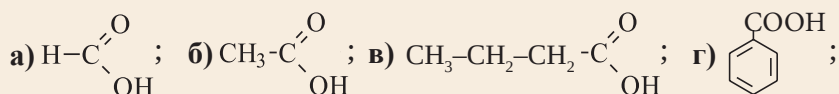
1. Дай определение понятия «реакция этерификации».

2. Объясни:

- а) общую формулу сложных эфиров;
- б) номенклатуру и структурную изомерию сложных эфиров;
- в) функциональную изомерию сложных эфиров и карбоновых кислот.

3. Назови:

А) кислоты следующего строения:



д) $\text{C}_{17}\text{H}_{35}-\text{COOH}$.

Б) сложные эфиры, образующиеся в реакциях этерификации между:

- а) муравьиной кислотой и метиловым спиртом;
- б) уксусной кислотой и бутиловым спиртом;
- в) бензойной кислотой и этиловым спиртом;
- г) бутановой кислотой и изопропиловым спиртом.

4. Отметь буквой И (истинно) или Л (ложно) каждое утверждение:

а) Этилацетат является производным бутановой кислоты.

И

Л

☐
☐

б) Сложные эфиры получают при взаимодействии карбоновых кислот или азотной кислоты со спиртами или полиспиртами.

☐
☐

в) Для смещения равновесия реакции этерификации в сторону образования сложного эфира из реакционной среды удаляют воду.

☐
☐

г) В реакции этерификации вода образуется из водорода карбоксильной группы кислоты и гидроксила спирта.

☐
☐

5. Предложи способ распознавания содержимого пробирок, в которых находятся:

а) уксусная кислота; б) муравьиная кислота; в) этилацетат.

6. Заполни свободные места:

а) Сложные эфиры можно получать из ... обработкой

б) Сложные эфиры – жидкие или твердые вещества с запахом ... и применяются как синтетические фруктовые

в) Основным химическим свойством сложных эфиров является ... , реакция, обратная этерификации.

г) Существует сложных эфиров с молекулярной формулой $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$.

7. Реши задачу:

Вычисли массу сложного эфира, образовавшегося при нагревании 1,2 г этанола с 1,8 г уксусной кислоты.

(О.: 2,29 г)

3.3.8.

Упражнения и расчетные задачи по уравнениям химических реакций, характерных для сложных эфиров

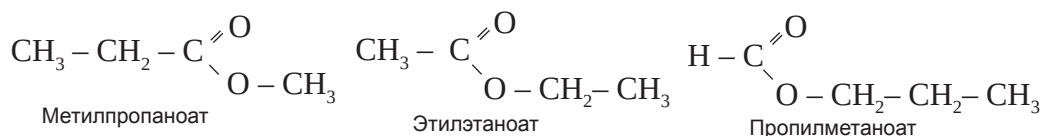
Упражнение 1

Из формул, приведенных ниже, выбери ту, которая соответствует сложному эфиру. Напиши структурные формулы изомеров того же состава (кислот и сложных эфиров) и дай им систематические названия: а) $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_2$; б) $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$; в) $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$; г) $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$.

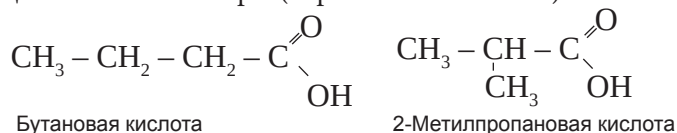
Решение:

1. Молекулярная формула $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$ соответствует сложным эфирам и насыщенным карбоновым кислотам следующего строения:

а) изомеры сложных эфиров (по строению радикала кислоты и спирта):



б) функциональные изомеры (карбоновые кислоты):



Упражнение 2

Для каждой реакции из колонки Б выбери соответствующее вещество из колонки А. Напиши уравнения всех реакций и назови их продукты.

Колонка А

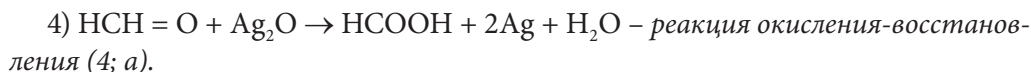
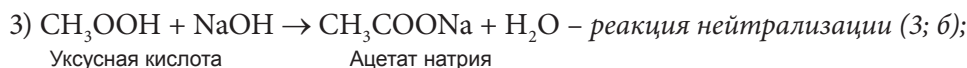
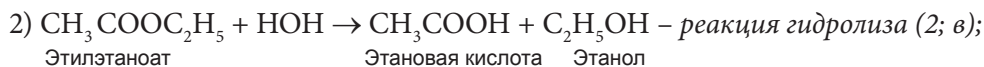
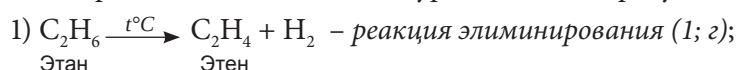
- 1) C_2H_6
- 2) $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$
- 3) CH_3COOH
- 4) $\text{HCH}=\text{O}$

Колонка Б

- а) реакция окисления-восстановления
- б) реакция нейтрализации
- в) реакция гидролиза
- г) реакция элиминирования

Решение:

1. Выберем вещества и напомним уравнения как требуется по условию:



Метаналь

Метановая кислота

Задача 1

Сколько этилацетата получится при этерификации 92 г этилового спирта 200 граммами 90%-го раствора уксусной кислоты?

Дано:

$$m(C_2H_5OH) = 92 \text{ г}$$

$$m(p-pa) = 200 \text{ г}$$

$$\omega(CH_3COOH) = 90\%$$

$$m(\text{эфира}) - ?$$

Решение:

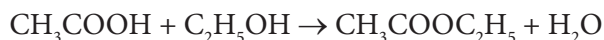
1. Вычислим массу CH_3COOH , количество вещества CH_3COOH и количество вещества C_2H_5OH по известному алгоритму:

$$\omega = \frac{m(B-ва)}{m(p-pa)} \cdot 100\%;$$

$$m(CH_3COOH) = \frac{m(p-pa) \cdot \omega(CH_3COOH)}{100\%} = \frac{200 \text{ г} \cdot 90\%}{100\%} = 180 \text{ г};$$

$$\nu = \frac{m}{M}; \quad \nu(CH_3COOH) = \frac{180 \text{ г}}{60 \text{ г/моль}} = 3 \text{ моль}; \quad \nu(C_2H_5OH) = \frac{92 \text{ г}}{46 \text{ г/моль}} = 2 \text{ моль}$$

2. Напишем уравнение реакции:



Из уравнения реакции: $\nu(CH_3COOH) = \nu(C_2H_5OH)$.

По условию задачи: $\nu(CH_3COOH) > \nu(C_2H_5OH)$; 3 моля > 2 моля.

Уксусная кислота в избытке, вычисления проводим по этанолу:

$$\nu(C_2H_5OH) = \nu(C_4H_8O_2) = 2 \text{ моля}; \quad M(C_4H_8O_2) = 88 \text{ г/моль}.$$

3. Определим массу сложного эфира:

$$m(C_4H_8O_2) = \nu \cdot M = 2 \text{ моля} \cdot 88 \text{ г/моль} = 176 \text{ г}.$$

О т в е т: масса этилацетата равна 176 г.

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Напиши уравнения реакций следующих превращений:

а) $CH_4 \rightarrow$ этилформиат;

б) $CH_4 \rightarrow$ этилацетат.

2. Напиши уравнения реакций:

а) уксусной кислоты с изопропиловым спиртом;

б) муравьиной кислоты с бутиловым спиртом;

в) уксусной кислоты с *трет*-бутиловым спиртом.

Назови продукты реакций.

3. Смесь 22 г этилацетата и воды нагревали некоторое время. Оставшийся сложный эфир отделили в делительной воронке. Для нейтрализации водного раствора потребовалось 40 г 12,5%-го раствора NaOH. Какая часть (%) этилацетата прогидролизировалась? (О.: 50%)

4. Сколько килограммов метилацетата можно получить из одной тонны уксусной кислоты? Сколько метанола для этого потребуется? (О.: 1233 кг; 533 кг)

5. Органическое вещество содержит C, H, O и 1 моль его весит 88 г. При горении 1,32 г этого вещества получилось 2,64 г CO_2 и 1,08 г H_2O . Определите молекулярную формулу вещества. Напишите его монофункциональные ациклические изомеры. (О.: $C_4H_8O_2$; 2 кислоты и 3 сложных эфира)

6. Какой объём 40%-го раствора NaOH с плотностью 1,4 г/см³ потребуется для полного гидролиза 10,3 г смеси, содержащей 35,9% метилацетата и 64,1% этилацетата? (О.: 8,93 мл раствора NaOH)

3.3.9.

Генетическая связь между карбоновыми кислотами, сложными эфирами и другими классами органических соединений

Генетическая связь между углеводородами, галогеноалканами, спиртами, альдегидами и карбоновыми кислотами представлена в схеме 3.12.

Схема 3.12. Генетическая связь между углеводородами, спиртами, альдегидами и кислотами

**Задание 3.21.**

- Заполни клетки в схеме 3.12 соответствующими общими формулами, затем – формулами конкретных веществ.
- Напиши уравнения реакций, обозначенных в схеме, на примере алкана, содержащего два атома углерода.

Упражнения и задачи на основе схемы 3.12.

1. Напиши уравнения реакций следующих превращений:

а) метан → хлорметан → метанол → метаналь → метановая кислота;

б) этин → этен → этанол → этаналь → этановая кислота;

*в) метан → этин → этаналь → этанол → уксусная кислота → ацетат натрия → метан;

*г) метан → метаналь → метанол → метановая кислота → угольная кислота.

Укажи условия реакций.

2. Какое количество вещества (в молях) и какая масса (в граммах) каждого продукта получится в ходе превращений:

а) 218 г бромэтана → этанол → этановая кислота?

б) 202 г хлорметана → метанол → метановая кислота?

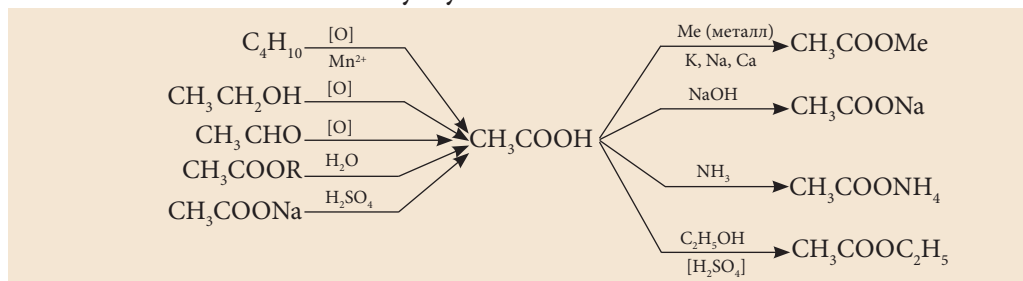
3. Вещество состава $C_3H_6O_2$ окрашивает лакмус в красный цвет, с хлором образует продукт $C_3H_5ClO_2$, при нагревании с NaOH образует этан. Напиши структурную формулу исходного вещества и назови его.

4. Вещество состава C_4H_8O взаимодействует с $Cu(OH)_2$ образуя 2-метилпропановую кислоту. Напиши структурную формулу и назови вещество.

ПОВТОРИ И ЗАКРЕПИ СВОИ ЗНАНИЯ: КАРБОНОВЫЕ КИСЛОТЫ. СЛОЖНЫЕ ЭФИРЫ

- ♦ **Карбоновые кислоты** – это органические вещества, которые содержат в своих молекулах одну или несколько функциональных карбоксильных групп – COOH . В гомологическом ряду монокарбоновых кислот изомерия определяется структурой углеродной цепи.
- ♦ Карбоновые кислоты обладают кислотными свойствами (могут отдавать протон из группы $-\text{COOH}$). По сравнению с минеральными кислотами (HCl , H_2SO_4 , HNO_3) карбоновые кислоты значительно слабее.
- ♦ Карбоновые кислоты реагируют со спиртами с образованием сложных эфиров. Эта реакция называется **этерификацией** и является обратимой. Обратная реакция называется **гидролизом**.
- ♦ **Муравьиную кислоту** можно считать как альдегидом, так и спиртом. С аммиачным раствором Ag_2O она дает реакцию «серебряного зеркала» (Реакция служит для идентификации муравьиной кислоты.).
- ♦ Муравьиная кислота используется в текстильной промышленности, в медицине, в пчеловодстве (как дезинфектант), для дубления кож.
- ♦ **Уксусная кислота** используется как приправа к пище (уксус), для консервирования и для получения ароматных эссенций.

Схема 3.13. Методы получения и химические свойства уксусной кислоты



- ♦ **Сложные эфиры** являются функциональными производными карбоновых кислот. Их общая формула RCOOR' .
- ♦ **Названия сложных эфиров** складываются из несистематических названий кислот и спиртов, которые образовали молекулу в результате реакции этерификации (этилформиат, метилацетат и т. д.).
- ♦ **Изомерия сложных эфиров** зависит от структур кислотного и спиртового радикалов.
- ♦ **Физические свойства.** Сложные эфиры являются жидкостями или твердыми веществами. Их температуры кипения ниже, чем кислот и спиртов, из которых они образованы. Они бесцветны и с приятным запахом.
- ♦ **Сложные эфиры** получаются в результате реакции карбоновой кислоты со спиртом (реакция этерификации):

$$\text{RCOOH} + \text{R}'\text{OH} \rightleftharpoons \text{RCOOR}' + \text{H}_2\text{O}$$
- ♦ **Гидролиз** – это реакция, противоположная этерификации. Гидролиз является самой важной реакцией сложных эфиров. Она протекает в щелочной среде, при этом образуется соль кислоты и соответствующий спирт:

$$\text{RCOOR}' + \text{NaOH} \rightarrow \text{RCOONa} + \text{R}'\text{OH}$$
- ♦ **Применение.** Сложные эфиры используются как растворители, пластификаторы, в косметической промышленности и в пищевой – как эссенции с приятным запахом.

3.3.10.

ЗАВЕРШАЮЩАЯ ОЦЕНКА ЗНАНИЙ

1. **Напиши** и назови изомеры кислот с молекулярной формулой $C_5H_{10}O_2$.
2. **Объясни**, как изменятся кислотные свойства уксусной кислоты, если один из атомов водорода метильной группы заместить на хлор ($ClCH_2COOH$). Мотивируй ответ.
3. **Напиши** уравнения реакций следующих превращений:
 - а) метан $\rightarrow$ метаналь $\rightarrow$ метановая кислота $\rightarrow$ метаноат аммония;
 - б) $C \rightarrow CO_2 \rightarrow CO \rightarrow HCOONa$;
 - в) $C_2H_2 \rightarrow CH_3CHO \rightarrow CH_3COOH \rightarrow CH_3COONa \rightarrow CH_4$;
 - г) метан $\rightarrow$ ацетилен $\rightarrow$ ацетальдегид $\rightarrow$ уксусная кислота $\rightarrow$ этилацетат.
4. **Укажи**:
 - А. формулу, соответствующую сложному эфиру:
 - а) C_4H_9OH ; б) $CH_3CH=O$; в) CH_3COCH_3 ; г) CH_3COOCH_3 .
 - Б. молекулярную формулу сложного эфира с молекулярной массой 102, образованного насыщенными кислотой и спиртом.
5. **Предложи** путь превращений:
 - а) $C_2H_5Cl \rightarrow CH_3COOH$;
 - б) $CH_4 \rightarrow CH_3COOCH_3$.
6. **Напиши** уравнения реакций следующих превращений:
 - а) метан $\rightarrow$ метилформиат;
 - б) этен $\rightarrow$ этилацетат;
 - в) ацетилен $\rightarrow$ ацетат кальция;
 - г) толуол $\rightarrow$ метилбензоат.
7. **Установи**:
 - а) строение сложного эфира, образующего при обработке водным раствором $NaOH$ ацетат натрия и этанол.
 - б) молекулярную и структурную формулы насыщенной монокарбоновой кислоты, для нейтрализации 0,37 г которой требуется 10 г 2%-го раствора $NaOH$. ($O.: C_2H_5COOH$)
8. Уксусная кислота может быть получена из метана в результате последовательных реакций:

$$CH_4 \xrightarrow[-3H_2]{t^\circ C} A \xrightarrow[Cat.]{+H_2} B \xrightarrow[Cat.]{+H_2O} B \xrightarrow{+O_2} CH_3COOH$$
 - а) определи вещества А–В; б) напиши уравнения реакций и назови условия их протекания.
9. **Разработка и представление проекта**:
 «Аромамаркетинг – технология современных продаж». Проблемы, которые необходимо отразить: а) цель использования аромамаркетинга; б) подбор подходящих ароматов. Заходите на сайт: www.retail.ru>articles>aromamarketing-kak-aromat.



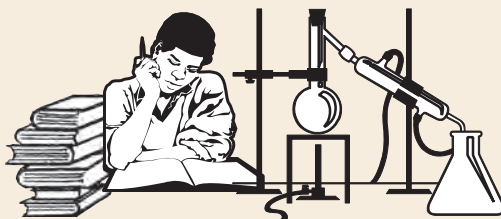
ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА В ЖИЗНИ И ПОВСЕДНЕВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Раздел

4



Ф. Вёлер



С. Лебедев

Изучив органическую химию, ты убедился, что это самостоятельная наука, основанная на теоретической и логической базе. Ты познакомился с большим разнообразием органических веществ, объединенных в классы и гомологические ряды с особенностями их строения и химических свойств.

Конкурируя с природой, химики-органики синтезировали различные вещества, которые, благодаря своим свойствам, используются человеком для повышения качества жизни. Ты убедился, что промышленные органические продукты облегчают нашу жизнь и делают ее более приятной. Трудно представить себе, как бы жил современный человек без медикаментов, промышленных продуктов, топлива для машин, гигиенических и косметических продуктов, пластмасс, синтетических волокон и др.

Ты убедился, что на протяжении всего учебника теоретические знания сопровождаются многочисленными и разными экспериментами, которые, в конце концов, убеждают в истинности химических явлений.

Углубление знаний по каждой теме развивает способность анализировать их, сопоставлять их и объединять с предыдущими знаниями, объяснять различные группы органических соединений, используя химические реакции. Химия, как учебная дисциплина, отличается от других наук тем, что ее понятия, которыми мы надеемся ты овладел, должны быть выделены или подтверждены экспериментально.

В этой главе обобщены теоретические и практические знания по органической химии, описаны некоторые типы экспериментальных задач и подсказаны некоторые пути их решения.

Субкомпетенции:

Изучив данный раздел, ты сможешь:

- критически аргументировать полученную из разных источников информацию, касающуюся свойств, применения, влияния углеводов и их производных на организм и окружающую среду;
- систематизировать знания в виде схем и таблиц;
- сделать выводы и привести примеры генетической связи между гомологическими рядами изученных углеводов и классами органических веществ;
- выполнять упражнения и решить экспериментальные задачи;
- на основании изученного материала предложить проекты, которые дают пользу или наносят вред из-за применения углеводов и их производных в повседневной жизни.

4.1. Генетическая связь между углеводородами и классами органических веществ

Изучив материал первых трех разделов, ты убедился в том, что существует огромное количество разнообразных органических веществ, отличающихся по строению и свойствам. Понятия изомерии и гомологии объясняют причины этого разнообразия.

Узнал, что углеводороды могут использоваться как исходные материалы для получения органических веществ, содержащих кислород (спирты и фенолы), карбонильные соединения (альдегиды и кетоны), карбоксильные соединения (кислоты и сложные эфиры). Нефть, природные и попутные газы являются основным сырьем для получения большинства органических соединений.

Алканы содержат в молекулах только простые связи, поэтому по сравнению с другими классами углеводородов проявляют пониженную химическую активность. Изомерами алканов являются изоалканы. Как алканы, так и изоалканы содержатся в природном газе и нефти. Оттуда они выделяются при перегонке. Для алканов основными являются реакции замещения и термического разложения. Следует сказать, что все другие типы углеводородов (алкены, алкины, алкадиены, циклоалканы, арены) получают из алканов и изоалканов.

Алкены не встречаются в природе. Они получают из алканов реакциями дегидрирования и термического разложения.

Алкены являются исходным сырьем для получения кислородных производных углеводородов: одно-, двух- и трехатомных спиртов, карбонильных соединений, карбоновых кислот.

Самым важным химическим свойством алкенов является способность их молекул соединяться за счет двойных связей с образованием полимеров. О получаемых на основе виниловых мономеров полимеров и их влиянии на качество жизни и окружающую среду ты уже знаешь (см. *Пластические массы*, стр. 84).

Алкины по структуре отличаются от соответствующих алканов с тем же числом атомов углерода, наличием тройной ковалентной связи между двумя атомами углерода.

Ацетилен является ценным исходным сырьем для синтеза галогенопроизводных этилена и этана. При гидратации ацетилена образуется ацетальдегид, который, в свою очередь, при окислении превращается в уксусную кислоту, а при восстановлении – в этиловый спирт.

При тримеризации ацетилена образуется бензол – первый представитель аренов.

Арены – это углеводороды, которые состоят из одного или нескольких бензольных колец. Некоторые арены имеют приятный запах, поэтому их называют также ароматическими углеводородами. Сырьем для получения аренов являются высшие алканы – компоненты нефти.

Из углеводородов, при замещении одного или нескольких атомов водорода на атом или группу атомов из других элементов (функциональные группы): $-\text{Cl}$, $-\text{OH}$, $-\text{CHO}$, $-\text{COOH}$ и др., образуются производные углеводородов.

Таким образом, органические соединения по составу делятся на углеводороды и их производные (рис. 4.1).

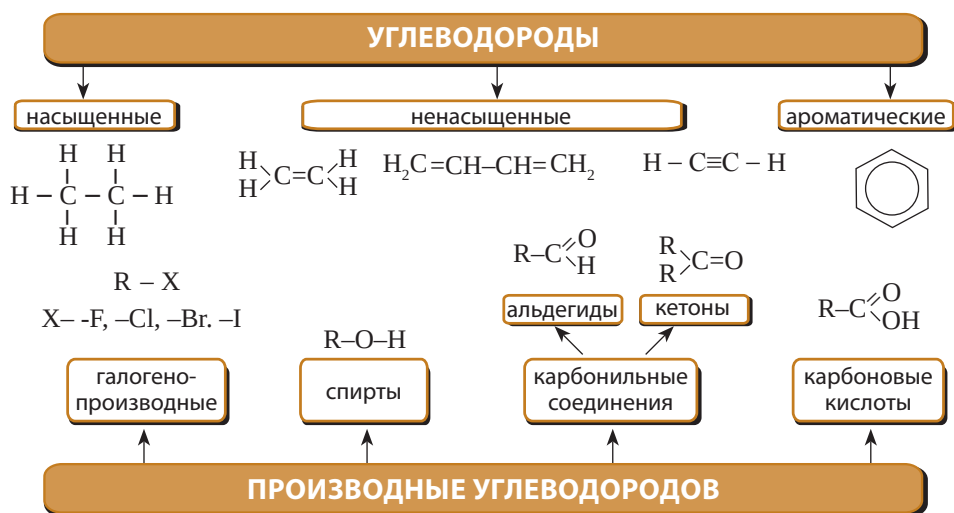


Рис. 4.1. Углеводороды и некоторые их производные (R – радикал углеводорода).

Вспомни основные классы органических веществ в той последовательности, в которой они изучались и напиши общие формулы для каждого гомологического ряда.

Задание 4.1. Проанализируй уравнения реакций получения и химические свойства всех гомологических рядов, изученных в этом году, пользуясь схемами в конце каждого раздела под рубрикой «Повтори и закрепи свои знания».

Далее представлены основные реакции, характерные для углеводороды и их производных:

- **алканы** (замещения, горения, *дегидрирования, *дегидроциклизации, термического разложения, изомеризации, *частичного окисления);
- **алкены, алкадиены, алкины** (дегидрирования, присоединения галогенов, галогеноводородов, воды, полимеризации, *окисления, горения);
- **арены** (замещения, присоединения, горения);
- **одноатомные спирты** (со щелочными металлами, внутри- и межмолекулярная дегидратация, образования сложных эфиров, окисления);
- **альдегиды и кетоны** (восстановления, окисления, присоединения, горения);
- ***карбоновые кислоты** (с металлами и оксидами металлов, с аммиаком, со спиртами, с галогенами);
- ***сложные эфиры** (гидролиза).

Задание 4.2. Напиши уравнения основных реакций, характеризующих классы изученных веществ.

Рассмотрев продукты реакций, упомянутых выше, заметь, что в результате превращений из соединений одного класса можно получить соединения других классов. Следовательно, превращения, которым могут быть подвергнуты соединения изученных органических веществ, часто могут быть взаимными и свидетельствуют о генетической связи между ними.

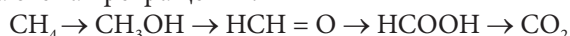
В схеме 4.1 представлены некоторые взаимные превращения (если не практические, в промышленном масштабе, то, по крайней мере, теоретические) между классами изученных веществ.

Схема 4.1. Генетическая связь между углеводородами и некоторыми их производными



Задание 4.3.

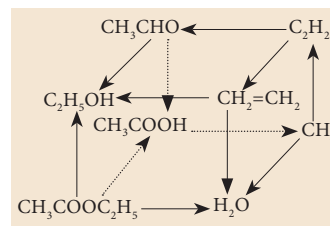
1. Перепиши в тетрадь схему 4.3, заполни ее общими формулами каждого класса органических веществ.
2. Вырази конкретными химическими реакциями, взяв для примера, органические соединения с двумя атомами углерода, взаимные превращения, представленные в схеме 4.1.
3. Представлена схема превращений:



Напиши уравнения соответствующих реакций.

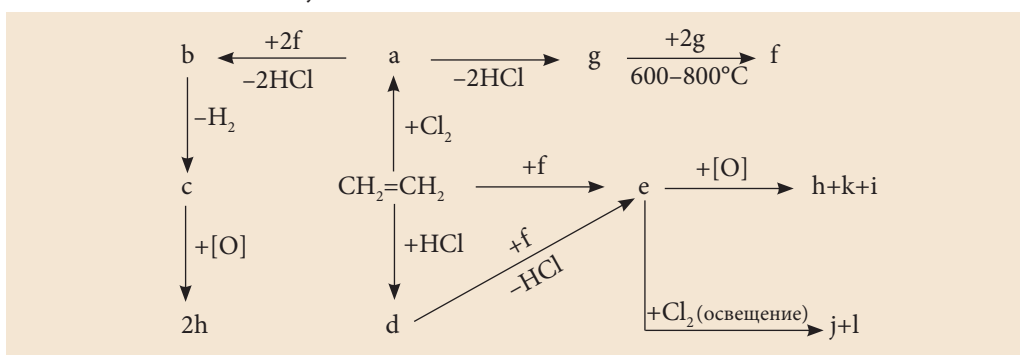
*Творческое задание

а) Напиши уравнения реакций в соответствии с превращениями, представленными рядом на схеме. Отметь типы реакций и назови вещества.



б) Проанализируй схему, представленную ниже.

Напиши уравнения реакций из этой схемы, назови типы реакций и названия веществ: а; b; c; d; e; i; f; j; k; l.



Примечание: В схеме использована реакция тримеризации ацетилена:



4.2.

Углеводороды и их производные в свете повседневного применения

Органическая химия является одной из основных современных наук. Химики смотрят на жизнь сквозь призму химических реакций, которые происходят в каждой клетке человеческого организма, реакций, которые протекают в невидимом мире микроорганизмов, реакций, которые постоянно влияют на окружающую среду на Земле. Вследствие этого возникают условия и надежды создавать новые материалы, получать новые вещества, которые окажутся полезными в повседневной жизни.

Химики-органики стремятся воспроизвести все то, что создала природа, все, что нас окружает, основываясь на предположении, что любое химическое вещество всегда будет каким-то образом испытано и принесет какую-то пользу.

Тщательный анализ применяемых химических веществ, без которых сегодня трудно вообразить себе жизнь, показывает, что многие эти вещества являются заменителями или суррогатами природных соединений, начиная с низкомолекулярных (фармацевтические, агрономические препараты, детергенты) и кончая полимерами, т.е. высокомолекулярными соединениями (каучук, пластмассы, синтетические волокна и ткани и многое другое). Знания о веществах и их превращениях, накопленные человеком в течение многих столетий, показывают, что в основном они приносят пользу человеку и повышают качество его жизни.

Сегодня мы не можем представить себе нашу жизнь без широкого применения продуктов, которые производятся по современной химической технологии. Благодаря им в каждом доме всегда есть медикаменты, которые спасают от опасных болезней, дезинфицирующие средства, пищевые продукты, прохладительные напитки, косметические средства по уходу за кожей и волосами.

Часто многочисленные органические вещества (природный каучук, некоторые органические кислоты, сложные эфиры, жиры, белки, витамины, красители, нефть, природный газ и др.) не встречаются в природе в готовом виде, а с другой стороны (синтетические красители, пластмассы, бумага, синтетический каучук, синтетические волокна, медикаменты, детергенты, асфальт и др.) получены человеком в результате изменения или модификации свойств природных соединений.

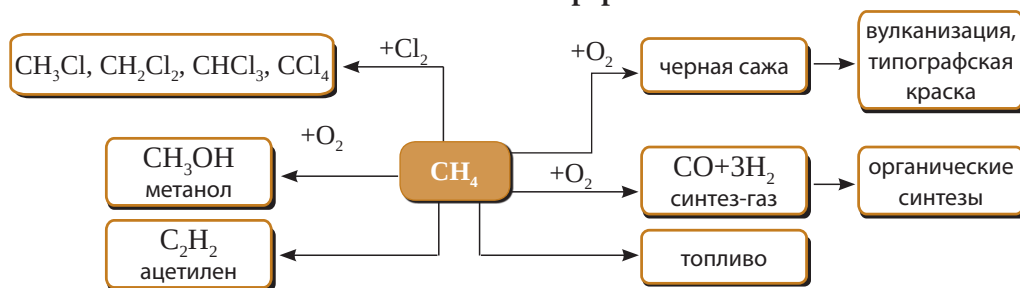
Если после применения органических веществ для разных целей образуются вещества, загрязняющие окружающую среду, именно химия и химики должны найти методы для устранения этих загрязнителей.

Химизация является совокупностью химических процессов превращения исходного сырья в более ценные продукты с более ценными свойствами, которые находят широкое применение. Углеводороды являются основным источником сырья для органического синтеза и для получения полимеров.

Метан является одним из самых ценных исходных веществ в химической промышленности. При его переработке получают различные продукты,

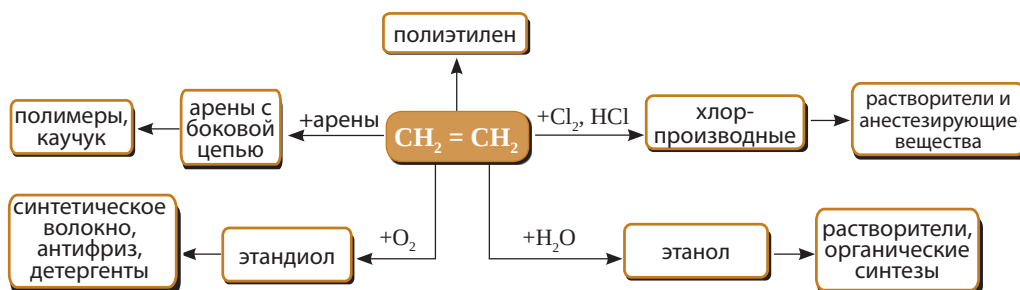
используемые как органические растворители или исходные вещества при получении других органических веществ. В последнее время количество метана, используемого в химической промышленности, значительно возросло вместе с его ценой. Его недостатком является тот факт, что он горит со взрывом, поэтому его утечка из трубопровода или из установки чрезвычайно опасна. В качестве исходного сырья используется не только метан, но и этан, этин, бензол (схемы 4.2–4.5).

Схема 4.2. Химическая переработка метана



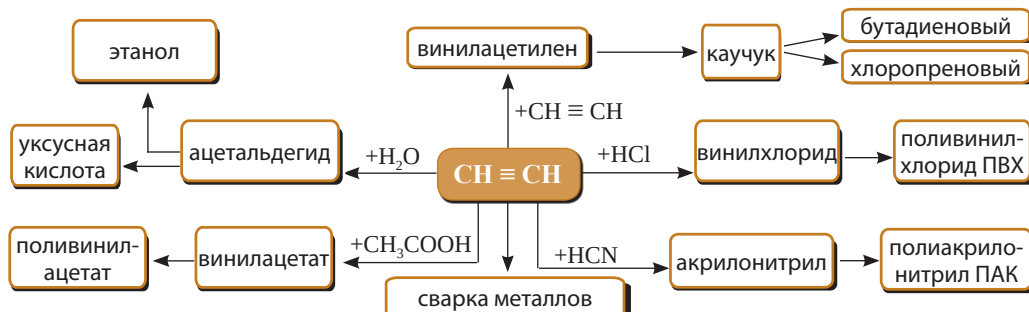
Этилен используется для получения различных органических продуктов. Большое его количество расходуется для получения полимеров (полиэтилен, полистирол и др.).

Схема 4.3. Применение этилена



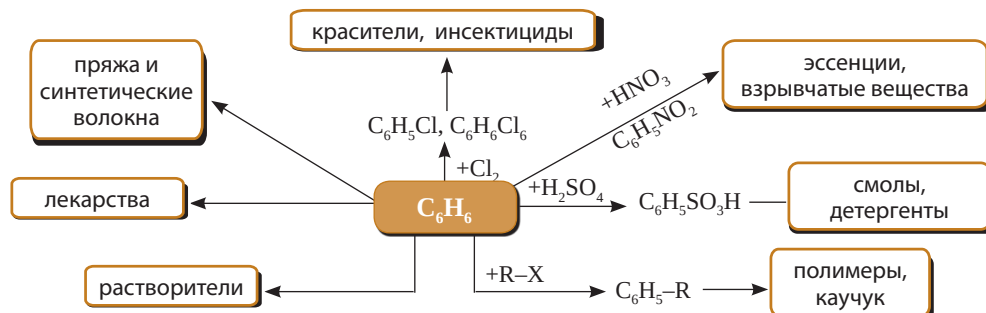
Ацетилен имеет широкое практическое применение: для резки и сварки металлов и как основное сырье для получения многих органических веществ.

Схема 4.4. Применение ацетилена



Бензол является исходным сырьем для получения большого количества промежуточных продуктов, необходимых для химической промышленности (нитробензол, стирол, хлорбензол, фенол и др.).

Схема 4.5. Применение бензола



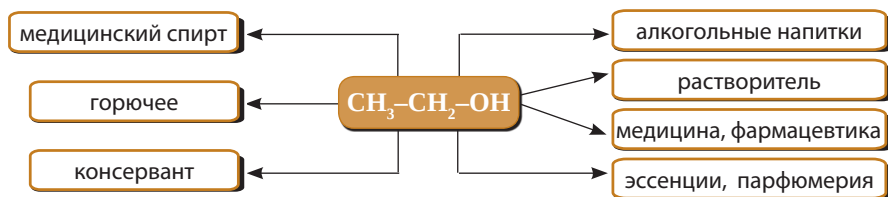
Творческое задание Проанализируй схемы, приведенные выше, и, воспользовавшись уже накопленными знаниями об углеводородах как сырье для получения необходимых веществ, напиши уравнения предлагаемых реакций, назвав полученные продукты и покажи применение их в повседневной жизни, а также их влияние на здоровье и качество жизни.

Практическое использование производных углеводородов

Изучив гомологические ряды основных классов органических соединений, особую важность их применения, опиши с помощью обоснованных схем влияние производных углеводородов на качество жизни и окружающую среду.

Этанол используется в химической и фармацевтической промышленности для получения сложных эфиров, для консервирования биологических препаратов, для стерилизации медицинских приборов, в парфюмерии (схема 4.6).

Схема 4.6. Применение этанола



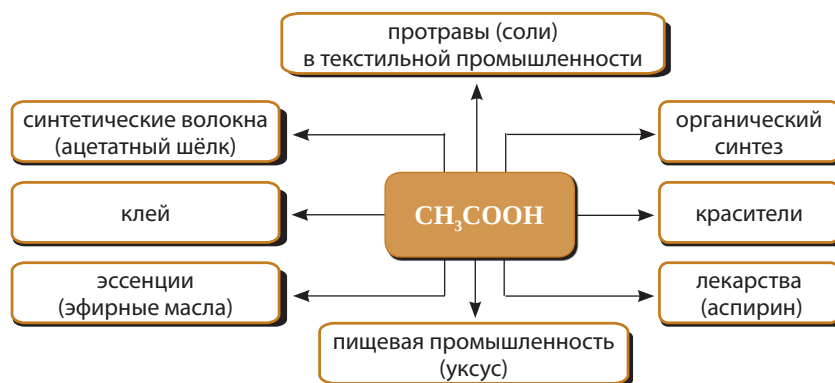
Глицерин имеет разнообразное применение. Большие его количества используются в производстве динамита, пластмасс, в фармацевтике и косметике, для смягчения тканей и кожи (схема 4.7).

Схема 4.7. Применение глицерина



Уксусная кислота используется как приправа (уксус), для консервирования пищевых продуктов, для приготовления эссенций. Некоторые соли уксусной кислоты используются при крашении (фиксаторы красителя) (схема 4.8).

Схема 4.8. Области применения уксусной кислоты



Творческое задание

Составь и представь коллегам проект на основе информации из схем 4.2–4.8.

Таким образом, можно с уверенностью утверждать, что соединения углерода и его производные способствуют решению ряда проблем сегодняшнего дня. Созданные в последние десятилетия искусственные полимерные вещества (пластмассы, каучуки, волокна, пленки, полимерные покрытия) благодаря многим ценным свойствам привели к перевороту в ряде отраслей промышленности. Использование в медицине лекарственных препаратов избавляет человека от многих недугов, что является одной из причин увеличения средней продолжительности жизни.

Синтез органических веществ

Известно, что качество и выход продуктов, производимых из разных исходных веществ, зависят от условий реакций, селективности применяемых катализаторов, температуры, которые обеспечивают хороший выход основного продукта. В то же время, очень важно производить продукцию без отходов, которые загрязняют окружающую среду.

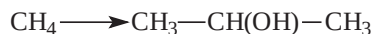
Исследуя структуры органических веществ, обладающих полезными свойствами, стало возможным получать их, используя синтез.

Роль органического синтеза хорошо известна. В органической химии понятие «синтез» подразумевает процесс получения органического вещества заданной структуры из других веществ в одну или несколько стадий. Число таких стадий может быть разным.

Пример 1. Исходя из метана, предложи последовательность реакций для синтеза пропан-2-ола из метана.

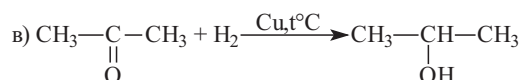
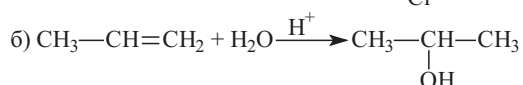
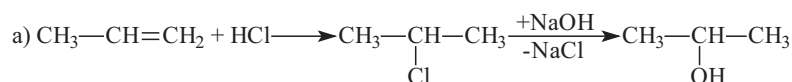
Решение:

1. Напишем структурные формулы исходного и конечного веществ:

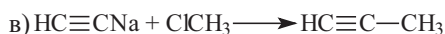


2. Сравнив структурные формулы, приходим к выводу: исходное вещество – это алкан с одним атомом углерода; конечное – вторичный спирт с тремя углеродными атомами в цепи.

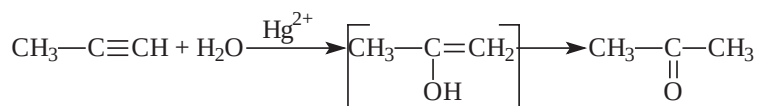
3. Напишем уравнения реакций, с помощью которых можно получить пропан-2-ол:



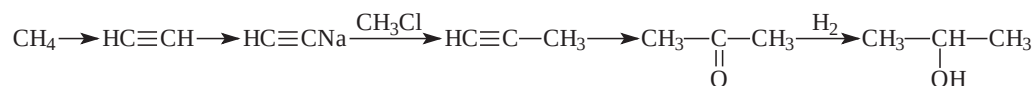
4. Для такого синтеза необходимо удлинить углеродную цепь до трех атомов. Воспользуемся следующими реакциями:



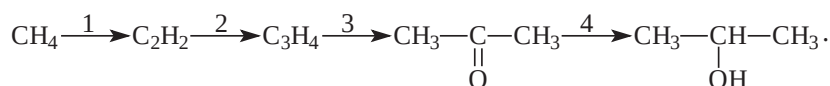
5. Для получения пропан-2-ола воспользуемся реакцией «в», затем получим пропанон, который, в свою очередь, может быть получен по реакции Кучерова:



6. Запишем итоговую схему синтеза:



От в е т: реакции протекают в следующей последовательности:



Работа в группе

Напишите последовательность реакций для выполнения следующих превращений:

А. 1-бромбутан → бут-2-ен;

Г. этан → этилацетат;

Б. метан → этанол;

Д. метан → фенол;

В. этан → уксусная кислота;

Е. пропан → пропанон.

4.3.

Практическое применение реакций идентификации производных углеводов

В процессе изучения классов органических веществ, ты узнал, что химические реакции отражают их свойства. Ты ознакомился также с качественными реакциями, которые служат для идентификации веществ того или иного класса (обесцвечивание бромной воды, реакция «серебряного зеркала», выделение CO_2).

Известен целый ряд специфических реакций, с помощью которых могут быть идентифицированы любые функциональные группы ($-\text{OH}$, $-\text{CHO}$, $-\text{COOH}$, $-\text{NH}_2$ и др.) в молекулах производных углеводов. Кратные связи ($\text{C}=\text{C}$, $-\text{C}\equiv\text{C}-$) тоже могут рассматриваться как функциональные группы. Одна и та же группа может быть определена с помощью нескольких реакций. В то же время, одной и той же реакцией могут быть идентифицированы несколько функциональных групп, поэтому для идентификации одной и той же функциональной группы нельзя ограничиваться одной единственной реакцией.

В таблице, представленной ниже, приведены основные функциональные группы производных углеводов и классы веществ, которые они представляют.

Таблица 4.1. Функциональные группы и классы органических веществ

Функциональная группа	Название группы	Название класса веществ	Общая формула
>C=C<	Двойная связь	Алкены	C_nH_{2n}
$-\text{C}\equiv\text{C}-$	Тройная связь	Алкины	$\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$
$-\text{X}$ (F, Cl, Br, I)	Галоген	Производные	R^1-X
$-\text{OH}$	Гидроксил	Спирты, фенолы	$\text{R}-\text{OH}$, $\text{Ar}-\text{OH}$
$-\text{*OR}$	Алкоксил	Простые эфиры	$\text{*R}-\text{OR}$
$-\text{NO}_2$	Нитро	Нитросоединения	$\text{R}-\text{NO}_2$
>C=O	Карбонил	*Альдегиды и кетоны	$\text{R}-\text{CH=O}$ $\text{*R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{R}$
$\text{-}\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$	*Карбоксил	*Карбоновые кислоты	$\text{*R}-\text{COOH}$
$\text{-}\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O-}$	Сложноэфирная	*Сложные эфиры	$\text{*R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{R}$

R^1 – углеводородный остаток

💡 Молекулы некоторых органических веществ могут содержать несколько одинаковых функциональных групп (полифункциональные вещества) или разных (вещества со смешанными функциями).

Далее представлены основные качественные реакции, которые позволяют идентифицировать некоторые производные углеводов, изученные в течение года (таблица 4.2). Эти реакции помогут решать экспериментальные задачи, которые встречаются в повседневной жизни.

Таблица 4.2. Качественные реакции для обнаружения органических веществ

Анализируемое вещество	Реагент	Наблюдаемый результат
Органические соединения с кратными связями между атомами углерода	Бромная вода, Реактив Байера-Вагнера (раствор перманганата калия)	Обесцвечивание темно-коричневого раствора при использовании брома; осаждение коричневых хлопьев оксида марганца (IV)
Алкины с концевой тройной связью	Свежеприготовленный аммиачный раствор гидроксида меди (I)	Красный осадок
Органические вещества, обладающие восстановительными свойствами	Реактив Фелинга (раствор, образовавшийся при действии на гидроксид меди (II) раствора калий-натрий тартрата) Свежеприготовленный раствор Толленса (аммиачный раствор гидроксида серебра)	При нагревании выпадает оксид меди (I) краснокирпичного цвета При нагревании раствор приобретает черную окраску, затем выпадает металлическое серебро (реакция «серебряного зеркала»)
Органические вещества, содержащие галоген	Медная проволока	Интенсивное зеленое пламя
Полиспирты	Свежеосажденный гидроксид меди (II)	Интенсивная синяя окраска
Фенолы	Раствор хлорида железа (III)	Красно-фиолетовая окраска
	Раствор NaOH, бромная вода	Белый осадок
Карбоновые кислоты	Раствор NaHCO ₃	Выделение газа (CO ₂)

Далее представлены типы экспериментальных задач, которые помогут закрепить теоретические знания о свойствах и методах получения органических веществ, которые часто встречаются в повседневной жизни.

Практическое применение

1. Экспериментальная задача, касающаяся характерных реакций классов органических веществ

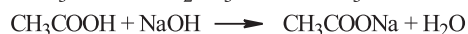
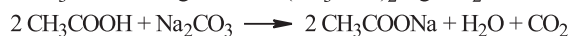
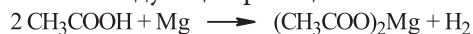
Пример 1: Прodelай реакции, характерные для уксусной кислоты.

Решение:

1. **Напишем** структурную формулу уксусной кислоты CH₃COOH и назовем класс к которому относится вещество: насыщенные монокарбоновые кислоты.

2. **Реакции**, характерные для карбоновых кислот: взаимодействие с металлами и их оксидами, с гидроксидами, солями спиртами.

3. **Напишем** уравнения следующих реакций:



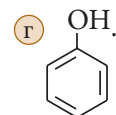
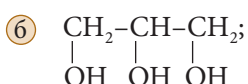
4. **Выполняем** реакции, представленные выше, которые характеризуют химические свойства насыщенных монокарбоновых кислот.

II. Экспериментальная задача по идентификации производных углеводов содержащие кислород

Пример 1. Определите содержимое 4 пронумерованных пробирок с различными веществами: этанол, глицерин, этаналь, фенол.

Р е ш е н и е:

1. **Запишем** структурные формулы этих веществ:



2. **Вспомним** характерные реакции для каждого класса веществ, которые находятся в каждой пробирке (анализируем *таблицу 4.2*).

3. Для спиртов с одной гидроксильной группой характерна реакция с металлическим натрием, при которой выделяется водород. Но эта реакция характерна также для глицерина и фенола.

4. Реакцией, характерной для глицерина, является взаимодействие с $\text{Cu}(\text{OH})_2$, при которой образуется интенсивная синяя окраска (Ни одно из трех остальных веществ не вступает в реакцию с этим реагентом.).

5. Ацетальдегид с аммиачным раствором Ag_2O дает реакцию «серебряного зеркала».

6. Фенол с бромной водой образует белый осадок (2,4,6-трибром-фенол), а с FeCl_3 фенол дает красно-фиолетовую окраску.

7. **Идентификацию** веществ следует проводить в следующем порядке:

а) Получаем гидроксид меди (II) при взаимодействии 5%-ных растворов CuSO_4 с NaOH и помещаем его в 4 пробирки.

б) В каждую из 4 пробирок с $\text{Cu}(\text{OH})_2$ прибавляем по 2–3 капли из 4 пробирок с веществами для идентификации. Содержимое пробирок энергично взбалтываем.

в) Наблюдаем, что в одной из пробирок осадок растворился, и появилась интенсивная синяя окраска, что говорит, о присутствии глицерина (вещество б).

г) В 3 пробирки прибавляем по 2–3 капли 2% раствора FeCl_3 , затем в каждую прибавляем по 2–3 капли из 3 пробирок с неидентифицированными веществами (этаналь, этанол, фенол).

д) Устанавливаем, что в одной из 3 пробирок появилась красно-фиолетовая окраска. Это фенол (г).

е) В оставшиеся 2 пробирки с неизвестными веществами прибавляем аммиачный раствор Ag_2O и слабо подогреваем, не встряхивая. Образование «серебряного зеркала» свидетельствует об этанале (вещество в).

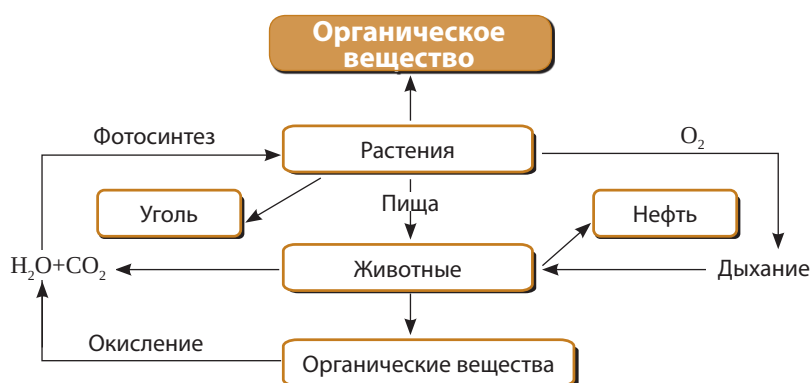
ж) В оставшейся пробирке находится этанол (а).

4.4.

Обобщение теоретических знаний
и их практическое применение

Из биологии вы знаете, что живая клетка принимает участие в непрерывных процессах: в клетку проникают и из нее удаляются различные вещества. Из курсов биологии и неорганической химии вы узнали о круговороте углерода в природе, в результате чего образуются и потребляются органические вещества (схема 4.9).

Схема 4.9. Образование и превращения органической массы в природе



Органические вещества попадают в организм с пищей. Они подвергаются многочисленным превращениям под действием многих ферментов и в итоге вместе с продуктами разложения выделяется энергия, необходимая живому организму.

Между химическими и биохимическими процессами в организме существуют определенные соотношения и взаимозависимость. Исходя из того, что биохимия исследует химические превращения в живом организме, появляется необходимость овладеть основными понятиями органической химии и правильно объяснять биохимические процессы, происходящие в клетке. Представление понятий органической химии основывается на взаимных превращениях органических веществ, на зависимости их свойств от структуры.

Поэтому очень важно углубленно изучить органические вещества, пользуясь алгоритмом: состав, строение, свойства, применение, начиная с самых простых и кончая самыми сложными, которые стоят в основе жизни на Земле.

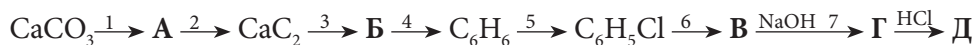
В этом смысле очень важно подобрать определенные схемы или алгоритмы для характеристики отдельных представителей или классов органических веществ.

Верным доказательством является то, что после изучения органических веществ ты понял корреляцию между составом, структурой, свойствами и применением. Это задача (см. Приложения) для каждого, кто разрабатывает характеристики органических веществ, для решения расчетных задач, для разработки планов исследования.

УПРАЖНЕНИЯ И ЗАДАЧИ ДЛЯ ОБОБЩЕНИЯ ЗНАНИЙ ПО ОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ

- Предложи возможные структуры углеводородов, которые содержат:
 - 4 первичных атома С, 2 третичных атома С, один вторичный и один четвертичный атом С;
 - только вторичные атомы С;
 - 5 вторичных атома С, один третичный и один первичный.
- Даны вещества:
 - 2,3-диметилбутан; б) бута-1,3-диен; в) 3-метилпент-1-ен; г) циклогексен; д) пент-1,3-диен; е) 1,4-гексадиен. Напиши структурные формулы упомянутых веществ и выбери для бута-1,3-диена его гомологи и изомеры.
- Укажи для пент-1-ина два изомера и 3 гомолога. Чем отличаются гомологи и изомеры?
- Напиши для гепт-1-ена по одному изомеру: а) цепи; б) положения двойной связи; в) функции.
- Отметь, какие из приведенных ниже веществ могут присоединять хлор: а) пропен; б) пропин; в) циклогексан; г) хлорэтен; д) хлорэтан; е) бута-1,3-диен; ж) пропан-1-ол; з) уксусная кислота; и) вилинацетат. Напиши уравнения соответствующих реакций и назови полученные продукты.
- Опиши структурные различия и химические свойства бун-1-ена и изобутена?
- Какие продукты образуются при присоединении воды к алкенам из предыдущего упражнения?
- При окислении толуола KMnO_4 в кислой среде образуется бензойная кислота. Какие продукты образуются при окислении 1,2-диметил- и 1,4-диметилбензола?
- Напиши структурные формулы 5 изомеров, содержащих бензольное кольцо для веществ с молекулярной формулой $\text{C}_7\text{H}_8\text{O}$.
- Напиши схему реакций получения пропанона, исходя из неорганических реагентов.
- Определи формулу предельного карбонильного соединения, содержащего 27,58% кислорода. Напиши его структурную формулу.
- Окисленное органическое соединение А проявляет следующие свойства:
 - восстанавливает аммиачный раствор Ag_2O до металла с выделением газа;
 - реагирует с этанолом, образуя единственное органическое вещество $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$;
 - выделяет водород при реакции с металлическим натрием.
 Установи структуру органического вещества А.
- Газообразный предельный углеводород А плотностью 0,715 г/л при нормальных условиях подвергнут следующим превращениям:

$$2\text{A} \longrightarrow \text{B} \xrightarrow[\text{- HCl}]{\text{C, 600}^\circ\text{C}} \text{B} \xrightarrow[\text{- HCl}]{\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}} \text{Г} \longrightarrow \text{Д} \xrightarrow[\text{KMnO}_4+\text{H}^+]{[\text{O}]} \text{Е} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$$
 Зная, что вещество Д это важный мономер при получении пластмасс, определи вещества А-Е.
- Напиши уравнения реакций следующих превращений:



ПРИЛОЖЕНИЯ

I. Алгоритм для характеристики любого органического вещества

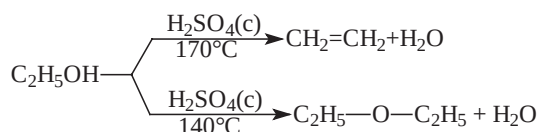
Пример 1. Составь алгоритм для характеристики органического вещества этанол.

Решение:

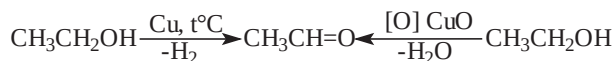
- Формула:** $\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—OH}$, $M_r = 46$.
- Состав:** Состав а) качественный: C, H, O; б) количественный: 57,17% C, 13,05% H, 34,78% O.
- Классификация:** алифатическое вещество с одной гидроксильной группой (спирт); общая формула $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}\text{OH}$.
- Гомологи:** CH_3OH (метанол); $\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—OH}$ (пропан-1-ол).
- Номенклатура:** систематическое название: от названия алкана с тем же числом атомов углерода с прибавлением суффикса -ол – этанол.
- Строение:** только простые связи $\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—}\ddot{\text{O}}\text{H}$, sp^3 -гибридизация атомов углерода, электронные смещения.
- Изомерия:** функциональная с диметиловым эфиром ($\text{CH}_3\text{—O—CH}_3$).
- Физические свойства:** жидкость с т. кип. = 78°C , со специфическим запахом и жгучим вкусом. Смешивается с водой в любых отношениях, горит с образованием CO_2 и H_2O . Не проводит электрический ток.
- Химические свойства:**
 - реагирует со щелочными металлами с образованием солей (этилатов), которые легко гидролизуются с образованием гидроксида металла и исходного спирта:



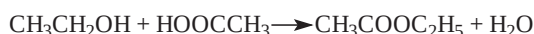
б) в присутствии концентрированной серной кислоты двояко подвергается дегидратации:



в) при гидрировании или окислении образует этаналь:



г) с минеральными и органическими кислотами образует сложные эфиры:



д) горит голубоватым пламенем: $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$

- Применение:** в химической и фармацевтической промышленности, для консервации анатомических препаратов, в парфюмерии и пищевой промышленности.

II. Алгоритм решения расчетных задач на вывод молекулярной формулы вещества

Для вывода молекулярной формулы необходимо знать:	
Молярную массу вещества	Соотношение числа атомов элементов в молекуле
Она задается в условиях:	Она задается:
1) в готовом виде	1) указанием класса вещества
2) через ρ (плотность газов при н.у.): $M = \rho \cdot V_m$	2) через массовые доли (ω) составляющих элементов
3) через D (относительная плотность газа): $M_1 = D \cdot M_2$	3) через мольные доли элементов, объем газа (при н.у.)
4) через соотношение m и V (н.у.): $\frac{m}{M} = \frac{V}{V_m}$	4) через количества продуктов сгорания реакции, в которой участвует вещество

В ходе изучения классов органических соединений ты решил целый ряд расчетных задач по определению молекулярных формул органических веществ по разным параметрам из условий задач. Количественные расчеты удобно выполнять при использовании понятия моль, что существенно упрощает расчеты. Ты убедился в этом, анализируя пути решения задач в каждом классе органических веществ.

Задача 1: Известно, что некоторые альдегиды входят в состав краски Sprey, которые удаляют пузырьки воздуха с окрашенного слоя. Упоминается, что если содержание альдегида в краске превышает 0,05%, на упаковке должно быть предупреждение об этом.

а) Определи молекулярную формулу альдегида в составе Sprey, если известно, что 3 г альдегида реагируют с аммиачным раствором оксида серебра(I) и образуется 21,6 г серебра.

б) На банке с краской должно быть специальное предупреждение, что в 500 г краски содержится 0,02 моля этого альдегида.

Этапы работы	Решение задачи
а) Определение молекулярной формулы альдегида 1) Краткая запись условия задачи: что известно и что надо определить	Дано: а) $m(C_nH_{2n}O) = 3 \text{ г}$ $m(Ag) = 21,6 \text{ г}$ б) $\nu(C_nH_{2n}O) = 0,02 \text{ моль}$ $m(\text{краски}) = 500 \text{ г}$ ----- а) Молекулярная формула альдегида? б) Необходимо отметить предупреждение на упаковке.

2) Запись и уравнивание реакции	$\underline{\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}} + \text{Ag}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_2 + \underline{2\text{Ag}}$
3) Подчеркивание формул веществ, которые вступили в реакцию: в молях в граммах	$\begin{array}{ccc} 3 / (14n + 16) \text{ моль} & & 0,2 \text{ моль} \\ 3 \text{ г} & & 21,6 \text{ г} \\ \underline{\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}} + \text{Ag}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_2 + \underline{2\text{Ag}} \\ 1 \text{ моль} & & 2 \text{ моль Ag} \\ (14n + 16) \text{ г} & & 216 \text{ г Ag} \end{array}$ Где: $M(\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}) = (14n + 16) \text{ г/моль}$
4) Составляем пропорцию: в молях в граммах	$3 \text{ г} / 14n + 16 \text{ г/моль/моль} = 0,2 \text{ моль/моль}$ $2(3 / 14n + 16) = 0,2$ $3 / (14n + 16) = 0,1, \text{ где } n = 1$ Таким образом, формула альдегида: CH_2O. $3 / 14n + 16 = 21,6 / 216, \text{ где } n = 1$ Молекулярная формула альдегида: CH_2O.
б) Определение необходимости предупреждения на упаковке 1. Вычисление необходимой массы альдегида, исходя из условия задачи 2. Вычисление реальной массы альдегида	Из условия задачи: $\omega(\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}) = 0,05\%$; $m(\text{краски}) = 500 \text{ г}$ Из уравнения: Принятый $\omega\% = \text{принятой } m(\text{CH}_2\text{O}) \cdot 100\% / m(\text{краски}) \text{ г}$ Принятая $m(\text{CH}_2\text{O}) = 500 \text{ г} \cdot 0,05\% / 100\% = 0,25 \text{ г}$ Реальная $m(\text{CH}_2\text{O}) = \nu \cdot M = 0,02 \text{ моль} \cdot 30 \text{ г/моль} = 0,6 \text{ г}$, где $M(\text{CH}_2\text{O}) = 30 \text{ г/моль}$ Т.к. $0,6 \text{ г} > 0,25 \text{ г}$, значит необходимо отметить предупреждения на упаковке. Или в %: $\omega(\text{CH}_2\text{O}) = 0,6 \text{ г} / 500 \text{ г} \cdot 100\% = 0,12\%$ Потому что $0,12\% > 0,05\%$, таким образом, необходимо отметить предупреждения на упаковке.
Ответ: а) Молекулярная формула альдегида: CH_2O метаналь (муравьиный альдегид). б) Поскольку $0,12\% > 0,05\%$, поэтому необходимо отметить предупреждение на упаковке.	

Творческое задание**Реши задачу.**

Пропановая кислота (Е-280) не только придает специфический запах чипсам и сухарям, но и увеличивает срок хранения.

Водород, образовавшийся при реакции пропановой кислоты с избытком металлического натрия, полностью реагирует с 2,24 л этина (при н.у.). Требуется:

- а) вычислить массу пропановой кислоты, принявшей участие в реакции;
- б) определить, нарушится ли право потребителя при использовании найденного количества кислоты для производства 10 кг чипсов (максимально допустимая норма – 1 г пропановой кислоты на 1 кг продукта).

Воспользуйся следующим алгоритмом:

1. Коротко запиши условие задачи.
2. Определи количество вещества (v) (этина), воспользовавшись соотношением V/V_m .
3. Напиши уравнение реакции гидрирования этина.
4. Подчеркни формулы веществ, которые будут использованы при расчетах.
5. Определи количество вещества водорода $v(H_2)$.
6. Напиши уравнение реакции пропановой кислоты с металлическим натрием (выделение водорода).
7. Вычисли количество вещества пропановой кислоты по уравнению реакции.
8. Определи, не нарушены ли права потребителей.

III. Алгоритм разработки и оценки проекта исследований

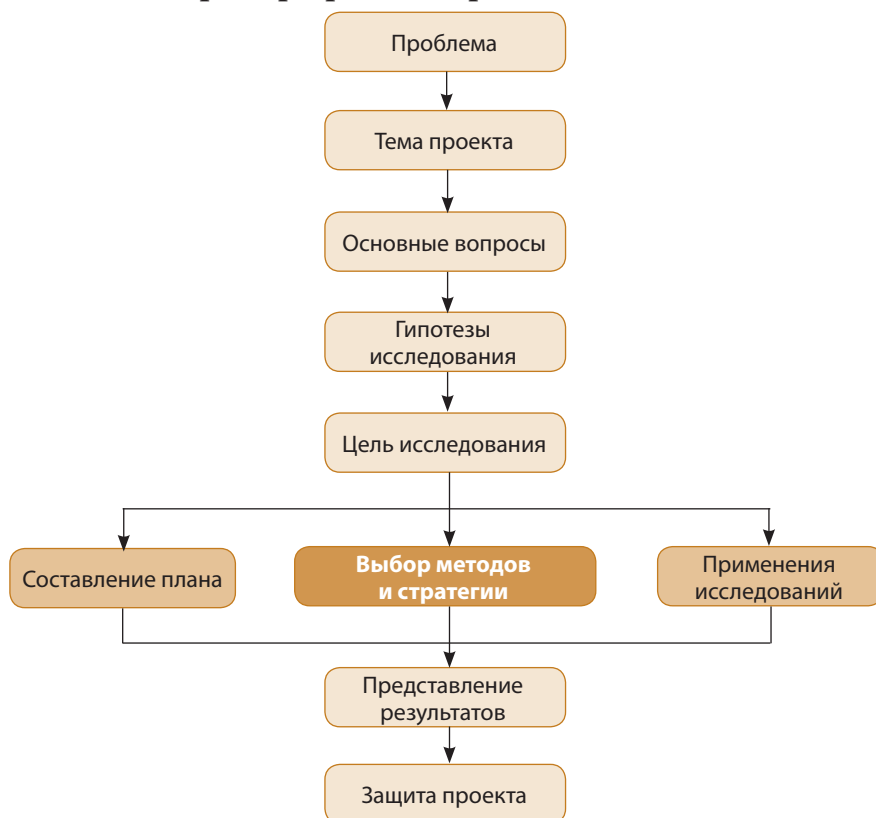
Изучение через проектирование ставит вас в ситуацию достоверного исследования, обеспечивает развитие навыков общения, развивает вашу настойчивость, критическое мышление и навыки сотрудничества. Проектный метод требует прямой связи с источниками информации, приводит к повторному открытию истины, дает возможность ответить на вопрос: «*что я могу сделать с тем, чему я научился в школе?*».

Знаменитый Ж.Ж. Руссо писал: «Приблизьте ребенка к проблеме и позвольте ему самому ее решать, не основываясь на том, что вы ему сказали, а на том, как он сам ее понимает».

Каковы этапы разработки и критерии оценки проекта исследований?

В заключение предлагаем разработанный алгоритм и критерии оценки проекта исследований.

Алгоритм разработки проекта исследования



Основные критерии оценки проекта

№	Критерии оценки проекта
1.	Актуальность темы.
2.	Обоснование затронутой темы, выполнение поставленных задач.
3.	Практическая важность проекта.
4.	Независимость участия каждого члена группы.
5.	Согласование результатов соответствующих плану.
6.	Обоснование выводов.
7.	Оригинальность и разнообразие концепций разработки и реализации проекта.
8.	Правильность и отсутствие грамматических ошибок в изложении.
9.	Владение теоретическим материалом, освещенным в проекте.
10.	Правильное представление полученных результатов.
11.	Правильные ответы на вопросы.
12.	Способность аргументировать собственные концепции.

Таблица 4.3. Темы для творческих проектов

№ п/п	Тема реферата	Проблемы, которые необходимо обсудить	Литературные источники
1.	Нефть и ископаемые угли – источники органического сырья	- состав воздуха; - природные и искусственные источники загрязнений; - последствия воздушных загрязнений; - меры по предотвращению и борьбы с загрязнениями воздуха.	Учебники по химии: Неницеску К. Д., „Органическая химия” – том I и II, Бухарест, 1980; Сайты: http://www.cco.ro/ http://ro.wikipedia.org/wiki/Petrol
2.	Экологически чистое топливо. Защита среды от загрязнений, образующихся при использовании природного газа и нефти	- неорганические загрязнения; - органические загрязнения; - физические загрязнения; - радиоактивные загрязнения; - средства борьбы с загрязнениями окружающей среды.	http://www.gov.md >2010/06>br
3.	Выгоды и неудобства применения полимеров и пластмасс в повседневной жизни	- понятия о мономерах и полимерах; - получение пластических масс; - области применения; - проблема повторного использования полимеров; - метки на упаковках из пластмасс.	http://www.referatele.com/referate/chimie/online7/ Пластмассы
4.	Фреоны – вредные для атмосферы газы	- методы получения; - применение фреонов; - тетрафторэтен в качестве мономера; - «парниковый эффект» и климатические отклонения.	http://facultate.regielive.ro/referate/chimie-organica/freonii-distrugetrastratului-de-ozon-245837.html
5.	Эссенции и парфюмерные препараты на основе сложных эфиров карбоновых кислот	- реакции этерификации; - физические и химические свойства сложных эфиров.	http://www.referat.ro/referate/Esente_si_parfumuri_2436.html
6.	Курение и рак	- химический состав табака; - методы борьбы и профилактики курения; - статистические данные о числе курильщиков среди взрослого населения.	Melnic B., Țabâră C., Duca Gh., „Chimia, Stresul și Tumoarea”, Editura „Universul”, Chișinău, 1997
7.	Алкоголь и рак	- статистические данные о количестве алкоголя, потребляемого населением Молдовы.	Ionescu A., Barabaș N., Lungu V., „Ecologia și protecția mediului”, Călimănești, 2002
8.	Жевательная резинка – продукт с ненасыщенным характером	- краткая история; - состав жевательной резинки; - дополнительное питание из компонентов жевательной резинки.	sanatate>guma;">http://www.ro>sanatate>guma; avantaje">http://romaniatv.net>avantaje
9.	Маркетинг ароматов – технология современной торговли	- арома-маркетинг – новое направление в искусстве продавцов; - цель арома-маркетинга.	uslugi>aromadesign">http://www.aromamedia.ru>uslugi>aromadesign
10.	Органические вещества в природе и в человеческом организме	- биогенные элементы; - роль органических веществ в живом организме; - источники органического вещества на Земле.	http://www.chemistry-expo.ru >Статьи 2016

Периодическая таблица химических элементов

I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII	
1	Водород H 1,0079													2 Гелий He 4,0026	
3	Литий Li 6,941	4 Бериллий Be 9,01218	5 Бор B 10,81	6 Углерод C 12,011	7 Азот N 14,0067	8 Кислород O 15,9994	9 Фтор F 18,9984	10 Неон Ne 20,179							
11	Натрий Na 22,98977	12 Магний Mg 24,305	13 Алюминий Al 26,98154	14 Кремний Si 28,0855	15 Фосфор P 30,97376	16 Сера S 32,06	17 Хлор Cl 35,453	18 Аргон Ar 39,948							
19	Калий K 39,0983	20 Кальций Ca 40,08	21 Скандий Sc 44,9559	22 Титан Ti 47,88	23 Ванадий V 50,9415	24 Хром Cr 51,996	25 Марганец Mn 54,938	26 Железо Fe 55,847	27 Кобальт Co 58,9332	28 Никель Ni 58,69					
29	Медь Cu 63,546	30 Цинк Zn 65,38	31 Галлий Ga 69,72	32 Германий Ge 72,59	33 Мышьяк As 74,9216	34 Селен Se 78,96	35 Бром Br 79,904	36 Криптон Kr 83,80							
37	Рубидий Rb 85,4678	38 Стронций Sr 87,62	39 Иттрий Y 88,9059	40 Цирконий Zr 91,22	41 Ниобий Nb 92,9064	42 Молибден Mo 95,94	43 Технеций Tc [98]	44 Рутений Ru 101,07	45 Родий Rh 102,9055	46 Палладий Pd 106,42					
47	Серебро Ag 107,868	48 Кадмий Cd 112,41	49 Индий In 114,82	50 Олово Sn 118,69	51 Сурьма Sb 121,75	52 Теллур Te 127,60	53 Йод I 126,9045	54 Ксенон Xe 131,29							
55	Цезий Cs 132,9054	56 Барий Ba 137,33	57* Лантан La 138,9055	72 Гафний Hf 178,49	73 Тантал Ta 180,9479	74 Вольфрам W 183,85	75 Рений Re 186,207	76 Осмий Os 190,2	77 Иридий Ir 192,22	78 Платина Pt 195,08					
79	Золото Au 196,9665	80 Ртуть Hg 200,59	81 Таллий Tl 204,383	82 Свинец Pb 207,2	83 Висмут Bi 208,9804	84 Полоний Po [209]	85 Астат At [210]	86 Радон Rn [222]							
87	Франций Fr [223]	88 Радий Ra 226,0254	89** Актиний Ac 237,0278	104 Резерфордий Rf [261]	105 Дубний Db [262]	106 Сиборгий Sg [263]	107 Борий Bh [267]	108 Хасий Hs [267,13]	109 Мейтнерий Mt [268,14]	110 Дармштадтий Ds [281]					
*Лантаноиды															
58	Церий Ce 140,12	59 Прометий Pr 140,9077	60 Неодим Nd 144,24	61 Прометий Pm [145]	62 Самарий Sm 150,36	63 Европий Eu 151,96	64 Гадолиний Gd 157,25	65 Тербий Tb 158,9254	66 Диспрозий Dy 162,50	67 Гольмий Ho 164,9304	68 Эрбий Er 167,26	69 Тулий Tm 168,9342	70 Иттербий Yb 173,04	71 Лютеций Lu 174,967	
**Актиноиды															
90	Торий Th 232,0381	91 Протактиний Pa 231,0359	92 Уран U 238,0389	93 Нептуний Np 237,0482	94 Плутоний Pu [244]	95 Америций Am [243]	96 Кюрий Cm [247]	97 Берклий Bk [247]	98 Калифорний Cf [251]	99 Эйнштейний Es [252]	100 Фермий Fm [257]	101 Менделеев Md [258]	102 Нобелий No [259,10]	103 Лоуренсий Lr [260]	

Coperta: **Andrei Gangan**
Redactor: *Lidia Serghienko-Ciobanu*
Redactor artistic: *Tatiana Melnic*
Prelucrarea imaginilor, prepress: *Elena Popovschi*

Editura Lumina, bd. Ștefan cel Mare, nr. 180, Chișinău, MD-2004,
Tel. 29-58-68; e-mail: luminamd@mail.ru
Tiparul executat la Tipografia Centrală,
str. Florilor 1, Chișinău, MD-2068
Comanda nr. 1894