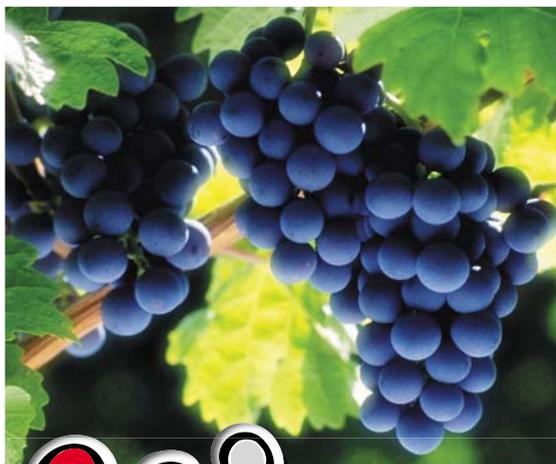




О. С. Габриелян  
И. Г. Остроумов  
С. А. Сладков

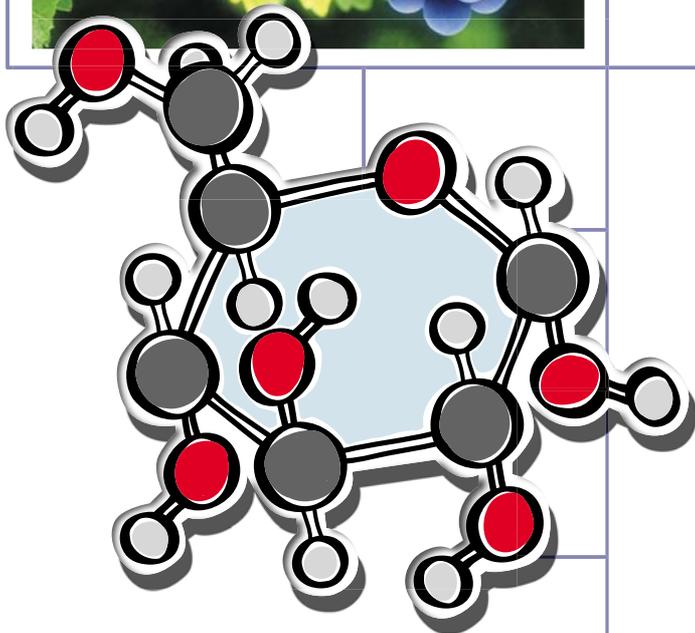
# ХИМИЯ



$\text{H}$  <sup>1</sup><sub>1,00797</sub>  
Водород

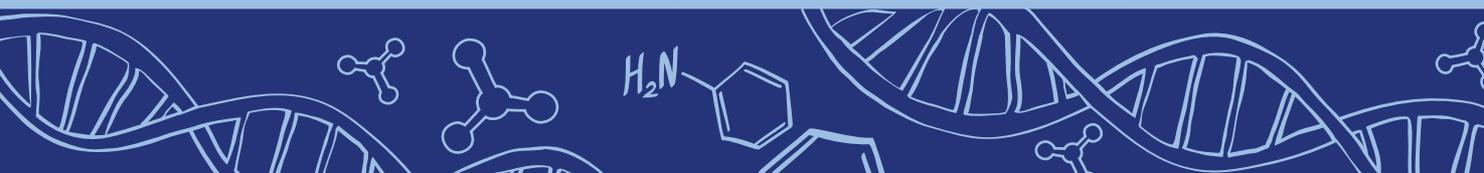
$\text{C}$  <sup>6</sup><sub>12,01115</sub>  
Углерод

$\text{N}$  <sup>7</sup><sub>14,0067</sub>  
Азот



# 10

БАЗОВЫЙ  
УРОВЕНЬ



О. С. Габриелян  
И. Г. Остроумов  
С. А. Сладков

# ХИМИЯ

# 10 класс

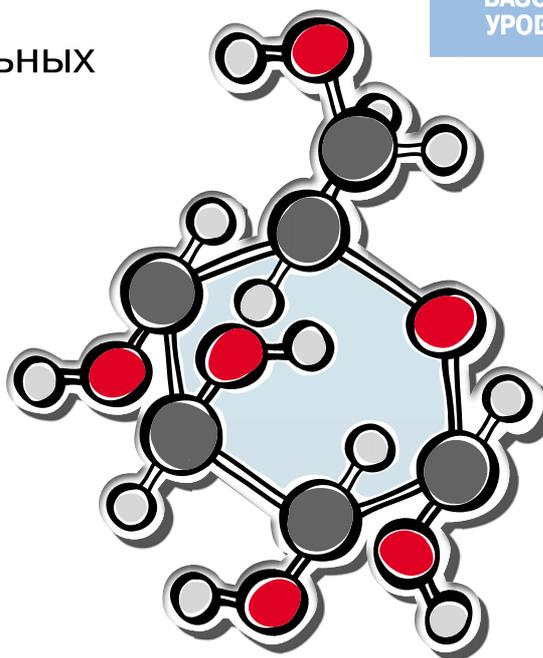
Учебник  
для общеобразовательных  
организаций

Допущено  
Министерством просвещения  
Российской Федерации

4-е издание, стереотипное

Москва  
«Просвещение»  
2022

БАЗОВЫЙ  
УРОВЕНЬ



УДК 373:54+54(075.3)  
ББК 24я721  
Г12

На учебник получены **положительные** заключения **научной** (заключение РАО № 1177 от 28.11.2016 г.), **педагогической** (заключение РАО № 1068 от 21.11.2016 г.) и **общественной** (заключение РКС № 446-ОЭ от 22.12.2016 г.) экспертиз.

Издание выходит в pdf-формате.

**Габриелян, Олег Сергеевич.**

Г12 Химия. 10 класс : учеб. для общеобразоват. организаций : базовый уровень : издание в pdf-формате / О. С. Габриелян, И. Г. Остроумов, С. А. Сладков. — 4-е изд., стер. — Москва : Просвещение, 2022. — 128 с. : ил.

ISBN 978-5-09-101650-5 (электр. изд.). — Текст : электронный.  
ISBN 978-5-09-088241-5 (печ. изд.).

Учебник является первой частью линии учебников по химии базового уровня О. С. Габриеляна, И. Г. Остроумова и С. А. Сладкова для средней школы. Он знакомит старшеклассников с богатым миром органических веществ и реализует идею взаимосвязи химического строения этих веществ с их свойствами и применением. Учебник создан в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта среднего общего образования.

УДК 373:54+54(075.3)  
ББК 24я721

Учебное издание  
**Габриелян Олег Сергеевич**  
**Остроумов Игорь Геннадьевич**  
**Сладков Сергей Анатольевич**

**Химия**  
**10 класс**

Учебник для общеобразовательных организаций  
Базовый уровень

Редакция химии

Заведующий редакцией *Е. Г. Локотко*. Ответственный за выпуск *Л. Н. Кузнецова*.  
Редакторы *Л. Н. Коробкова*, *Л. Н. Кузнецова*. Руководитель проекта *С. А. Сладков*.

Художественный редактор *Т. В. Глушкова*. Макет *О. Г. Ивановой*. Внешнее оформление *А. И. Савченко*. Компьютерная вёрстка и техническое редактирование *О. С. Ивановой*. Корректоры *М. С. Амелькина*, *Ю. С. Борисенко*.

Налоговая льгота — Общероссийский классификатор продукции ОК 005-93—953000.

Изд. лиц. Серия ИД № 05824 от 12.09.01. Подписано в печать 04.08.2021.

Формат 84 × 108<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Гарнитура SchoolBookCSanPin.

Печать офсетная. Уч.-изд. л. 9,39. Тираж экз. Заказ № .

Акционерное общество «Издательство «Просвещение».

Российская Федерация, 127473, г. Москва, ул. Краснопролетарская, д. 16,  
стр. 3, этаж 4, помещение I.

Адрес электронной почты «Горячей линии» — [vopros@prosv.ru](mailto:vopros@prosv.ru).

ISBN 978-5-09-101650-5 (электр. изд.)  
ISBN 978-5-09-088241-5 (печ. изд.)

© Издательство «Просвещение», 2019  
© Художественное оформление.  
Издательство «Просвещение», 2019  
Все права защищены

## ПРЕДИСЛОВИЕ

### *Дорогие старшеклассники!*

Химики каждый день открывают и создают десятки и сотни новых веществ. Общее число этих веществ превышает 100 млн. Свыше 95 % этих веществ и характерных для них реакций относится к предмету органической химии, которую вы начинаете изучать в 10 классе на базовом уровне.

В 9 классе основной школы вы кратко знакомитесь с некоторыми органическими веществами: представителями углеводов, одно- и многоатомными спиртами, органическими кислотами. В курсе 10 класса вам предстоит более подробно рассмотреть состав, свойства и основанное на этих свойствах применение важнейших представителей отдельных классов органических соединений. Органические соединения и материалы из них играют большую роль в любой сфере жизни современного человека, поэтому учебный материал авторы постарались связать не только с повседневной жизнью, но и с историей, литературой, искусством, здоровьесбережением, экологической безопасностью.

У главного входа в здание химического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова стоят два памятника выдающимся русским учёным-химикам: Д. И. Менделееву и А. М. Бутлерову. Почему же из плеяды блестящих деятелей российской химической науки были выбраны именно эти учёные? Дело в том, что на их научных достижениях базируется вся современная химия. Периодический закон Д. И. Менделеева — это теоретическая основа общей и неорганической химии, а теория строения органических соединений А. М. Бутлерова — теоретическая база органической химии. Знакомясь в этом учебном году с миром органических веществ, вы будете опираться на бутлеровскую теорию строения органических соединений.



Памятники А. М. Бутлерову (слева) и Д. И. Менделееву (справа) у главного входа в здание химического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова

Как и в учебниках основной школы, в этом учебнике также предусмотрена система обозначений, которая поможет вам ориентироваться в материале.



Так обозначен вопрос в начале каждого параграфа. Изучив текст параграфа, вы обязательно найдёте на него ответ.



Вопрос, над которым авторы предлагают поразмышлять, а затем дать обоснованный ответ.

В рамках приведены определения, которые вам необходимо выучить.

### Лабораторный эксперимент

Под таким заголовком даётся описание лабораторных опытов, которые вы будете самостоятельно проводить в кабинете химии.



Так обозначены основные понятия каждого параграфа.

В конце каждого параграфа вам предлагается выполнить серию заданий.

### Проверьте свои знания

В этой рубрике собраны вопросы и задания, вся информация для выполнения которых содержится в параграфе.

### Примените свои знания

При выполнении заданий этой рубрики вам нужно применить полученные знания в конкретной ситуации, например при составлении уравнений реакций или решении задач. Ответы на расчётные задачи вы найдёте в конце учебника.

### Используйте дополнительную информацию

При выполнении заданий этой рубрики нужно использовать материал из разных источников.

### Выразите своё мнение

При выполнении заданий этой рубрики вам нужно не только ответить на вопрос, но и обосновать свой ответ, дать собственную оценку какому-либо явлению.

В конце каждой главы приведены краткие выводы, которые позволяют быстро повторить учебный материал.

Успехов вам в изучении органической химии — науки, без которой невозможно существование современного общества!

*Авторы*

# I

*ПРЕДМЕТ  
ОРГАНИЧЕСКОЙ  
ХИМИИ.  
ТЕОРИЯ СТРОЕНИЯ  
ОРГАНИЧЕСКИХ  
СОЕДИНЕНИЙ*

A green-tinted, tilted portion of the periodic table of elements. The elements shown include:

Be БЕРИЛЛИЙ 9,0122	Mg МАГНИЙ 24,305	Ca КАЛЬЦИЙ 40,078	Zn ЦИНК 65,39	Ga ГАЛЛИЙ 69,723	
Cu МЕДЬ 63,546	Sr СТРОНЦИЙ 87,62	Cd КАДМИЙ 112,41	In ИНДИЙ 114,82	La-Lu ★	
Rb РУБИДИЙ 85,4678	Ag СЕРЕБРО 107,8682	Ba БАРИЙ 137,33	Hg РТУТЬ 200,59	Tl ТАЛЛИЙ 204,383	Pb СВИНЕЦ 207,2
Cs ЦЕЗИЙ 132,9054	Au ЗОЛОТО 196,9665	Ra РАДИЙ [226]	Ac-Lr ★★	Fr Франций [223]	RO

# § 1. ПРЕДМЕТ ОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ



В основной школе на уроках химии вы изучали неорганические вещества. В чём сходство между органическими и неорганическими веществами? В чём их различия?

С глубокой древности человек использовал в своих целях вещества живой и неживой природы. Из осколков камней наши предки изготавливали наконечники стрел, из руд выплавляли металлы, глину и известняк использовали для строительства жилищ, из мрамора высекали скульптуры. Вещества природного происхождения служили источником пищи, применялись для изготовления одежды, приготовления лекарств, ядов, красителей.

Первые попытки классификации веществ были предприняты ещё в IX—X вв. Арабский алхимик Абу Бакр ар-Рази (865—925) впервые разделил вещества на представителей «минерального, растительного и животного царств». Такое разделение основывалось на том, что «растительные и животные» вещества обладают похожими свойствами: легко разрушаются при нагревании, горят, имеют невысокие температуры кипения и плавления, растворяются в спиртах и маслах. Эта классификация просуществовала почти тысячу лет!

В начале XIX в. число веществ, которые были выделены из объектов живой природы, стало стремительно расти. По предложению выдающегося шведского химика Йёнса Якоба Берцелиуса вещества живой природы стали называть *органическими* в противоположность минеральным, т. е. *неорганическим*, веществам.

Были замечены и другие общие особенности органических соединений. При горении все они в основном образуют углекислый газ, сажу, воду и некоторые другие соединения, а следовательно, обязательно содержат в своём составе углерод.

**Органическими веществами** называют соединения углерода, за исключением оксидов углерода, угольной кислоты и её солей, карбидов и некоторых других.

На ранних этапах развития химии учёные считали, что органические вещества могут образовываться только в живых организмах под действием некой «жизненной силы» (по-латыни *vis vitalis*). Учение о химическом родстве всех живых организмов получило название **витализм**. Сторонники витализма полагали, что жизненная сила представляет собой неотъемлемый атрибут живых существ и, следовательно, получить органические вещества вне организма, в пробирке или реакторе, невозможно.

Однако ряд открытий, сделанных в середине XIX в., показал, что сторонники витализма глубоко заблуждались.

В 1828 г. немецкий химик Фридрих Вёлер впервые получил органическое вещество — мочевины из неорганической соли (цианата аммония). В 1854 г. французский учёный Марселен Бертло синтезировал аналоги природных жиров, затем в 1861 г. русский химик Александр Михайлович Бутлеров — аналог

природного сахара. В конечном счёте под давлением экспериментальных фактов витализм потерпел крах.

### Предмет органической химии

Постепенно изучение состава и свойств органических веществ выделилось в самостоятельный раздел химической науки — органическую химию.

Было обнаружено, что большое число органических веществ построено из атомов всего двух химических элементов — углерода и водорода. Такие соединения называют **углеводородами**. Состав углеводородов выражают **общей формулой**  $C_xH_y$ , где между индексами  $x$  и  $y$  существует строгое математическое соотношение.

Углеводороды занимают особое место в органической химии, поскольку соединения всех остальных классов органических веществ можно рассматривать как их *производные*. Например, если в молекуле метана  $CH_4$  один атом водорода заместить карбоксильной группой —COOH, то получится молекула известной вам уксусной кислоты  $CH_3COOH$ . Замена одного атома водорода в этане  $C_2H_6$  на гидроксильную группу —OH даст в результате молекулу этилового спирта  $C_2H_5OH$ . Таким образом, и карбоновые кислоты, и спирты (важнейшие классы органических соединений) можно считать производными углеводородов.

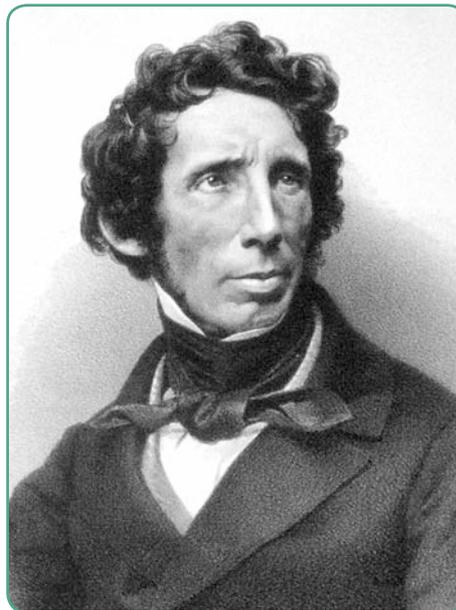
Немецкий химик-органик Карл Шорлеммер более ста лет назад сформулировал классическое определение органической химии, не потерявшее своей актуальности до сих пор.

**Органическая химия** представляет собой химию углеводородов и их производных, т. е. продуктов замещения атомов водорода в молекулах углеводородов на другие атомы или группы атомов.

### Природные, искусственные и синтетические органические вещества

Поняв, как построены органические соединения, учёные научились не только получать их в лаборатории, но и химически модифицировать, т. е. изменять их строение. Мало того, химики смогли синтезировать соединения углерода, никогда не существовавшие в природе. Таким образом, по происхождению органические вещества можно разделить на три группы: природные, искусственные и синтетические.

**Природные органические вещества** — это продукты жизнедеятельности любых живых организмов. Название веществ этой группы говорит о том, что в окружающей среде такие соединения существуют независимо от человека, их можно выделить из природных объектов, будь то полезные ископаемые (нефть, газ, каменный уголь, горючие сланцы), растения или животные (рис. 1).



Фридрих Вёлер (1800—1882)

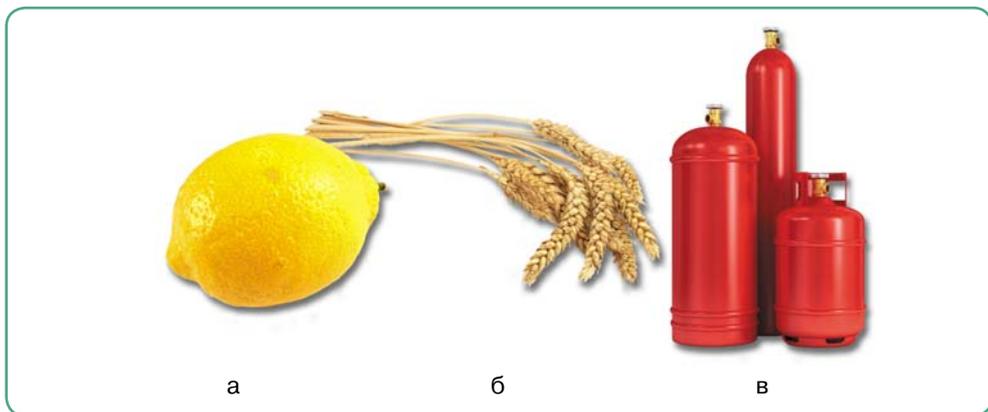


Рис. 1. Природные органические вещества: *а* — лимонная кислота в лимонах; *б* — крахмал в зёрнах злаков; *в* — углеводороды в составе природного газа

**Искусственные органические вещества** — это продукты химической модификации природных органических соединений, в результате которой происходит изменение состава и строения исходного вещества с целью придания ему требуемых свойств. Например, в результате химической обработки целлюлозы (основной составной части древесины) получают не существующие в природе волокна (ацетатное, медно-аммиачное, вискозное) и пластмассу (целлулоид) (рис. 2).

**Синтетические органические вещества** «рождаются» в пробирках учёных или в реакторах промышленных предприятий и никогда не встречаются в природе. Пожалуй, сегодня это самая многочисленная группа органических веществ, куда входят лекарства, средства бытовой химии, синтетические каучуки, ядохимикаты, пластмассы, красители и др. (рис. 3).

### Многообразие органических веществ

Органических веществ гораздо больше, чем неорганических: на сегодняшний день органических веществ насчитывают более 100 млн, а число неорганических не превышает 500 тысяч. Это во многом определяется особенностями строения органических соединений.



Рис. 2. Искусственные органические вещества: *слева* — ацетат целлюлозы в волокнах и тканях; *в центре* — нитрат целлюлозы в лаках и красках; *справа* — пластмасса целлулоид



Рис. 3. Синтетические органические вещества содержатся в моющих средствах (поверхностно-активные вещества), в лекарственных препаратах, в пластмассах и синтетических волокнах

Почему один химический элемент — углерод — входит в состав сотни миллионов соединений, а все остальные элементы способны образовать только около полумиллиона веществ?



Одна из причин уникальности углерода как родоначальника органических соединений была выяснена ещё в середине XIX в. Великий русский учёный Дмитрий Иванович Менделеев в учебнике «Основы химии» (рис. 4) писал: «Углерод встречается в природе как в свободном, так и в соединительном состоянии, в весьма различных формах и видах... Способность атомов углерода соединяться между собой и давать сложные частицы проявляется во всех углеродистых соединениях... Ни в одном из элементов... способности к усложнению не развито в такой степени, как в углероде... Ни одна пара элементов не даёт столь много соединений, как углерод с водородом».

Выдающуюся роль в решении вопроса о строении органических соединений сыграл русский химик А. М. Бутлеров. Об этом пойдёт речь в следующем параграфе.

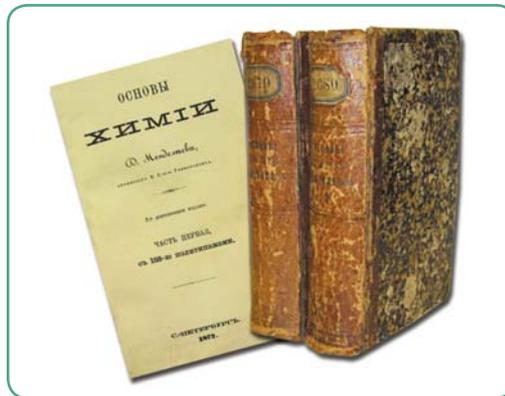


Рис. 4. Д. И. Менделеев. «Основы химии» (учебник, издание 1872 г.)

**Органические вещества. Витализм. Органическая химия. Углеводороды. Общая формула углеводородов. Природные, искусственные и синтетические органические вещества**



### Проверьте свои знания

1. Какие вещества называют органическими? Приведите примеры органических веществ, знакомых вам из курса химии 9 класса.
2. Из приведённого списка выберите формулы органических веществ:  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ ,  $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$ ,  $\text{C}_6\text{H}_6$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{HCOONa}$ ,  $\text{CH}_3\text{NH}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{KNO}_3$ . Рассчитайте массовую долю углерода в этих веществах.
3. Что изучает органическая химия? Охарактеризуйте отличительные особенности органических веществ.
4. Приведите примеры природных, искусственных и синтетических органических веществ.

### Примените свои знания

5. Массовая доля углерода в углеводороде составляет 90,0 %. Относительная плотность этого газа по водороду равна 20. Найдите формулу углеводорода.

### Используйте дополнительную информацию

6. Подготовьте сообщение по теме «История развития органической химии».

### Выразите своё мнение

7. В чём сущность витализма? Являлось ли это учение строго научным? Каким образом удалось доказать несостоятельность витализма? Согласны ли вы с аргументами противников витализма?

## § 2. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ ХИМИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ



**Теоретической основой неорганической химии служит периодический закон, открытый Д. И. Менделеевым. Какая теория играет аналогичную роль в органической химии? Как формулируются основные положения этой теории?**

### Предпосылки создания теории химического строения

По мере накопления химических знаний учёные овладели умением не только выделять органические вещества из природных объектов, но и проводить реакции с участием таких соединений. Так накапливались знания о свойствах органических веществ, расширялись области их практического применения.

В начале XIX в. учёными-химиками были разработаны методы определения качественного и количественного состава органических веществ. Стало возможным получить ответ на вопрос, какие химические элементы входят в

состав этих соединений и каково их соотношение. Однако учёные тогда ещё не могли объяснить, как атомы соединяются в молекулы, не могли записывать качественный и количественный состав веществ с помощью формул; химические реакции описывали словами. Выдающийся немецкий химик того времени Ф. Вёлер писал: «Органическая химия может сейчас кого угодно свести с ума. Она кажется мне дремучим лесом, полным удивительных вещей, безграничной чащей, из которой нельзя выбраться, куда не осмеливаясь проникнуть...»

К середине XIX в. возникла необходимость осмысления, объяснения и обобщения накопившихся данных в области органической химии, т. е. создания научной теории, которая позволила бы систематизировать и объяснять строение и свойства органических веществ.

В первой половине XIX в. учёными разных стран были предприняты попытки создания подобной теории. Одни основывались на сходстве качественного и количественного состава родственных органических веществ, другие — на общности химических свойств. Однако подобно тому, как первые попытки классификации химических элементов не превратились в научную теорию, а стали лишь предтечей открытия Д. И. Менделеевым периодического закона, так и ранние попытки систематизации знаний об органических веществах явились предпосылками создания теории химического строения органических соединений.

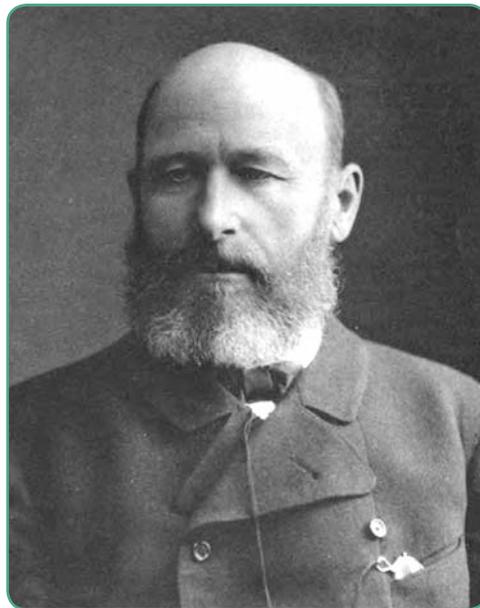
Первую научную теорию строения органических соединений, которой химии всего мира придерживаются до сих пор, предложил выдающийся русский учёный А. М. Бутлеров. Основные идеи новой теории впервые были высказаны им в 1861 г. в докладе «О химическом строении вещества» на съезде естествоиспытателей и врачей в немецком городе Шпайере.

Основой теории Бутлерова является положение о химическом строении как определённой последовательности химических связей между атомами в молекулах в строгом соответствии с их валентностью.

Рассмотрим основные положения теории химического строения.

### Первое положение теории химического строения. Структурные формулы

**Первое положение.** Атомы в молекулах соединены друг с другом согласно их валентности, причём углерод в органических веществах всегда четырёхвалентен, а его атомы способны соединяться в цепи линейного, разветвлённого и замкнутого строения.

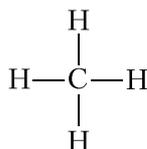


Александр Михайлович Бутлеров  
(1828—1886)

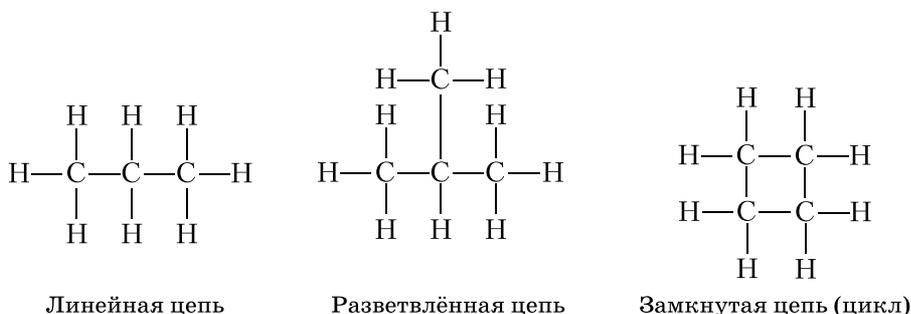
Напомним, что **валентность** — это способность атомов химических элементов образовывать определённое число связей с другими атомами. Для соединений с ковалентными связями валентность равна числу общих электронных пар данного атома с соседними атомами.

Наглядно продемонстрировать валентность атомов в молекуле можно с помощью структурных формул. **Структурная формула** — это такое изображение молекулы, в котором каждая ковалентная химическая связь показана чёрточкой — *валентным штрихом*.

В органических соединениях углерод проявляет постоянную валентность, равную четырём. Например, структурная формула простейшего углеводорода метана  $\text{CH}_4$  имеет вид



Атомы углерода обладают уникальной способностью образовывать связи не только с атомами других элементов, но и друг с другом; при этом возникают различные цепи — линейные, разветвлённые, замкнутые:



Атомы углерода во всех приведённых примерах четырёхвалентны и образуют между собой и с атомами водорода **простые**, или **одинарные**, связи.

Но этим уникальные особенности атомов углерода как химического элемента не исчерпываются. Два атома могут быть связаны между собой и с другими атомами не только простыми, но и **кратными**, т. е. **двойными** или даже **тройными**, связями, например:

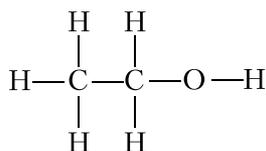


Теперь вам становится понятна одна из причин многообразия органических соединений. Она заключается в том, что атомы углерода способны образовывать между собой ковалентные химические связи (простые и кратные), соединяясь в цепи (неразветвлённые, разветвлённые, циклические).

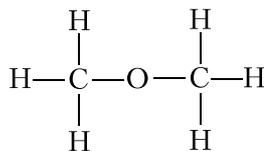
## Второе положение теории химического строения. Изомерия

**Второе положение.** Свойства органических веществ определяются не только их качественным и количественным составом, но и порядком соединения атомов в молекуле, т. е. химическим строением.

Чтобы описать свойства какого-либо органического вещества, например имеющего формулу  $C_2H_6O$ , недостаточно информации о качественном и количественном составе вещества. Необходимо знать, в каком порядке атомы соединены в молекуле. Подобно тому, как из одного и того же набора кубиков можно сложить домики разной «архитектуры», так и из двух атомов углерода, шести атомов водорода и одного атома кислорода можно без нарушения валентности «построить» различные молекулы:



Этиловый спирт:  
жидкость,  
растворим в воде,  
реагирует с металлическим  
натрием



Диметиловый эфир:  
газ,  
малорастворим в воде,  
не реагирует с натрием

Первое вещество — этиловый спирт и второе — диметиловый эфир имеют одинаковый состав, но их физические и химические свойства различны. Вы впервые встретились с очень распространённым в органической химии явлением — **изомерией**.

Вещества, имеющие одинаковый качественный и количественный элементный состав, но различное химическое строение, а следовательно, и различные свойства, называют **изомерами**. Явление существования изомеров называют **изомерией**.

А. М. Бутлеров не только впервые объяснил существование изомеров различием в химическом строении молекул, но и сумел предсказать существование изомеров для уже известных веществ, а затем и синтезировать их. В этом заключается выдающаяся предсказательная роль теории строения.

Таким образом, молекулярная формула отражает только качественный и количественный состав вещества. Информацию о химическом строении соединения несёт структурная формула, указывающая на порядок связи атомов в молекулах. Помимо полной структурной формулы наподобие тех, которые изображены выше, на практике чаще используют *сокращённые структурные формулы*, сворачивая близлежащие группы атомов, не записывая ненужные при этом валентные штрихи. Например, особенности строения этилового спирта и диметилового эфира вполне однозначно передают формулы:



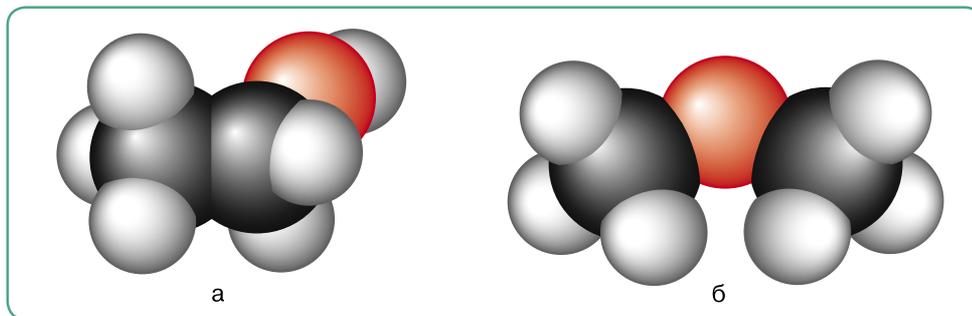


Рис. 5. Модели молекул: а — этилового спирта; б — диметилового эфира

Более детальную информацию о химическом строении вещества, в частности о взаимном расположении атомов в пространстве, дают объёмные модели молекул — модели Стюарта—Бриглеба (рис. 5).

Явление изомерии — ещё одна причина многообразия органических соединений.

### Третье положение теории химического строения

**Третье положение.** Атомы в молекулах органических веществ оказывают влияние друг на друга.



Известно, что в молекуле этилового спирта только один из шести атомов водорода способен замещаться атомом щелочного металла, например натрия. На модели молекулы этилового спирта покажите, какой именно атом водорода, по вашему мнению, способен на такое замещение. Объясните свой выбор.

Нетрудно догадаться, что этот «особенный» атом, в отличие от пяти остальных, не соединён с углеродом непосредственно, а связан с ним через атом кислорода. Следовательно, атом кислорода влияет на соседний с ним атом водорода, облегчая его замещение атомом натрия.

В молекуле диметилового эфира все атомы водорода связаны только с атомами углерода. Становится понятно, почему, в отличие от этилового спирта, диметиловый эфир не способен реагировать с металлическим натрием.

Теория химического строения, предложенная А. М. Бутлеровым, сыграла в органической химии такую же огромную роль, как периодический закон и периодическая система элементов Д. И. Менделеева в неорганической химии. Она позволила систематизировать все накопленные сведения об органических веществах и объяснить причины их многообразия. Но самое главное — теория строения сделала осмысленным и целенаправленным синтез новых органических веществ и изучение их химических свойств. Она настолько многогранна и динамична, что и сегодня является основополагающим учением не только органической, но и всей современной химии.



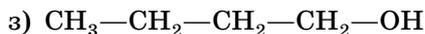
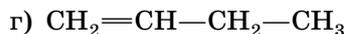
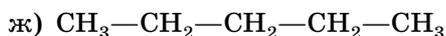
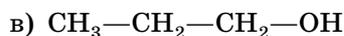
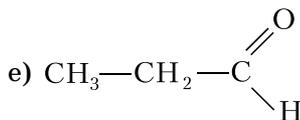
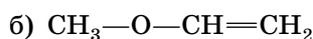
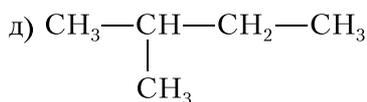
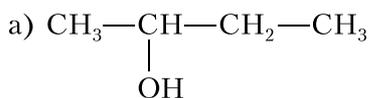
**Теория химического строения органических соединений. Валентность. Структурная формула. Простые (одинарные) связи. Кратные (двойные и тройные) связи. Изомеры. Изомерия. Взаимное влияние атомов в молекуле**

**Проверьте свои знания**

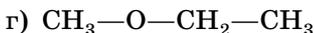
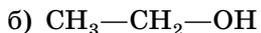
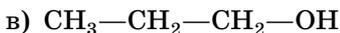
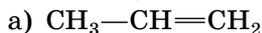
1. Сформулируйте первое положение теории химического строения. По молекулярным формулам метилового спирта  $\text{CH}_3\text{OH}$ , этана  $\text{C}_2\text{H}_6$  и метиламина  $\text{CH}_3\text{NH}_2$  определите валентность каждого химического элемента и напишите полные структурные формулы этих веществ.
2. Сформулируйте второе положение теории химического строения. Какие вещества называют изомерами? Напишите полные структурные формулы этиламина  $\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—NH}_2$  и диметиламина  $\text{CH}_3\text{—NH—CH}_3$ . Являются ли данные вещества изомерами? На примере этих веществ поясните сущность второго положения теории химического строения.

**Примените свои знания**

3. Среди веществ, формулы которых приведены ниже, найдите пары изомеров.



4. Сформулируйте третье положение теории химического строения. Среди веществ, формулы которых приведены ниже, выберите пару соединений, которые, по вашему мнению, проявляют наиболее сходные химические свойства. Объясните свой выбор.



**Используйте дополнительную информацию**

5. Найдите в Интернете и установите на свой компьютер программу построения 3D-моделей молекул органических веществ. Постройте модели молекул метана, этана, этилового спирта. Какие возможности предоставляет виртуальное моделирование для изучения химического строения веществ?
6. Подготовьте сообщение о жизни и научной деятельности А. М. Бутлерова.
7. Найдите в Интернете официальный сайт музея Казанской химической школы. Когда и кем был создан этот музей? Назовите фамилии не менее 10 выдающихся химиков, работавших в Казанском университете. Подготовьте виртуальную экскурсию по музею, используя информацию и фотографии с сайта музея.

## ВЫВОДЫ К ГЛАВЕ I

### «ПРЕДМЕТ ОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ. ТЕОРИЯ СТРОЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ»

1. Раздел химии, изучающий строение, свойства, превращения, способы получения и области применения органических веществ, называют органической химией.

2. Органическая химия представляет собой химию углеводов и их производных, т. е. продуктов замещения атомов водорода в молекулах углеводов на другие атомы или группы атомов.

3. Различают органические вещества природного, искусственного и синтетического происхождения.

4. Научной основой органической химии является современная теория химического строения органических соединений. Некоторые положения этой теории:

- атомы в молекулах соединены друг с другом согласно их валентности, причём углерод в органических веществах всегда четырёхвалентен;
- свойства веществ зависят не только от их качественного и количественного состава, но и от их химического строения;
- атомы в молекулах влияют друг на друга.

5. Химическим строением называют порядок соединения атомов в молекуле согласно их валентности.

6. Состав и химическое строение отображают с помощью химических формул: молекулярных и структурных (полных или сокращённых).

7. Материальные модели, отражающие состав и пространственное строение молекул органических соединений, бывают двух видов: шаростержневые и объёмные.

8. Причины многообразия органических веществ — это: способность атомов углерода соединяться друг с другом, образуя различные цепи (линейные, разветвлённые, циклические); способность атомов углерода образовывать связи различной кратности (одинарные, двойные, тройные); явление изомерии.

# II

## *УГЛЕВОДОРОДЫ И ИХ ПРИРОДНЫЕ ИСТОЧНИКИ*



## § 3. ПРЕДЕЛЬНЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ. АЛКАНЫ



Один из классов углеводородов — это алканы. Почему эти углеводороды относят к предельным? Какие особенности строения алканов объясняют причины их многообразия?

### Гомологический ряд алканов

Трудно себе представить наш быт без голубых язычков огня кухонной плиты или газовой зажигалки. В этих устройствах сгорают углеводороды одного и того же класса — *алканы*. Различие лишь в том, что бытовой газ представляет собой главным образом метан  $\text{CH}_4$ , а в резервуаре зажигалки находятся под давлением сжиженные газы пропан  $\text{C}_3\text{H}_8$  и бутан  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ .

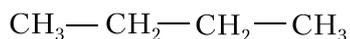
Углеводороды, молекулы которых не содержат кратных связей, называют **предельными** или **насыщенными**.



Запишите структурные формулы метана, пропана и бутана, и тогда вам станет понятно название этих углеводородов — предельные. Только ли неразветвлённое строение может иметь молекула бутана? Какое явление характерно для соединений состава  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ?

Своё название предельные углеводороды получили потому, что все валентности углеродных атомов в их молекулах насыщены атомами водорода до предела.

Сокращённая структурная формула пропана  $\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—CH}_3$ . Для бутана возможно написание двух структурных формул: в одной углеродная цепь имеет линейное, а в другой — разветвлённое строение (рис. 6):



бутан



изобутан

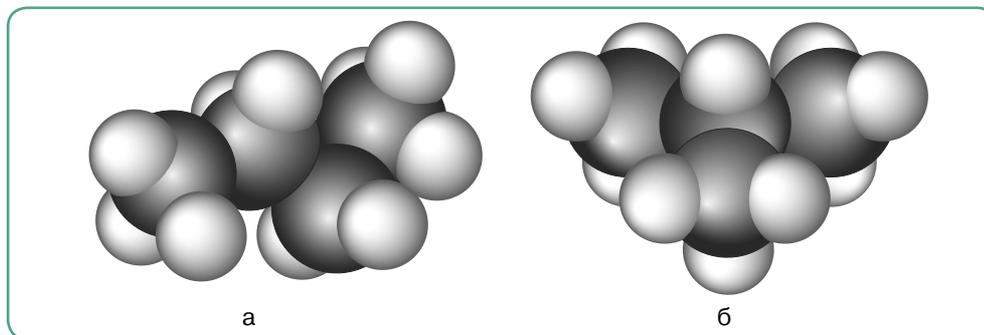


Рис. 6. Модели молекул бутана (а) и его структурного изомера — изобутана (б)

Свойства бутана и изобутана различны: бутан имеет более низкие температуры кипения и плавления. По отношению друг к другу бутан и изобутан являются изомерами, различающимися строением углеродной цепи. Изомерия углеродной цепи — вариант **структурной изомерии**.

Что же представляют собой алканы?

**Алканы** — это предельные углеводороды с общей формулой  $C_nH_{2n+2}$ , в молекулах которых все атомы соединены простыми (одинарными) связями.

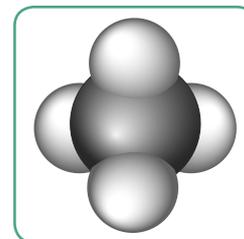


Рис. 7. Модель молекулы метана

В молекулах алканов углеродные цепи открытые, т. е. незамкнутые. Но предельными могут быть и углеводороды, имеющие замкнутую углеродную цепь. Этот класс соединений называют **циклоалканами**. Некоторые циклоалканы, например циклогексан  $C_6H_{12}$ , входят в состав нефти.

Простейший представитель алканов — метан  $CH_4$  (рис. 7). Именно это соединение является родоначальником гомологического ряда алканов.

Ряд расположенных в порядке возрастания относительных молекулярных масс веществ, сходных по строению и свойствам, но отличающихся друг от друга по составу на одну или несколько групп  $CH_2$  (гомологическую разность), называют **гомологическим рядом**. Вещества такого ряда называют **гомологами**.

Формулу каждого последующего члена гомологического ряда легко получить из формулы предыдущего, заменив один атом водорода в молекуле на группу  $CH_3$ . Так, второй гомолог ряда алканов — этан — имеет формулу  $CH_3-CH_3$ . Формулы и названия первых шести представителей алканов с неразветвленной цепью атомов углерода приведены в таблице 1.

Таблица 1

### Предельные углеводороды и алкильные радикалы

Предельный углеводород (алкан)			Алкильный радикал	
Молекулярная формула	Структурная формула	Название	Формула	Название
$CH_4$	$CH_4$	Метан	$-CH_3$	Метил
$C_2H_6$	$CH_3-CH_3$	Этан	$-C_2H_5$	Этил
$C_3H_8$	$CH_3-CH_2-CH_3$	Пропан	$-C_3H_7$	Пропил
$C_4H_{10}$	$CH_3-CH_2-CH_2-CH_3$	Бутан	$-C_4H_9$	Бутил
$C_5H_{12}$	$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$	Пентан	$-C_5H_{11}$	Амил
$C_6H_{14}$	$CH_3-(CH_2)_4-CH_3$	Гексан	$-C_6H_{13}$	Гексил
$C_nH_{2n+2}$		Алкан	$-C_nH_{2n+1}$	Алкил

Если от молекулы алкана мысленно отщепить один атом водорода, мы получим частицу со свободной валентностью у атома углерода — **радикал**.

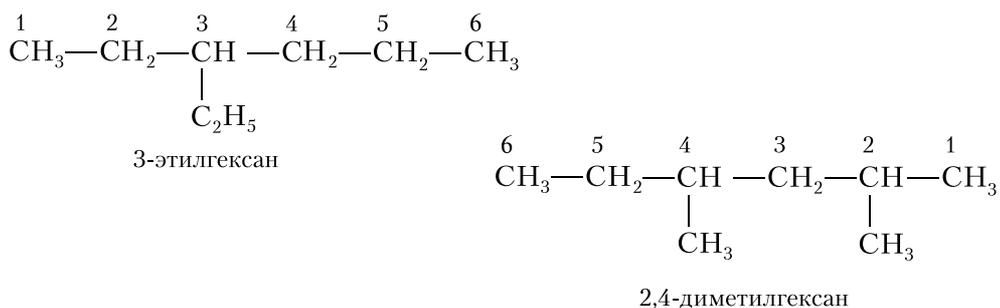
Название радикала, соответствующего предельному углеводороду, т. е. **алкильного радикала**, строится так: суффикс *-ан* заменяют на *-ил*, а состав будет подчиняться общей формуле  $C_nH_{2n+1}$ . Формулы и названия алкильных радикалов, приведённые в таблице 1, нужно запомнить, чтобы уметь называть органические вещества с разветвлённой углеродной цепью.

### Номенклатура алканов

Для построения названий органических веществ, в частности предельных углеводородов, используют свод правил — номенклатуру. В соответствии с так называемой **международной, или систематической, номенклатурой** при составлении названий алканов руководствуются следующими правилами:

- 1) выбирают в молекуле самую длинную цепь атомов углерода;
- 2) нумеруют атомы углерода в цепи с того конца, к которому ближе разветвление;
- 3) записывают основу названия вещества — название углеводорода с тем же числом углеродных атомов, что и в пронумерованной цепи;
- 4) перед основой названия перечисляют все заместители основной цепи с указанием номеров атомов углерода, при которых они стоят. Если одинаковых заместителей несколько, перед их названиями ставят приставки *ди-*, *три-*, *тетра-*;
- 5) все цифры друг от друга отделяют запятыми, буквы от цифр — дефисом. Если при одном углеродном атоме имеется не один, а два заместителя, его цифра повторяется в названии дважды;
- 6) перед названием предельного углеводорода нормального (неразветвлённого) строения ставят букву *n-*.

Проиллюстрируем эти правила примерами названий алканов.

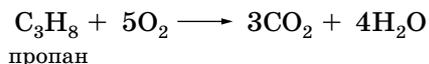


### Физические и химические свойства алканов

Метан и его газообразные гомологи (до бутана включительно) содержатся в природном и попутном нефтяном газе. Жидкие алканы — основная часть нефти. Твёрдые предельные углеводороды (парафин) растворены в нефти, которая и служит источником их получения.

При обычных условиях алканы не реагируют с концентрированными кислотами и щелочами, не окисляются сильными окислителями, такими как перманганат калия.

Однако при нагревании химическое поведение алканов резко меняется. Все алканы горят бледно-голубым пламенем с образованием углекислого газа и воды:



Горение алканов сопровождается выделением большого количества теплоты, что определяет их использование в качестве топлива (рис. 8).

### Лабораторный эксперимент

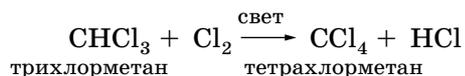
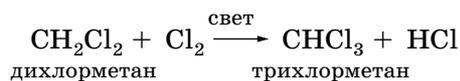
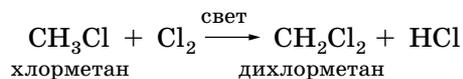
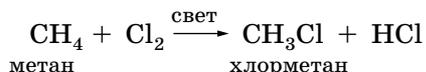
В химический стакан объёмом 200 мл поместите плоскую свечу и зажгите её. Накройте стакан стеклом. Что происходит с внутренними стенками стакана? О чём это говорит? Почему вскоре свеча гаснет?

Осторожно выньте свечу, налейте в стакан 10—15 мл свежеприготовленной известковой воды и вновь накройте стеклом. Придерживая стекло, осторожно перемешайте содержимое стакана. Что произошло с известковой водой? О чём это говорит?

Следует помнить, что углеводороды относятся к пожаро- и взрывоопасным веществам. Утечка бытового газа грозит страшными последствиями. Для того чтобы вовремя обнаружить наличие в воздухе бытового газа, к нему добавляют вещества с резким неприятным запахом — *одоранты*. Если вы почувствовали на кухне, в подъезде или на улице запах газа, следует немедленно обратиться в экстренную службу по телефону 104, проветрить помещение и ни в коем случае не пользоваться открытым огнём или электроприборами. В случае пожара службу спасения вызывают по телефону 101 или 112 (с сотового телефона бесплатно).

Предельные углеводороды используют не только как топливо, но и в качестве сырья для химической промышленности (см. рис. 8), поскольку их свойства отнюдь не ограничиваются реакцией горения.

В предельных углеводородах атомы водорода могут *замещаться* другими атомами или группами, в частности атомами галогенов (хлора и брома). Эти **реакции замещения** протекают ступенчато при освещении смеси газов:

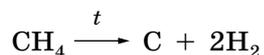


Галогенпроизводные алканов — прекрасные растворители, хладагенты (рабочие жидкости, которыми заправляют бытовые холодильники и промышленные холодильные установки), реагенты для органического синтеза.



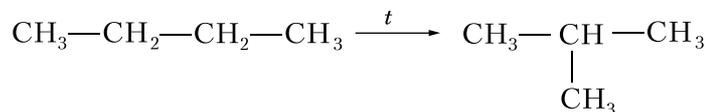
Рис. 8. Применение метана: 1–3 — производство сажи (картриджи, резина, краски); 4–7 — получение органических соединений (растворители, метанол, ацетилен, хладагенты)

Если предельные углеводороды нагревать без доступа воздуха при более высокой температуре, то они не выдерживают такого воздействия и разлагаются. Например, из метана при нагревании свыше  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$  образуется два ценных продукта — сажа (углерод) и водород:



Сажу, полученную таким образом, используют для изготовления автомобильных шин и резины, она входит в состав красок и туши (см. рис. 8).

Алканы с неразветвлённой цепью углеродных атомов при нагревании превращаются в более устойчивые соединения с разветвлённой цепью. Например, из *n*-бутана можно получить изобутан:

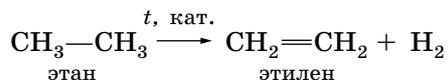


Поскольку состав исходного вещества и продукта реакции одинаков, эти соединения являются изомерами. Именно поэтому такой процесс получил название **реакция изомеризации**.

При нагревании в присутствии катализатора алканы способны вступать в **реакцию отщепления**. Что же могут отщеплять молекулы предельных углеводородов? Если предположить, что углеродная цепь остаётся без изменения, то отщепляться могут только молекулы водорода.

Реакцию, при которой от молекулы органического вещества отщепляется молекула водорода, называют **реакцией дегидрирования**.

При дегидрировании этана образуются два продукта — этилен и водород:



Этилен  $\text{C}_2\text{H}_4$  — представитель непредельных углеводородов, о которых пойдёт речь в следующем параграфе.

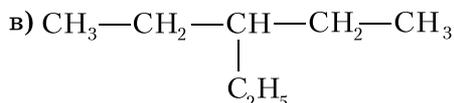
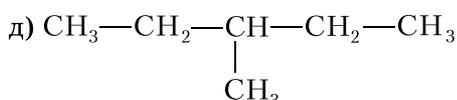
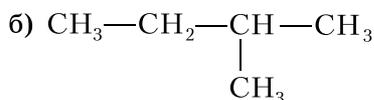
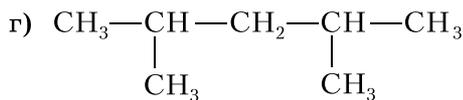
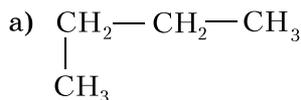
**Предельные углеводороды. Алканы. Циклоалканы. Гомологический ряд. Общая формула алканов. Структурная изомерия. Радикал. Алкильный радикал. Международная (систематическая) номенклатура органических веществ. Реакции изомеризации. Реакции замещения (галогенирование). Реакции дегидрирования**



### Проверьте свои знания

1. Какие из перечисленных формул принадлежат предельным углеводородам:  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ,  $\text{C}_2\text{H}_2$ ,  $\text{C}_5\text{H}_{12}$ ,  $\text{C}_6\text{H}_6$ ,  $\text{C}_4\text{H}_6$ ,  $\text{C}_3\text{H}_8$ ?

2. Назовите по международной номенклатуре следующие алканы:



### Примените свои знания

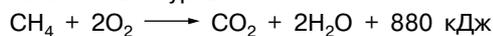
3. Напишите структурные формулы следующих углеводородов: а) 2-метилпентан; б) 2,2-диметилбутан; в) *n*-гексан; г) 2,3-диметилпентан; д) 3-этилгексан.

4. Напишите структурные формулы двух гомологов и двух изомеров *n*-гексана. Назовите эти углеводороды.

5. Напишите уравнения реакций: а) 1 моль этана с 1 моль хлора; б) горения этана; в) дегидрирования пропана; г) 1 моль метана с 2 моль брома. Назовите образующиеся продукты.

6. Спичечная палочка пропитана парафином. Если внимательно понаблюдать за горящей спичкой, можно заметить, как за 1—2 мм до пламени оплавляется парафин. Какую роль выполняет это вещество? Составьте уравнение реакции горения парафина, условно считая, что его формула  $\text{C}_{36}\text{H}_{74}$ .

7. Вычислите, какое количество теплоты выделится при сгорании 6,72 л метана (н. у.) в соответствии с термохимическим уравнением



### Выразите своё мнение

8. Выскажите своё мнение о формировании бюджета Российской Федерации на основе углеводородного сырья. Какую долю бюджета в текущем году составляет экспорт природного газа?

9. Как вы считаете, потребуются ли в вашей будущей учебной и профессиональной деятельности знания о предельных углеводородах? Аргументируйте свой ответ.

## § 4. НЕПРЕДЕЛЬНЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ. АЛКЕНЫ



Алкены — класс непредельных углеводородов. Почему эти углеводороды называют непредельными? Чем они отличаются от предельных?

### Гомологический ряд алкенов

Слово «полиэтилен» давно перестало быть научным термином. Каждому из вас знакомы прочные, прозрачные, не пропускающие газы и жидкости полиэтиленовые плёнки. Стеклянная упаковка косметических и гигиенических средств бытовой химии давно уступила пальму первенства небьющимся контейнерам из полиэтилена. Нередко металлические водопроводные трубы в квартирах заменяют на нержавеющие, лёгкие и гибкие полиэтиленовые. Многие бытовые предметы (ручки зубных щёток и корпуса шариковых ручек, ящики для овощей, посуда, игрушки) тоже изготовлены из полиэтилена (рис. 9).

Полиэтилен получают из углеводорода **этилена**  $C_2H_4$  (рис. 10). В молекуле этилена два атома углерода связаны не одинарной, а двойной связью, что от-



Рис. 9. Полиэтилен применяют для изготовления труб, плёнок, игрушек, тары, пакетов, пробок, крышек

ражает структурная формула  $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ . Этилен — первый представитель гомологического ряда **этиленовых углеводородов**, или **алкенов**.

Углеводороды, содержащие в молекулах одну двойную связь и имеющие общую формулу  $\text{C}_n\text{H}_{2n}$ , называют **алкенами**.

Наличие в молекуле одной двойной связи  $\text{C}=\text{C}$  показывает, что валентности углеродных атомов не полностью насыщены атомами водорода, поэтому такие углеводороды называют **непредельными углеводородами**.

Этиленовые углеводороды образуют свой гомологический ряд. Как и в случае алканов, состав двух гомологов отличается на одну или несколько групп  $\text{CH}_2$ . Приведём молекулярные и структурные формулы ближайших гомологов этилена (табл. 2).

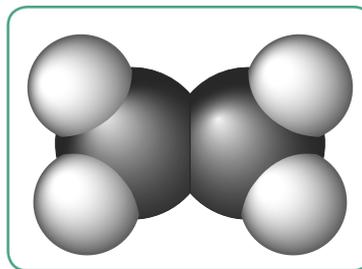


Рис. 10. Модель молекулы этилена

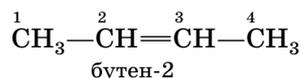
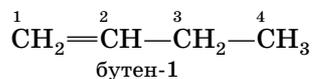
Таблица 2

### Этиленовые углеводороды

Молекулярная формула	Структурная формула	Название
$\text{C}_2\text{H}_4$	$\text{CH}_2=\text{CH}_2$	Этилен, или этен
$\text{C}_3\text{H}_6$	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$	Пропилен, или пропен
$\text{C}_4\text{H}_8$	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	Бутилен, или бутен-1
	$  \begin{array}{c}  1 \quad 2 \quad 3 \\  \text{CH}_2=\text{C}-\text{CH}_3 \\    \\  \text{CH}_3  \end{array}  $	Изобутилен, или 2-метилпропен

### Номенклатура и изомерия алкенов

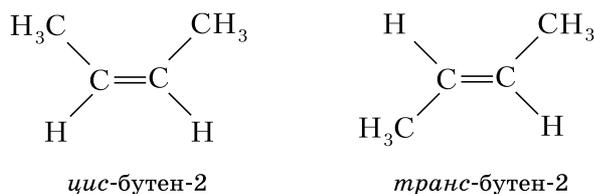
Два последних углеводорода в таблице 2 имеют одинаковый состав, но различное химическое строение, т. е. это изомеры. Однако у бутена изомерия проявляется не только в строении углеродной цепи (линейная или разветвлённая), но и в положении двойной связи в молекуле. В конце названия алкена арабской цифрой указывают атом углерода, за которым следует двойная связь:



**Изомерия положения двойной связи** — тоже один из видов структурной изомерии.

Особенности пространственного строения этиленовых углеводородов приводят к появлению в гомологическом ряду алкенов ещё одного вида изомерии — **пространственной изомерии**.

Для бутена-2 возможно написание двух различных структурных формул. В первом случае углеродная цепь алкена расположена по одну сторону от линии двойной связи, а во втором — по разные стороны:



Эти два углеводорода имеют разные физические свойства (температуры кипения, плавления и др.). Каждое вещество имеет состав  $\text{C}_4\text{H}_8$ , неразветвлённую цепь углеродных атомов, одинаковое положение кратной связи в цепи, но различаются они *взаимным расположением атомов в пространстве*. Следовательно, эти углеводороды являются изомерами. Первый называют *цис-бутен-2*, второй — *транс-бутен-2*. Такой вид пространственной изомерии носит название *геометрической* или *цис-транс-изомерии* (от лат. *cis* — на одной стороне и *trans* — напротив).

### Способы получения алкенов

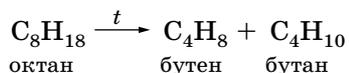


Как химически взаимосвязаны предельные и непредельные углеводороды?

В отличие от предельных углеводородов, алкены встречаются в природе нечасто. Промышленные способы их получения основаны на превращении алканов в алкены. В качестве природных источников алкенов используют главным образом нефть и природный газ.

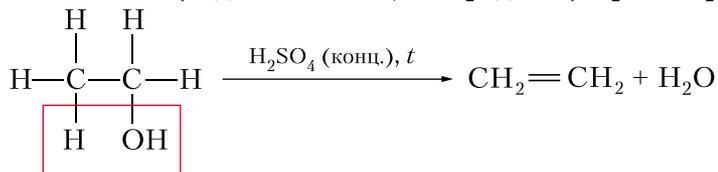
Один из способов получения алкенов — уже знакомая вам реакция дегидрирования соответствующих предельных углеводородов. (*Вспомните уравнение реакции дегидрирования этана и запишите аналогичное уравнение для пропана.*)

Главным промышленным способом получения алкенов является *крекинг* (от англ. *crack* — расщеплять) предельных углеводородов нефти и попутного нефтяного газа. Сущность процесса заключается в нагревании алканов без доступа воздуха в присутствии катализатора (каталитический крекинг) или при высокой температуре (термический крекинг). Цепь углеродных атомов разрывается примерно пополам, при этом образуются молекулы предельного и непредельного углеводородов:



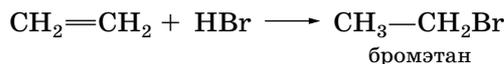
К лабораторным способам получения алкенов относят реакции отщепления. Для образования в молекуле двойной связи от соседних атомов углерода нужно отнять по одному связанному с ними атому или группе. Тогда освободившиеся валентности превращаются во вторую углерод-углеродную связь.

В лаборатории этилен получают из этилового спирта с помощью концентрированной серной кислоты (водоотнимающего средства) при нагревании:

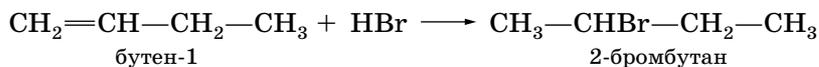




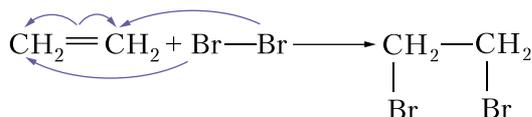
Этиленовые углеводороды вступают в реакции присоединения галогеноводородов — **реакции гидрогалогенирования**:



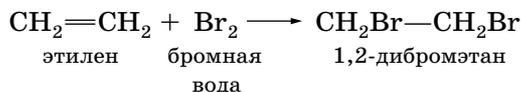
И в этих реакциях, как и в реакциях гидратации, соблюдается правило Марковникова:



К реакциям присоединения относят также взаимодействие этиленовых углеводородов с галогенами — **реакции галогенирования**. В отличие от алканов, которые с галогенами вступают в реакцию *замещения*, алкены *присоединяют* молекулу галогена за счёт разрыва связи C=C:

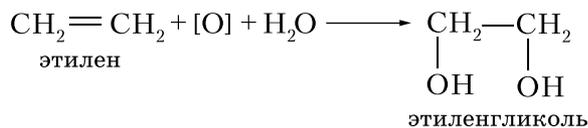


или



В качестве реагента для реакции бромирования этилена можно использовать раствор брома в воде — так называемую бромную воду. При этом жёлтая окраска бромной воды исчезает. Поскольку реакция сопровождается характерными видимыми изменениями, обесцвечивание бромной воды можно использовать как **качественную реакцию на этилен** и другие непредельные соединения.

Вещества, содержащие двойную углерод-углеродную связь, можно обнаружить с помощью ещё одной качественной реакции. При пропускании этилена через водный раствор перманганата калия происходит обесцвечивание этого раствора. В упрощённом виде, обозначив окислитель (KMnO<sub>4</sub>) как [O], уравнение реакции записывают так:

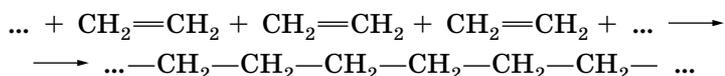


В качестве продукта этой реакции образуется органическое вещество этиленгликоль, с которым вы более подробно познакомитесь при изучении темы «Спирты».

Разновидностью реакции присоединения можно считать процесс полимеризации.

Реакции, в которых множество молекул исходного вещества соединяются в огромную макромолекулу, называют **реакциями полимеризации**.

Под действием высокой температуры и давления двойные углерод-углеродные связи в этилене разрываются, и за счёт освободившихся валентностей атомы углерода соединяются друг с другом:





### Проверьте свои знания

1. Какие углеводороды называют алкенами? Приведите молекулярные и структурные формулы, а также названия алкенов, содержащих от двух до четырёх атомов углерода в молекуле.
2. Какие виды изомерии характерны для этиленовых углеводородов? Ответ проиллюстрируйте примерами изомеров бутена.
3. Охарактеризуйте промышленные и лабораторные способы получения алкенов. Напишите уравнение реакции дегидрирования алканов с использованием общих формул.
4. Для пропилена напишите уравнения реакций:
  - а) горения;
  - б) гидратации;
  - в) присоединения бромоводорода;
  - г) гидрирования;
  - д) бромирования.

### Примените свои знания

5. Сравните этан и этилен по следующим признакам: а) качественный и количественный состав; б) строение молекул; в) химические свойства.
6. Рассчитайте массовые доли элементов в этене и бутене. Не производя расчётов, укажите, чему равны массовые доли элементов в гексене  $C_6H_{12}$ . Поясните своё решение.
7. Помимо полиэтилена, в качестве полимерного материала широко используют полипропилен. Из него изготавливают ковры, игрушки, химическую и бытовую посуду, канаты, изоляцию проводов, корпуса приборов. Напишите уравнение реакции получения полипропилена, укажите мономер, полимер и его элементарное звено.
8. Рассчитайте объём этилена (н. у.), который потребуется для получения 115 л этилового спирта плотностью 0,8 г/мл.

### Используйте дополнительную информацию

9. Найдите в Интернете и распечатайте без подписей портреты А. М. Бутлерова, В. В. Марковникова, Й. Я. Берцелиуса, Ф. Вёлера. Попросите одноклассника определить, кто изображён на рисунках. Выполните то же задание с портретами, полученными от другого одноклассника.

## § 5. АЛКАДИЕНЫ. КАУЧУКИ



Проанализируйте международное название следующего класса углеводородов: алкадиены. Какую информацию о строении этих соединений несёт их название?

### Понятие о сопряжённых алкадиенах

В молекуле органического вещества может содержаться не только одна, но две и более двойные углерод-углеродные связи. Если вы правильно истолковали международное название класса *алкадиены*, то суффикс *-ди-* вы перевели как «два», а суффикс *-ен* означает двойную связь  $C=C$ .

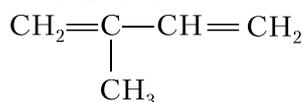
Углеводороды, в молекулах которых содержатся две двойные углерод-углеродные связи и общая формула которых  $C_nH_{2n-2}$ , называют **диеновыми углеводородами** или **алкадиенами**.

В соответствии с третьим положением теории химического строения даже незначительные изменения в структуре вещества могут существенно изменить его химические свойства, а следовательно, сделать незаменимым для производства жизненно необходимых материалов. Не будь углеводородов этого класса, нам пришлось бы обходиться без резины и каучука, а точнее без всего бесчисленного ассортимента изделий, изготовленных из этих материалов.

Большое значение в производстве каучуков имеют диеновые углеводороды особого строения: в их молекулах две двойные связи разделены одной одинарной. Такие диены называют **сопряжёнными диенами**.

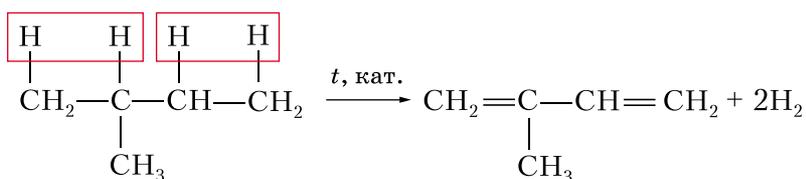
Простейший сопряжённый диен — бутadiен-1,3 имеет формулу  $CH_2=CH-CH=CH_2$ . Как видите, в международных названиях алкадиенов указывают номера обоих атомов углерода, от которых начинаются двойные связи в молекуле.

Ещё один важнейший диеновый углеводород — 2-метилбутadiен-1,3 (его чаще называют *изопрен*) имеет формулу

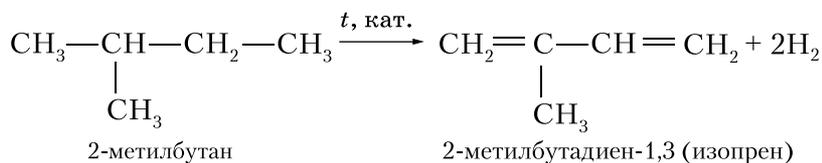


### Способы получения алкадиенов

Для получения диеновых углеводородов в промышленности используют реакцию дегидрирования, т. е. отщепления водорода. В качестве исходного вещества берут предельный углеводород с тем же строением углеродной цепи, что и у получаемого продукта. Понятно, что для образования двух двойных связей  $C=C$  алкан должен отдать четыре атома, т. е. две молекулы водорода. Например, для синтеза изопрена в качестве исходного вещества необходимо взять 2-метилбутан:



или

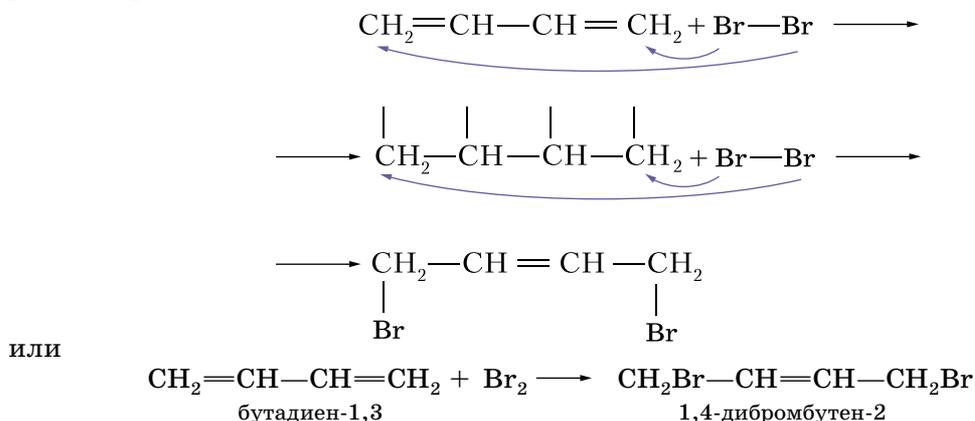


Рассмотренная реакция наглядно показывает, что в составе алкадиенов на четыре атома водорода меньше, чем в молекулах соответствующих предельных углеводородов, и на два атома водорода меньше, чем в молекулах соответствующих алкенов.

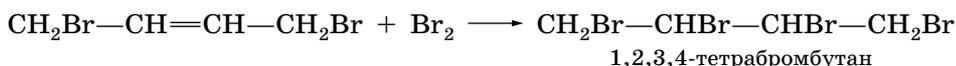
## Химические свойства алкадиенов

Будучи непредельными углеводородами, алкадиены, подобно алкенам, склонны к *реакциям присоединения*. Они так же, как алкены, обесцвечивают бромную воду и раствор перманганата калия.

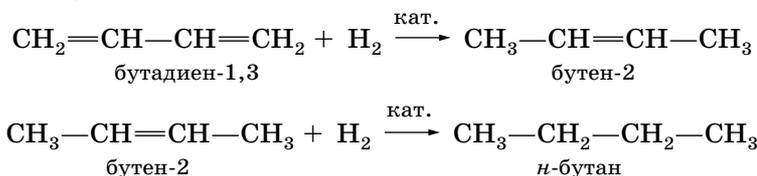
Особенность реакций присоединения диеновых углеводородов состоит в том, что две сопряжённые связи проявляют себя как единое целое. Присоединение галогена происходит не по одной двойной связи, а за счёт крайних атомов углерода сопряжённой системы двойных связей:



Продукт реакции 1,4-дибромбутен-2 также содержит двойную связь и, следовательно, тоже способен присоединять молекулу брома:



Аналогичным образом диеновые углеводороды присоединяют водород (реакция гидрирования):



### Каучук и продукты его вулканизации

Сопряжённые диеновые углеводороды способны к *реакциям полимеризации*, в результате которых получают синтетические каучуки.

**Каучуки** можно рассматривать как продукты полимеризации сопряжённых диенов или их производных. Каучуки относят к **эластомерам**. Такое название эти полимеры получили потому, что обладают эластичностью (от греч. *elastikos* — растяжимый), т. е. способностью обратимо изменять форму под действием внешних сил. Другие ценные свойства каучуков — водо- и газонепроницаемость — также широко используют в промышленном производстве.

#### Лабораторный эксперимент

Резиновый клей представляет собой раствор каучука в органическом растворителе. На металлическую пластинку нанесите змейку резинового клея. Пластинку прогрейте в пламени спиртовки для удаления растворителя. После охлаждения снимите каучковую нитку, исследуйте её эластичность и прочность на разрыв.



Рис. 12. Применение резины: товары народного потребления, автомобильные покрышки

Природными источниками каучука служат растения, богатые млечным соком: гевея, фикусы, молочай, одуванчики. В промышленных масштабах *натуральный (природный) каучук* получают из сока тропического дерева гевеи. Такой каучук можно рассматривать как продукт полимеризации изопрена, или 2-метилбутадиена-1,3.

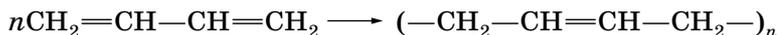
Чувствительность натурального каучука к перепадам температур и потерю при этом эластичности устраняет его **вулканизация**. Этот процесс заключается в «сшивании» полимерных цепей атомами серы при нагревании за счёт разрыва некоторой части двойных связей в этих цепях. Так получают **резину** (рис. 12). Если же «сшить» полимерные цепи каучука атомами серы за счёт разрыва подавляющего большинства двойных связей, то образуется **эбонит**, который уже не обладает эластичностью. Из него раньше изготавливали детали электрической арматуры, так как он хороший диэлектрик.

Каучуконосы нашей страны (одуванчики кок-сагыз и тау-сагыз) содержат очень мало млечного сока, а потому не могут использоваться в качестве источника натурального каучука. Проблему получения синтетического каучука решил коллектив учёных под руководством академика С. В. Лебедева в 1931 г. Этот каучук назвали **бутадиеновым каучуком**, поскольку в качестве мономера для его получения был выбран бутадиен-1,3. В процессе полимеризации двойные связи алкадиена разрываются, за счёт освобождённых валентностей крайних углеродных атомов

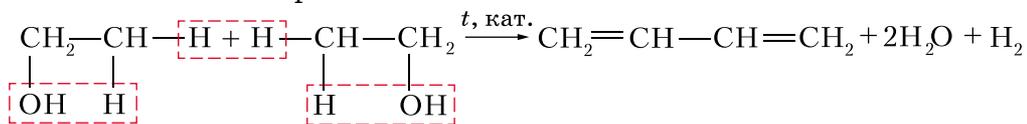


Сергей Васильевич Лебедев  
(1874—1934)

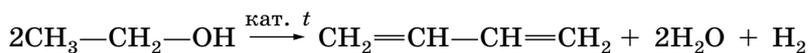
растёт полимерная цепь. Одновременно с этим между центральными атомами углерода образуется двойная связь:



Коллективом под руководством С. В. Лебедева был разработан также уникальный способ получения исходного диенового углеводорода — бутадиена-1,3 — на основе этилового спирта:



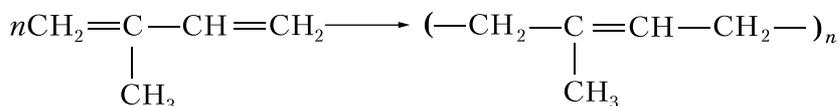
или



Эту реакцию называют **реакцией Лебедева**.

Синтетический бутадиеновый каучук обладает такими ценными качествами, как газо- и водонепроницаемость, однако уступает натуральному в эластичности.

В 60-х гг. прошлого столетия был получен эластичный синтетический каучук на основе изопрена — **синтетический изопреновый каучук**:



По эластичности и износоустойчивости изопреновый каучук сходен с природным и так же, как бутадиеновый, используется для производства шин.

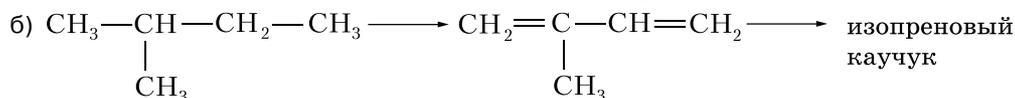
Общая формула  $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$  отражает состав не только алкадиенов, но и ацетиленовых углеводородов. Речь о них пойдёт в следующем параграфе.



**Алкадиены (диеновые углеводороды). Сопряжённые диены. Реакция Лебедева. Каучуки: натуральный, синтетические (бутадиеновый, изопреновый). Вулканизация каучука. Резина. Эбонит**

### Проверьте свои знания

1. Какие углеводороды называют алкадиенами? Напишите формулы одного гомолога и одного изомера пентадиена-1,3 с сопряжёнными двойными связями.
2. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить следующие превращения:



### Примените свои знания

3. Сравните реакции присоединения алкенов и диеновых углеводородов. Ответ подтвердите уравнениями химических реакций.
4. Как можно доказать непредельный характер 2-метилбутадиена-1,3? Напишите уравнения реакций, подтверждающих ступенчатое протекание реакции.
5. Найдите массу 2-метилбутадиена-1,3, который можно получить дегидрированием 72 кг 2-метилбутана, если выход продукта реакции составляет 80 %.

## Используйте дополнительную информацию

6. Англичанин Чарлз Макинтош предложил пропитывать плащевую ткань раствором натурального каучука, поэтому плащи, сшитые из такого материала, не промокали под сильным дождём; их называли макинтошами. Однако они не были лишены недостатков, присущих натуральному каучуку: размягчались на солнце и становились хрупкими в мороз. В чём заключалось открытие американца Чарлза Гудьира, позволившее устранить эти недостатки плащевых материалов?

7. Подготовьте сообщение по теме «Превращение каучука в резину: история одного открытия».

## § 6. АЛКИНЫ

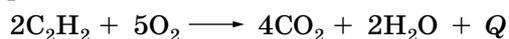
К непредельным (ненасыщенным) углеводородам относят и углеводороды, молекулы которых содержат тройную связь. Какими особенностями строения и свойств характеризуются эти углеводороды?



### Гомологический ряд алкинов

Как правило, любое научное открытие не только имеет теоретическую ценность, но и находит практическое применение. В химической науке есть немало примеров того, как практическое использование свойств вновь открытых веществ приводило к созданию новых материалов или технологий.

В 1836 г. английский химик Эдмунд Дэви предложил для газовых фонарей, освещавших улицы в те времена, особый «светильный газ», который горел красноватым коптящим пламенем. Четверть века спустя французский химик М. Бертло определил формулу светильного газа —  $C_2H_2$ . Вскоре это вещество получило своё общепринятое (тривиальное, т. е. исторически сложившееся) название — *ацетилен*. В конце XIX в. французский химик Анри Ле Шателье сделал важное открытие: при горении ацетилена в чистом кислороде



температура пламени достигала  $3100\text{ }^\circ\text{C}$ , что в 2 раза выше температуры плавления железа! Это свойство кислородно-ацетиленового пламени используют и сейчас при газовой резке и сварке металлов (рис. 13).

В XX в. было установлено строение молекулы ацетилена (рис. 14). Как оказалось, в ней два атома углерода связаны тройной углерод-углеродной связью:



Ацетилен — первый представитель гомологического ряда ацетиленовых углеводородов.



Рис. 13. Сварка и резка металлов — одна из главных «профессий» ацетилена

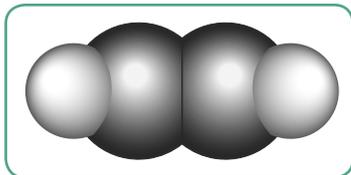


Рис. 14. Модель молекулы ацетилена

Углеводороды с общей формулой  $C_nH_{2n-2}$ , в молекулах которых содержится одна тройная углерод-углеродная связь  $C\equiv C$ , называют **ацетиленовыми углеводородами** или **алкинами**.

### Номенклатура и изомерия алкинов

Принадлежность углеводорода к алкинам обозначают суффиксом *-ин*, который указывает на тройную углерод-углеродную связь в молекуле. За основу названия алкина берут корень названия соответствующего алкана. Так, ацетилен в соответствии с номенклатурой ИЮПАК называют этином.

Формулы некоторых алкинов и их названия приведены в таблице 3.

Таблица 3

#### Ацетиленовые углеводороды

Молекулярная формула	Структурная формула	Название
$C_2H_2$	$HC\equiv CH$	Этин, ацетилен
$C_3H_4$	$H-C\equiv C-CH_3$	Пропин, метилацетилен
$C_4H_6$	$CH\equiv C-CH_2-CH_3$	Бутин-1
$C_4H_6$	$CH_3-C\equiv C-CH_3$	Бутин-2

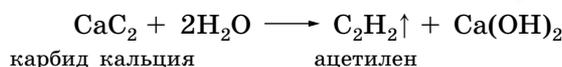
Для алкинов, как и для алкенов, характерна *изомерия положения кратной (тройной) связи*. Например, изомерны бутин-1 и бутин-2.

Кроме этого, следует учесть, что гомологический ряд алкинов имеет такую же общую формулу, как и ещё один гомологический ряд уже знакомых вам углеводородов (алкадиенов):  $C_nH_{2n-2}$ . Такой вид структурной изомерии называют *межклассовой изомерией*.

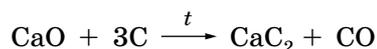
### Способы получения ацетилена

Рассмотрим способы получения важнейшего представителя класса алкинов — ацетилена.

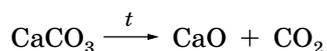
**Карбидный способ** основан на взаимодействии карбида кальция с водой:



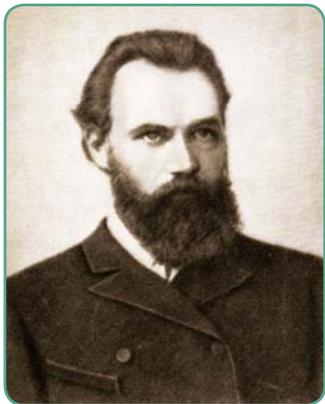
В промышленности карбид кальция получают сплавлением оксида кальция (негашёной извести) с коксом (углеродом):



Оксид кальция получают обжигом известняка по реакции:







Михаил Григорьевич  
Кучеров (1850—1911)



Рис. 15. Применение ацетилена: резка и сварка металлов, производство полимерных соединений

Реакция гидратации ацетилена названа в честь русского учёного-химика Михаила Григорьевича Кучерова, предложившего для проведения этого процесса использовать в качестве катализатора соли ртути(II). Продукт **реакции Кучерова** — органическое вещество уксусный альдегид. До середины XX в. реакция Кучерова лежала в основе промышленного получения уксусного альдегида, но в настоящее время её не используют из-за токсичности солей ртути. Получение уксусного альдегида по реакции Кучерова было вытеснено так называемым Вакер-процессом — получением ацетальдегида прямым окислением этилена в присутствии катализатора — хлорида палладия(II).

Ацетилен применяют в органическом синтезе (рис. 15). Он является одним из исходных веществ в производстве синтетических каучуков, поливинилхлорида и других полимеров. Из ацетилена получают органические растворители. Ацетилен до сих пор используют для газовой сварки и резки металлов.

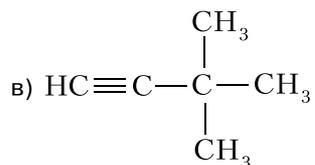


**Ацетиленовые углеводороды (алкины). Межклассовая изомерия. Карбидный и метановый способы получения ацетилена. Винилхлорид. Поливинилхлорид. Реакция Кучерова**

### Проверьте свои знания

1. Какие углеводороды называют алкинами? Приведите названия, молекулярные и структурные формулы первых четырёх представителей гомологического ряда алкинов.
2. Сравните общие формулы диеновых и ацетиленовых углеводородов. Можно ли однозначно сказать, к какому классу углеводородов принадлежит вещество с формулой  $C_4H_6$ ? Напишите структурные формулы одного алкадиена и одного алкина, имеющих такой состав, и назовите их. Какой вид изомерии характерен для этих соединений?

3. Назовите по международной номенклатуре следующие углеводороды:

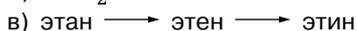


4. Напишите структурные формулы следующих алкинов: а) бутин-1; б) пентин-2; в) 4,4-диметилпентин-2; г) 2,2,5-триметилгексин-3.

### Примените свои знания

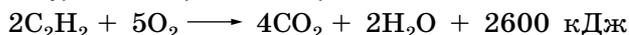
5. Сравните химические свойства этилена и ацетилена. Какие общие черты и различия вы можете отметить? Ответ проиллюстрируйте уравнениями химических реакций.

6. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить следующие превращения:



7. На технический карбид кальция массой 40 г подействовали избытком воды. При этом образовалось 11,2 л газа (н. у.). Определите массовую долю примесей в карбиде кальция.

8. Термохимическое уравнение реакции горения ацетилена имеет вид



Рассчитайте количество теплоты, которое выделится при сгорании 44,8 л ацетилена (н. у.).

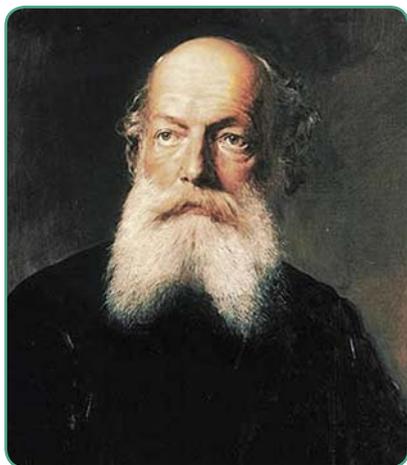
### Используйте дополнительную информацию

9. Подготовьте сообщение по теме «Михаил Григорьевич Кучеров — выдающийся русский химик-органик».

## § 7. АРОМАТИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ, ИЛИ АРЕНЫ

Проанализируйте оба названия этого класса углеводородов. Очевидно, его представители характеризуются ярко выраженным запахом и в их молекуле содержится двойная связь, на которую указывает суффикс *-ен*. Являются ли арены и алкены однотипными соединениями, или же арены характеризуются какими-то особенностями строения и свойств, отличающими их от других углеводородов?





Фридрих Август Кекуле  
(1829—1896). С портрета работы  
Г. фон Ангели

## Бензол и его строение

В начале XIX в. английский физик и химик Майкл Фарадей получил задание исследовать конденсат, который скапливался в стальных баллонах со сжатым газом, предназначавшимся для освещения улиц. Именно из этой жидкости учёному удалось выделить 3 г вещества и определить его формулу:  $C_6H_6$ . Вскоре новое вещество получило тривиальное название, которое используют до сих пор, — **бензол**.

В бензоле на шесть атомов углерода приходится только шесть атомов водорода. Значит ли это, что бензол относится к непредельным углеводородам? Как показывает эксперимент, бензол не реагирует ни с бромной водой, ни с раствором перманганата калия.



Возникает противоречие — состав бензола указывает на его непредельный характер, а химические свойства этот факт не подтверждают. Каково же строение молекулы бензола?

Долгие десятилетия эту загадку химикам решить не удавалось, до тех пор, пока немецкий химик-органик Фридрих Август Кекуле не высказал предположение, что атомы углерода в молекуле бензола образуют замкнутый цикл (рис. 16):

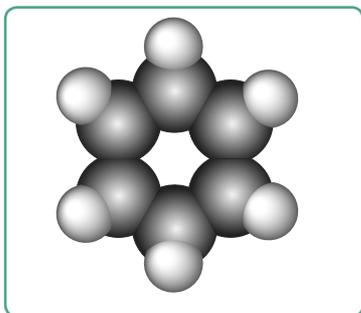
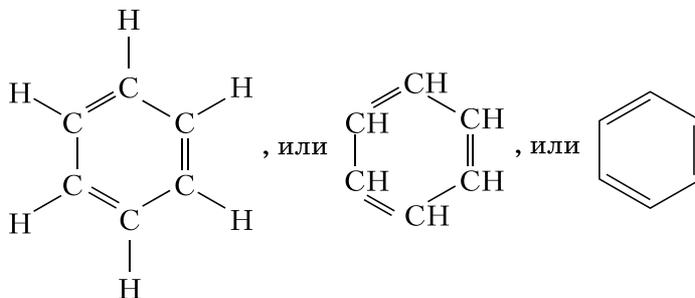
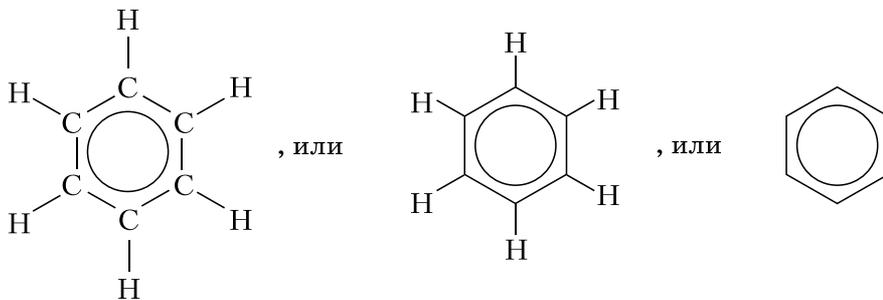


Рис. 16. Модель молекулы бензола



В формулах Кекуле вы видите чередование простых и двойных связей между атомами углерода в цикле. На самом деле установлено, что все углерод-углеродные связи в молекуле абсолютно одинаковы, т. е. три двойные связи в равной степени принадлежат шести атомам углерода. Возникшая особая ковалентная связь занимает как бы промежуточное положение между одинарными и двойными связями. Поэтому её условно можно назвать полуторной. Чтобы отразить особенности этого типа связей, формулу бензола записывают следующим образом:

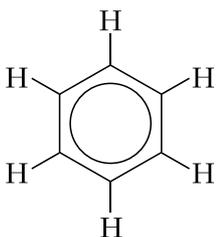
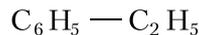


### Гомологический ряд аренов

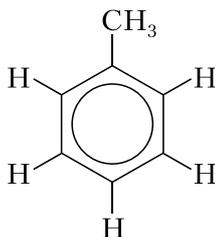
Бензол — не единственное в своём роде соединение, он — первый представитель гомологического ряда углеводородов, называемых ароматическими. Подавляющее большинство представителей этого класса обладает ярко выраженным запахом, причём не всегда приятным.

Углеводороды, в молекулах которых содержится бензольное кольцо и которые имеют общую формулу  $C_nH_{2n-6}$ , называют **ароматическими углеводородами** или **аренами**.

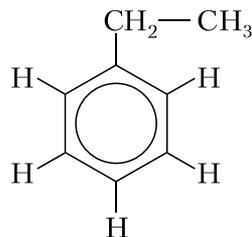
Первые представители гомологического ряда аренов имеют следующие молекулярные и структурные формулы:



бензол



метилбензол (толуол)



этилбензол

### Способы получения и химические свойства бензола

Исторически первым способом получения бензола было его выделение из продуктов коксования каменного угля. Теперь на долю этого способа приходится менее 10 % от общего объёма производства. Основное количество бензола получают в результате переработки нефти и нефтепродуктов.

Подобно всем углеводородам, бензол горит:

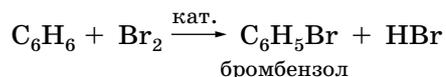


Ранее эта реакция находила практическое применение, когда бензол использовался в качестве добавки к моторному топливу.

Этан горит бледно-голубым пламенем, этилен — красноватым, ацетилен — коптящим. Такое изменение характера пламени связано с увеличением массовой доли углерода в данном ряду углеводородов. Каким пламенем горит бензол? Дайте ответ, рассчитав массовую долю углерода в этом веществе и сравнив её с аналогичными величинами для этана, этилена и ацетилена.

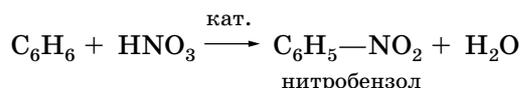


Для бензола наиболее характерны *реакции замещения*. В результате таких реакций атом водорода в бензольном кольце замещается другим атомом или группой атомов. Например, действием брома в присутствии катализатора можно заместить один атом водорода на галоген:



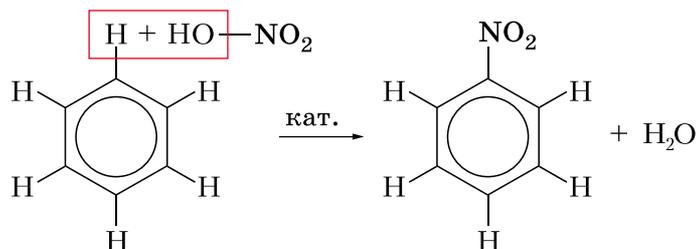
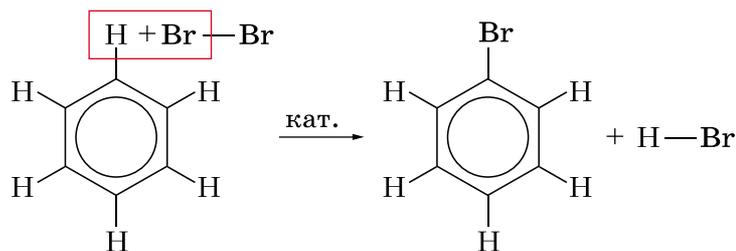
В результате реакции образуется бромбензол, или фенилбромид. Одновалентный радикал  $-\text{C}_6\text{H}_5$  называют **фенилом**.

При обработке бензола концентрированной азотной кислотой в присутствии серной кислоты (катализатор) атом водорода замещается нитрогруппой  $-\text{NO}_2$ . Протекает **реакция нитрования**, при этом образуется органическое вещество нитробензол и вода:



Получение нитробензола — первый шаг к промышленному получению анилина и органических красителей анилинового ряда (см. § 18).

Использование структурных формул позволяет более наглядно представить, как именно протекают реакции замещения:



Бензол — прекрасный растворитель органических веществ. Он легко растворяет жиры, смолы, воски, каучук. При этом сам бензол практически нерастворим в воде и легче её, поэтому, подобно растительному маслу, образует слой над водой. Это свойство можно использовать для извлечения растворённых веществ из водного раствора в органический растворитель.

Извлечение вещества из раствора с помощью второго растворителя, не смешивающегося с первым, называют **экстракцией**.

## Лабораторный эксперимент

В пробирку налейте 2 мл воды и добавьте 5–6 капель иодной настойки. Обратите внимание на цвет раствора. Прилейте в пробирку 2 мл растворителя «Сольвент», содержащего вещества — аналоги бензола (строго соблюдайте инструкцию по применению). Встряхните пробирку. Что наблюдаете? Как изменился цвет водного и органического слоёв?

Бензол — один из ценных полупродуктов органического синтеза. Термин «полупродукт» означает, что, будучи многотоннажным продуктом химического производства, бензол используется в качестве сырья для получения других органических соединений. При этом сам бензол очень ядовитое вещество.

Одно перечисление практически полезных веществ и материалов, получаемых из бензола, заняло бы целый параграф. Это синтетические красители, ядохимикаты, синтетические моющие средства, лекарственные препараты, пищевые добавки, пластмассы, взрывчатые вещества и многое другое (рис. 17).



Рис. 17. Области применения бензола: добавка к моторному топливу; производство растворителей; производство ацетона, анилина, пестицидов, лекарств, пластмасс



## Ароматические углеводороды (арены). Бензол. Фенильный радикал. Реакция нитрования. Экстракция

### Проверьте свои знания

1. Какие углеводороды называют ароматическими? Приведите формулы трёх первых представителей гомологического ряда аренов. Что общего в их строении? Чем они различаются?
2. Какие из перечисленных свойств соответствуют бензолу: а) бесцветная жидкость; б) бесцветный газ; в) кристаллическое вещество; г) без запаха; д) с характерным запахом; е) нерастворим в воде; ж) легче воды; з) тяжелее воды; и) является хорошим растворителем; к) очень ядовит?

### Примените свои знания

3. Выведите молекулярную формулу углеводорода, молекулы которого содержат 92,31 % углерода, а плотность его паров по водороду равна 39.
4. Какие два вещества вступили в реакцию, если в результате образовались следующие продукты:  
а)  $C_6H_5Cl$  и  $HCl$ ; б)  $C_6H_5NO_2$  и  $H_2O$ ?
5. Какой объём бензола (плотностью 0,9 г/мл) потребуется для получения 61,5 г нитробензола, если выход продукта реакции составляет 90 %?
6. Какую массу бромбензола можно получить при бромировании 117 г бензола бромом массой 316 г? Какое из исходных веществ прореагирует не полностью и какова масса избытка этого вещества?

### Используйте дополнительную информацию

7. Составьте и заполните обобщающую таблицу по теме «Углеводороды», в которой отразите следующие особенности классов этих органических соединений: состав, строение, способы получения, химические свойства, области применения.

## § 8. ПРИРОДНЫЙ ГАЗ



Рассмотрите пламя газовой зажигалки. Сравните его цвет с цветом пламени газовой конфорки бытовой плиты. Чем, на ваш взгляд, можно объяснить наблюдаемое различие?

### Состав природного газа

Бюджет Российской Федерации в немалой степени зависит от добычи и экспорта природных ископаемых, которые называют **углеводородным сырьём**. К таким подземным богатствам относят природный газ, попутный нефтяной газ, нефть, каменный уголь, горючие сланцы.

Владение природными источниками углеводородов и контроль над ними играют немаловажную роль в мировой политике: служат основой интеграции экономик различных стран или причиной военных конфликтов.

В недрах нашей планеты под большим давлением содержится одно из важнейших полезных ископаемых — **природный газ**. Он представляет собой смесь предельных углеводородов и неорганических газов, образовавшихся в результате бактериального разложения органических останков без доступа воздуха. Содержание отдельных компонентов природного газа зависит от месторождения. Однако в любом случае в природном газе преобладает метан, количество других предельных углеводородов резко сокращается с уменьшением их относительной молекулярной массы (табл. 4).

Таблица 4

#### Примерный состав природного газа

Компонент	Формула	Объёмная доля (%)
Метан	CH <sub>4</sub>	88—95
Этан	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	3—8
Пропан	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,7—2,0
Бутан	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,2—0,7
Пентан	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,03—0,5
Углекислый газ	CO <sub>2</sub>	0,6—2,0
Азот	N <sub>2</sub>	0,3—3,0
Гелий	He	0,01—0,5

#### Использование природного газа и его переработка

Природный газ — важнейший вид топлива, поскольку он обладает рядом неоспоримых преимуществ перед другими энергоресурсами:

- 1) дешевизна (это самый экономичный вид топлива);
- 2) высокая теплотворная способность;
- 3) лёгкость транспортировки (по газопроводам);
- 4) экологичность (минимальное количество вредных выбросов при сгорании).

В последнем преимуществе легко убедиться, ещё раз проанализировав уравнение реакции горения метана. При полном сгорании этого углеводорода воздух практически не загрязняется вредными выбросами, поскольку продукты горения углеводородов — это углекислый газ и водяной пар:



Метан горит бесцветным пламенем, а пропан и бутан, сжиженной смесью которых заполняют резервуар газовой зажигалки, — светящимся пламенем. Различие в характере пламени объясняется разной массовой долей углерода в указанных алканах.

Россия обладает огромными запасами природного газа, занимая по этому показателю первое место в мире. Наиболее крупным является Уренгойское ме-

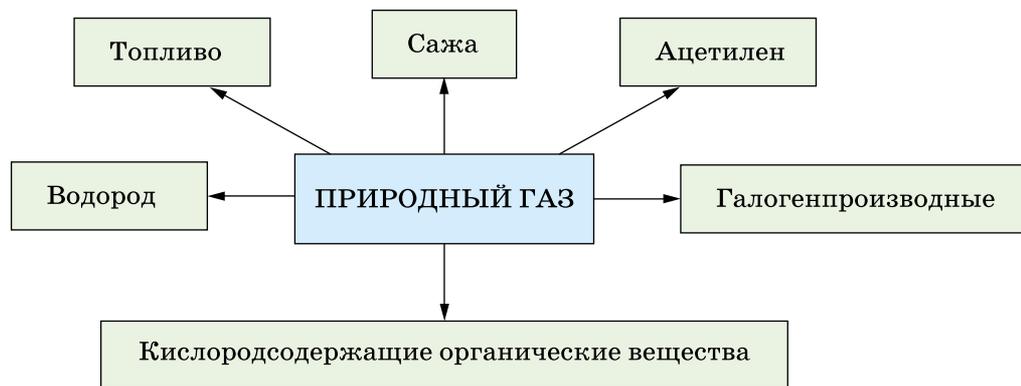


Рис. 18. Области промышленного использования природного газа

сторожение, расположенное на севере нашей страны, в Ямало-Ненецком автономном округе. Богаты природным газом Иран, страны Персидского залива, США, Канада. Государства Европы, напротив, — крупнейшие потребители голубого топлива, поскольку собственные запасы этого природного ископаемого там довольно скудны.

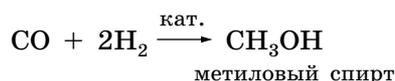
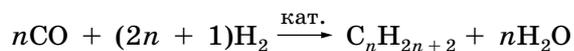
Природный газ используют для обеспечения работы тепловых электростанций, котельных установок, доменных и стекловаренных печей. Бытовой газ — это тот же природный газ, только с добавкой специальных компонентов, позволяющих по запаху определить его утечку из газовых труб или бытовых приборов.

Природный газ используют не только в качестве топлива, но и как важнейшее сырьё для химической промышленности (рис. 18).

Взаимодействие метана с перегретым водяным паром называют **конверсией**. В результате этой реакции образуется смесь газообразных продуктов — оксида углерода(II) и водорода в соотношении 1 : 3:



Такую смесь называют **синтез-газом**. Это название отражает назначение продукта конверсии: его используют для получения синтетического бензина (смеси предельных углеводородов, содержащих от 6 до 12 атомов углерода в молекуле), а также синтеза кислородсодержащего органического вещества (с которым вы познакомитесь в начале следующей главы нашего учебника) — *метилового спирта*:



**Пиролизом** (нагреванием без доступа воздуха) природного газа в зависимости от условий проведения процесса получают углерод (сажу), водород и ацетилен. Уравнение реакции пиролиза метана вам уже известно (*вспомните его и назовите области применения продуктов этой реакции*).

Наряду с природным газом одним из самых ценных природных ископаемых считается нефть, которой будет посвящён следующий параграф.



### Проверьте свои знания

1. Назовите основные продукты химической переработки природного газа и укажите процессы, с помощью которых их получают. Запишите уравнения соответствующих реакций.
2. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить следующие превращения:
  - а)  $\text{CH}_4 \longrightarrow \text{HC}\equiv\text{CH} \longrightarrow \text{CH}_2=\text{CHCl} \longrightarrow (\text{—CH}_2\text{—CHCl—})_n$
  - б)  $\text{CH}_4 \longrightarrow \text{CH}_3\text{Cl} \longrightarrow \text{CH}_3\text{OH} \longrightarrow \text{CO}_2$
  - в)  $\text{CH}_4 \longrightarrow \text{CO} \longrightarrow \text{C}_n\text{H}_{2n+2}$

### Примените свои знания

3. Укажите важнейшие месторождения природного газа в Российской Федерации. Найдите их на карте полезных ископаемых нашей страны.
4. Объёмные доли алканов в природном газе некоторого месторождения равны: метан — 82 %, этан — 12 %, пропан — 6 %. Определите их массовые доли.
5. Рассчитайте объём воздуха (содержащего 20 % кислорода), необходимого для сжигания 100 м<sup>3</sup> природного газа (н. у.), в котором объёмные доли метана, этана, пропана и азота равны соответственно 80 %, 12 %, 6 % и 2 %.
6. Приведите примеры международной экономической интеграции, основанной на разведке, добыче, транспортировке и использовании природного газа.

### Используйте дополнительную информацию

7. Найдите в Интернете данные об объёмах добычи природного газа в России за последние 10 лет. Оформите информацию в виде таблицы. Проанализируйте динамику добычи, свяжите её с экономической ситуацией в стране и в мире.

## § 9. НЕФТЬ И СПОСОБЫ ЕЁ ПЕРЕРАБОТКИ

При составлении бюджета Российской Федерации в расчёт принимаются международные цены на углеводородное сырьё — природный газ и нефть. Что представляет собой нефть?



### Состав нефти и попутного нефтяного газа

Миллионы лет назад в процессе разложения останков животных и растительных организмов в недрах Земли образовалось ещё одно полезное ископаемое — нефть. Полости над её поверхностью занимают **попутные нефтяные газы**, частично растворённые в нефти вследствие высокого давления.

По сравнению с природным газом в попутном нефтяном газе содержится меньше метана и больше его гомологов: этана, пропана, бутана, пентана и др. Перед использованием попутный нефтяной газ разделяют на составные части, называемые **фракциями**. Фракция, содержащая пентан, гексан и их изомеры, — это **газовый бензин**, который используется в качестве низкосортного топлива для двигателей внутреннего сгорания. Фракцию, содержащую пропан и бутан (её так и называют — **пропан-бутановая фракция**), используют в качестве топлива для двигателей, работающих на сжиженном газе. Именно такая смесь находится в бытовых газовых баллонах красного цвета, баллонах автомобилей, работающих на газе, а также в газовых зажигалках. Самая низкокипящая фракция — так называемый **сухой газ** — сходна по составу с природным и может использоваться в качестве топлива или химического сырья.

**Нефть** — это маслянистая жидкость от светло-коричневого до тёмно-бурого цвета со специфическим запахом, нерастворимая в воде. Именно поэтому разливы нефти в результате аварий танкеров или нефтедобывающих платформ — настоящее экологическое бедствие. Несмотря на ничтожную толщину, нефтяная плёнка препятствует растворению в воде кислорода воздуха, необходимого для дыхания обитателей вод. Гибнут водоплавающие птицы, перья которых покрываются несмываемым маслянистым налётом. Нефтяные разливы загрязняют сотни километров береговой полосы.

По своему составу нефть представляет собой природную смесь углеводородов, главным образом алканов линейного и разветвлённого строения, содержащих от 6 до 50 атомов углерода в молекуле. Нефть может содержать также значительное количество ароматических углеводородов.

### Переработка нефти

Газообразные и твёрдые компоненты нефти растворены в её жидкой фазе. Поскольку нефть — сложнейшая смесь многих веществ, она не имеет определённой температуры кипения. При нагревании из нефти постепенно выкипают летучие компоненты в порядке увеличения их плотности и температуры кипения. Такое свойство нефти позволяет разделять её на составляющие — отдельные фракции, представляющие собой смеси веществ с относительно близкими температурами кипения. Этот процесс называют **фракционной перегонкой** или **ректификацией**.

**Ректификацией** (перегонкой) называют разделение жидких смесей на отдельные компоненты — фракции.

Ректификацию осуществляют на специальных установках, называемых **ректификационными колоннами** (рис. 19). На этих установках нефть разделяют на несколько фракций: бензин, лигроин, керосин, газойль (дизельное топливо) и др. **Бензин** используют в качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания, **лигроин** — как горючее для сельскохозяйственной техники и сырьё для дальнейшей переработки, **керосин** — как топливо для современных реактивных самолётов, **газойль** — как топливо для дизельных двигателей.

Остаток после перегонки нефти — **мазут**. Эту тёмную вязкую жидкость используют в качестве топлива для тепловых электростанций и котельных, а также перерабатывают с получением битума, гудрона и минеральных масел.

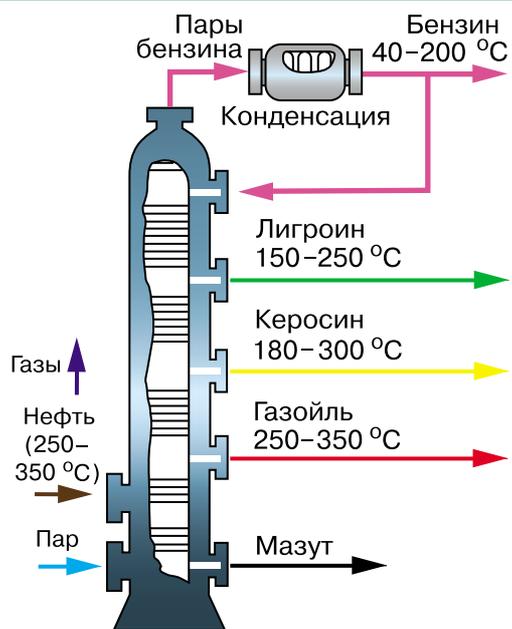
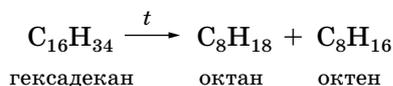


Рис. 19. Ректификационные колонны нефтеперерабатывающего завода и схема их работы

В процессе перегонки не происходит химических превращений одних веществ в другие. А вот вторичная переработка нефтепродуктов уже сопровождается протеканием химических реакций. Один из процессов вторичной переработки нефти — **крекинг нефтепродуктов**.

**Крекинг** — процесс термического расщепления углеводородов с получением продуктов с меньшей относительной молекулярной массой.

Впервые промышленный крекинг керосина осуществил на установке собственной конструкции русский инженер и изобретатель Владимир Григорьевич Шухов в 1891 г., нагревая его до температуры 500–600 °С. При этом молекулы алканов разрываются примерно пополам с образованием предельного и этиленового углеводорода с меньшей длиной углеродной цепи:

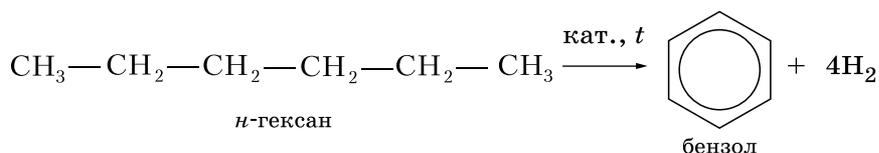
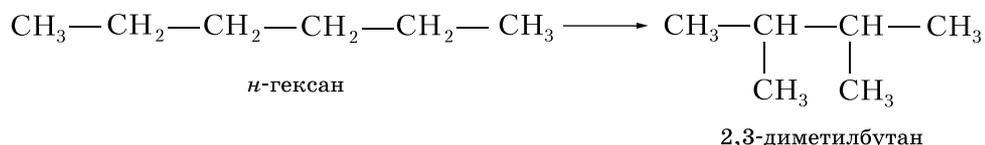


Смесь предельных углеводородов, выделенных из продуктов крекинга, аналогична бензиновой фракции нефти и используется в качестве автомобильного топлива. Вторичная переработка нефтепродуктов позволяет увеличить выход наиболее ценного нефтепродукта — бензина.

Бензин, получаемый в результате термического крекинга нефтепродуктов, как правило, невысокого качества. Повысить его позволяет ещё один процесс вторичной переработки нефтепродуктов — риформинг (от англ. *reform* — переделывать).

**Риформинг** — переработка нефтепродуктов с целью повышения качества бензина и получения ароматических углеводородов.

Основу процесса риформинга составляют два типа реакций — изомеризация предельных углеводородов и их дегидрирование. В результате первой реакции образуются алканы с разветвлённой углеродной цепью, в результате второй — бензол и его гомологи:



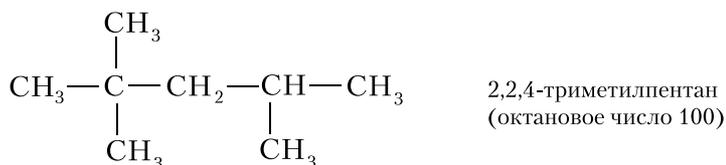
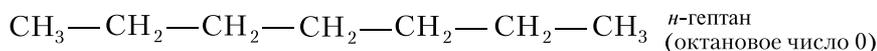
### Понятие об октановом числе



Как химические реакции, протекающие в процессе риформинга, влияют на качество бензина? Какими параметрами характеризуется качество бензина?

Один из показателей качества бензина — его **детонационная устойчивость**, т. е. способность выдерживать в смеси с воздухом сильное сжатие в цилиндре двигателя без самопроизвольного возгорания. Эта способность напрямую зависит от строения углеводорода. Так, углеводороды разветвлённого строения (циклические и ароматические) способны выдерживать более высокую степень сжатия, чем алканы линейного строения.

Детонационная устойчивость бензина характеризуется количественным показателем, который называют **октановым числом**. За нулевой показатель в октановой шкале принята детонационная стойкость гептана линейного строения  $\text{C}_7\text{H}_{16}$ . Октановое число, равное 100, приписывают углеводороду состава  $\text{C}_8\text{H}_{18}$  — 2,2,4-триметилпентану (его условное название — **изооктан**):



Октановое число бензина указывается в его марке. Например, бензин АИ-95 характеризуется октановым числом 95, т. е. имеет такую же детонационную устойчивость, как смесь 95 % изооктана и 5 % *n*-гептана.

## Нефть в мировой экономике

Добыча, транспортировка, переработка и использование природного газа, нефти и нефтепродуктов — один из важнейших аспектов международного сотрудничества. Десятки тысяч километров трубопроводов живым потоком горючего газа связывают государства. Нефтеналивные танкеры перевозят «чёрное золото» с одного континента на другой.

Проблема рынка углеводородного сырья является одной из основных как для каждой страны в отдельности, так и для всего мира в целом. Для развития отрасли требуется международная кооперация. Одни страны специализируются на геологоразведке и добыче нефти и газа, другие разрабатывают и поставляют эффективное оборудование, через третьи страны проходят транспортные артерии.

В середине прошлого века на геополитической карте мира возникли международные картели нефтегазовой отрасли. В них входят страны, оказавшие огромное влияние на развитие нефтяной промышленности и всего энергетического комплекса мира. Это страны ОПЕК (Organization of Petroleum Exporting Countries, Организация стран — экспортёров нефти), возникшей в 1960 г., в состав которой на второе десятилетие XXI в. входят: Венесуэла, Алжир, Иран, Ирак, ОАЭ, Ливия, Кувейт, Катар, Саудовская Аравия, Нигерия и др.

Помимо взаимовыгодного сотрудничества, международная экономическая конкуренция создаёт очаги напряжённости, связанные с разделом сфер влияния на нефтяном рынке. Вооружённые конфликты, обострившиеся в последнее десятилетие в странах Северной Африки, Ближнего Востока, в конечном счёте связаны с желанием доминировать в международном экономическом пространстве, диктовать свои условия на рынке углеводородов.

Мировые цены на нефть значительно влияют на экономическое состояние нашей страны, потому что за счёт экспорта углеводородов происходит значительная часть валютных поступлений, с которыми связаны колебания курса отечественной валюты — рубля. Важнейшей экономической задачей страны является уменьшение зависимости её бюджета от экспорта нефти и газа, высокотехнологичная переработка углеводородного сырья внутри страны, внедрение в развитие всех отраслей промышленности инновационных процессов, безопасных для окружающей среды и обеспечивающих финансовую и технологическую самодостаточность Российской Федерации.

**Попутный нефтяной газ и его фракции (газовый бензин, пропан-бутановая фракция, сухой газ). Нефть и её фракции (бензин, лигроин, керосин, газойль, мазут). Ректификация (перегонка). Крекинг. Риформинг. Детонационная устойчивость. Октановое число**



### Проверьте свои знания

1. Каков состав попутного нефтяного газа? На какие фракции его разделяют при переработке, как их используют?
2. Что собой представляет нефть, каков её состав? Назовите основные месторождения нефти в России, укажите их на карте.
3. Что такое ректификация нефти? Укажите области применения её продуктов.
4. Что такое крекинг? Какая химическая реакция лежит в основе этого процесса? Запишите уравнение крекинга углеводорода состава  $C_{20}H_{42}$ .
5. Что такое риформинг? Запишите уравнения реакций изомеризации *n*-октана  $C_8H_{18}$  в 2,2,4-триметилпентан. Используйте структурные формулы органических веществ.

### Примените свои знания

6. В средствах массовой информации найдите сообщения о крупных катастрофах, связанных с утечкой или возгоранием нефти. Каковы последствия этих катастроф?
7. В Интернете найдите информацию об объёмах экспорта Российской Федерацией сырой нефти за последние 10 лет. С помощью офисного приложения MS Excel представьте найденные данные в виде графика.

### Используйте дополнительную информацию

8. Подготовьте сообщение по теме «Природные углеводороды как предмет международного сотрудничества и основа экономики России».

### Выразите своё мнение

9. Пригодятся ли в вашей будущей учебной и профессиональной деятельности знания о природных источниках углеводородов, их добыче, транспортировке и переработке? Аргументируйте свою позицию.

## § 10. КАМЕННЫЙ УГОЛЬ И ЕГО ПЕРЕРАБОТКА



В 1696 г. Петру I продемонстрировали кусок чёрного минерала, который сравнительно легко загорался и горел красноватым пламенем. «Сей минерал если не нам, то потомкам нашим зело полезен будет», — сказал Пётр I. О каком минерале шла речь? Каковы основные направления промышленного использования и переработки этого полезного ископаемого?

### Каменный уголь и его разновидности

Наверное, вы догадались, что речь пойдёт о ещё одном полезном ископаемом, которым так богата наша Родина, — каменном угле. Это горная порода, образованная окаменелыми останками доисторических растений.

Уголь стал первым в истории человечества ископаемым топливом. Помимо прямого использования теплоты сгорания угля, человек научился превращать выделяющуюся энергию в механическую работу, а затем и в электрическую энергию. Вплоть до середины прошлого века тепловые электростанции, работающие на ископаемом угле, давали более половины мирового производства электроэнергии. Только с появлением атомной энергетики теплоэлектростанции стали уступать место более эффективным и экологичным способам производства электроэнергии.

Из курса географии вы знаете, что в зависимости от физико-химических свойств различают три вида ископаемых углей: антрацит, каменный уголь и бурый уголь.

**Антрацит** залегает на больших глубинах — около 6 км. В результате огромного давления расположенных выше почвенных слоёв пласты антрацита при-

обрекли большую плотность и характерный блеск. Содержание углерода в антраците — от 95 % и выше. Теплота сгорания этого вида угля самая высокая, однако загорается он с трудом. Используют антрацит в качестве высокоэффективного топлива, а также для изготовления электродов и получения карбидов металлов.

**Каменный уголь** залегает на меньших глубинах, содержит больше летучих веществ и влаги. Содержание углерода в каменном угле в зависимости от месторождения составляет от 70 до 95 %. Именно этот вид угля используют как сырьё в коксохимическом производстве. По внешнему виду каменный уголь отличается от антрацита отсутствием характерного блеска.

**Бурый уголь** имеет наименьшую глубину залегания. Образовывался он при значительно меньших давлениях и температуре, массовая доля углерода в нём менее 70 %, зато много летучих органических веществ, неорганических примесей и влаги. Теплота сгорания бурого угля невелика, однако ценность представляют продукты его переработки. Этот вид угля имеет характерную чёрно-бурю окраску, низкую плотность и рыхлую структуру.

Запасы угля значительно превышают запасы нефти и природного газа, а значит, в недалёком будущем он станет важнейшим природным источником органических соединений и главным углеродным энергоресурсом (рис. 20).

По ресурсам ископаемого угля Россия занимает второе место в мире после США, владея примерно 17 % его мировых запасов. В настоящее время около половины добываемого каменного угля используется в качестве топлива, остальное количество служит сырьём для коксохимического производства.

### Переработка каменного угля

Один из основных процессов химической переработки каменного угля — коксование.

**Коксование** — процесс высокотемпературного нагревания угля без доступа воздуха.

Этот процесс проводят с целью получения важнейшего для металлургической промышленности продукта — **кокса**. Кроме него, в результате коксования образуются каменноугольная смола, аммиачная вода и коксовый газ (рис. 21). Отрасль чёрной металлургии, занимающаяся переработкой каменного угля методом коксования, называют **коксохимическим производством**.

При коксовании каменный уголь загружают в коксовую печь и нагревают при 1000 °С в течение 14—15 ч. Кусочки угля превращаются в кокс, представляющий собой практически чистый углерод. Кокс выталкивают из печи, сортируют и отправляют на металлургические заводы для использования в доменном процессе.



Рис. 20. Расчетное время потребления разведанных запасов природных источников углеводородов (начиная с 2010 г.)



Рис. 21. Продукты коксохимического производства

Органические вещества, входящие в состав каменного угля, при нагревании постепенно разлагаются с образованием летучих продуктов. Они поступают в специальный сборник, где конденсируются в две несмешивающиеся жидкости: **каменноугольную смолу (каменноугольный дёготь)** и **аммиачную воду**. В состав каменноугольной смолы входит около 300 различных соединений, часть из которых выделяют путём фракционной перегонки. Так получают, например, бензол и другие ароматические углеводороды. В аммиачной воде содержатся, естественно в растворённом состоянии, аммиак и другие вещества. На специальной колонне растворённые вещества выделяют и разделяют. Полученный аммиак идёт главным образом на производство азотных удобрений.

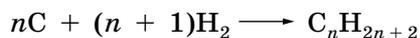
**Коксовый газ**, оставшийся после конденсации, очищают от остатков смол и извлекают из него аммиак. Для этого газ пропускают через раствор серной кислоты, превращая аммиак в сульфат аммония, который используют в качестве азотного удобрения. Из коксового газа выделяют также водород, этилен и некоторые другие вещества.

Вторым важным направлением переработки каменного угля является его **газификация**. Измельчённый уголь, или кокс, подаётся в газогенератор, где при высокой температуре соприкасается с перегретым водяным паром. В результате образуется смесь газообразных продуктов, содержащая главным образом водород и оксид углерода(II) — так называемый **водяной газ**:



Водяной газ можно разделить на компоненты, а можно без разделения использовать для синтеза углеводородов и кислородсодержащих органических соединений.

В последние годы вновь возрос интерес к процессу **каталитического гидрирования** угля. Для этого процесса может быть использован водород, образующийся в процессе газификации. Реакция между углеродом и водородом при повышенной температуре и давлении приводит к образованию смеси углеводородов, которая используется в качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания и является альтернативой продуктам нефтепереработки:



Запасы природного газа, нефти, каменного угля на Земле неограничены. Все полезные ископаемые относятся к невозобновляемым сырьевым ресурсам. Человечество приходит к необходимости искать альтернативные, в том числе возобновляемые, источники энергии и сырья.

Разве существует сырьё, которое никогда не кончается? Представьте себе, да. Всё большее внимание химиков и технологов привлекают растения. Ежегодно на Земле вырастает миллион миллиардов тонн зелёной растительной массы, а ведь это уникальный источник органических веществ, промышленную переработку которого ещё только предстоит освоить.

**Ископаемый уголь (антрацит, каменный уголь, бурый уголь). Коксование. Коксохимическое производство. Кокс. Коксовый газ. Аммиачная вода. Каменноугольная смола. Газификация угля. Водяной газ. Каталитическое гидрирование угля**



### Проверьте свои знания

1. Расскажите о происхождении и классификации ископаемого угля. Укажите на карте важнейшие месторождения каменного угля в Российской Федерации.
2. Какой процесс называют коксованием каменного угля? Какие основные продукты коксохимического производства и направления их вторичной переработки вы можете назвать?
3. Назовите основные различия антрацита, каменного угля и бурого угля, укажите области их использования.

### Примените свои знания

4. Образец каменного угля массой 0,27 г сожгли в кислороде, образовавшиеся газы пропустили через избыток раствора гидроксида бария. В результате образовался осадок массой 3,94 г. Вычислите массовую долю углерода в образце каменного угля.
5. Содержание аммиака в аммиачной воде составляет 3,4 %. Какую массу сульфата аммония можно получить из 2 т аммиачной воды?

### Используйте дополнительную информацию и выразите своё мнение

6. Большое значение подземной газификации угля придавал Д. И. Менделеев. Используя Интернет, подготовьте сообщение об этой сфере научных интересов великого русского химика. Актуальны ли идеи Д. И. Менделеева в наше время?

## ВЫВОДЫ К ГЛАВЕ II

### «УГЛЕВОДОРОДЫ И ИХ ПРИРОДНЫЕ ИСТОЧНИКИ»

1. Различают следующие виды изомерии: структурную (изомерия углеродной цепи, изомерия положения кратной связи, межклассовая изомерия) и пространственную (*цис-транс*-изомерия).

2. Наиболее многочисленный тип органических соединений — углеводороды. Различают предельные углеводороды (алканы и циклоалканы), непредельные углеводороды (алкены, алкадиены, алкины) и ароматические углеводороды (арены).

3. Для предельных углеводородов наиболее характерны реакции горения, замещения и изомеризации.

4. Для непредельных углеводородов наиболее характерны реакции окисления и присоединения (гидрирование, гидратация, галогенирование, гидрогалогенирование, полимеризация).

5. Качественные реакции на непредельные соединения (на кратные — двойные и тройные — химические связи) — это реакции обесцвечивания бромной воды и раствора перманганата калия.

6. Для ароматических углеводородов характерны реакции горения, замещения (идут легче, чем у алканов) и присоединения (идут труднее, чем у алкенов).

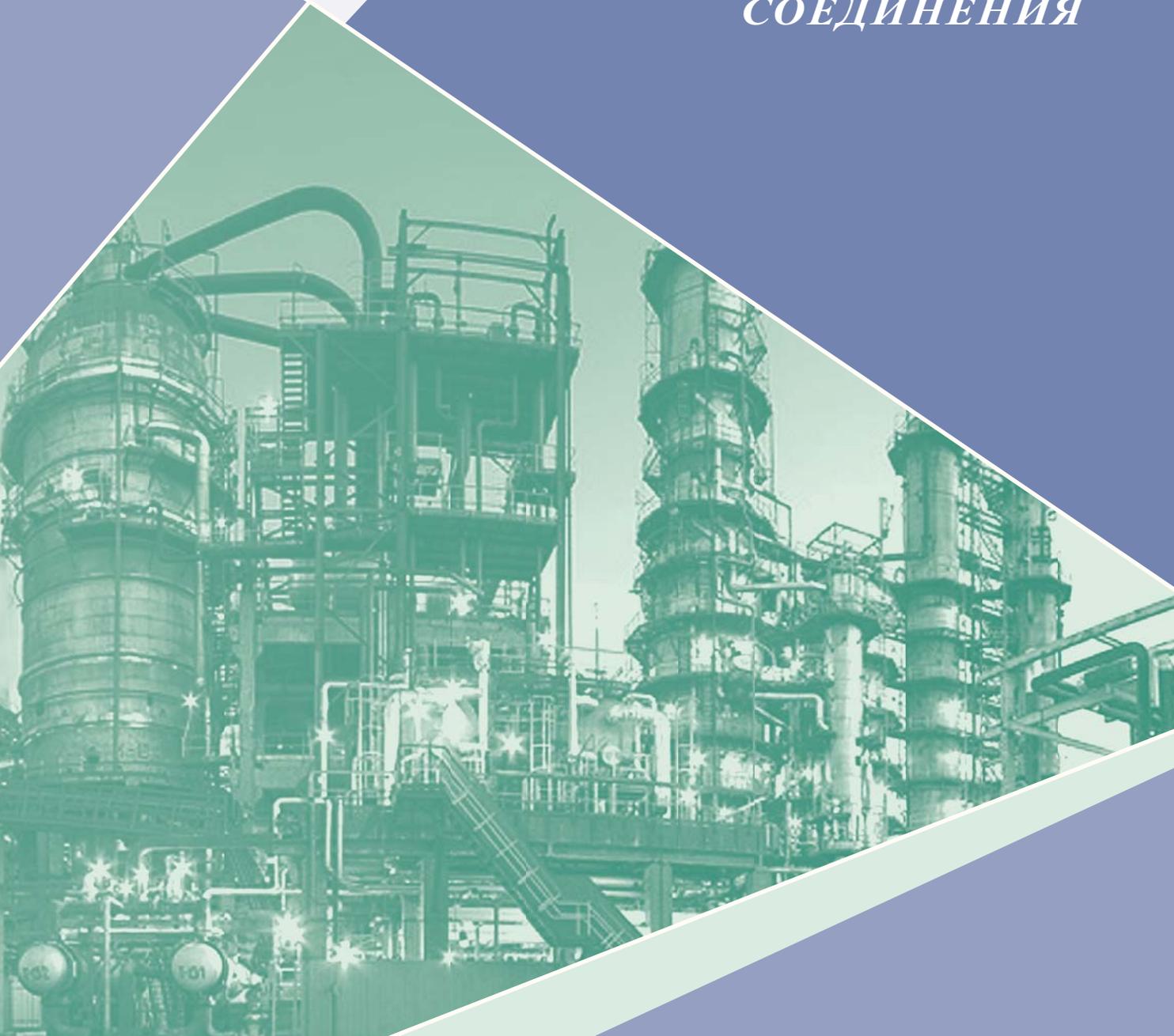
7. Природные источники углеводородов — это природный и попутный нефтяной газы, нефть и каменный уголь.

8. К основным способам промышленной переработки нефти относят перегонку (получение бензина, лигроина, керосина, газойля, мазута), крекинг (расщепление крупных молекул углеводородов до углеводородов бензиновой фракции) и риформинг (получение высокооктанового топлива).

9. Основные продукты переработки каменного угля — коксохимического производства — это кокс, каменноугольная смола, аммиачная вода и коксовый газ.

# III

*КИСЛОРОД-  
И АЗОТСОДЕРЖАЩИЕ  
ОРГАНИЧЕСКИЕ  
СОЕДИНЕНИЯ*



## § 11. ОДНОАТОМНЫЕ СПИРТЫ



Химические антонимы «гидратация этилена» и «дегидратация этанола» связывает одно и то же вещество — этиловый спирт  $C_2H_5OH$ . Предложите формулу двух гомологов этого соединения, отличающихся от него на группу  $CH_2$ . Какую общую формулу имеют спирты этого гомологического ряда и какие свойства для них характерны?

### Этиловый спирт и его действие на организм

Изготавливать алкогольные напитки люди научились ещё до нашей эры. С давних времён способ получения вин сбраживанием фруктовых соков дошёл до наших дней.

Дурманный компонент алкогольных напитков впервые был выделен алхимиками только в XI в. и получил название *aqua vitae* — жизненная вода. Вскоре за ним закрепилось название *винный спирт*. Употребление алкоголя нашими предками преследовало практическую цель: за счёт вина, разбавленного водой, или пива организм получал до 25 % энергии. До сих пор можно услышать, как пиво за его калорийность называют жидким хлебом.

Коварство алкогольных напитков заключается в том, что они очень быстро вызывают привыкание, а их токсическое действие на организм проявляется не сразу. Однозначно доказано, что любое, даже незначительное, употребление алкоголя вредит здоровью человека. При попадании винного спирта в организм происходят психические и неврологические изменения, снижаются острота мышления и чёткость восприятия, формируется неадекватное поведение. Кроме этого, под действием алкоголя происходит обезвоживание организма, кровеносные сосуды расширяются, усиливается ток крови в капиллярах, в результате чего появляется ощущение тепла и покраснение кожи. В больших количествах алкоголь приводит к тяжёлым отравлениям и гибели клеток печени.

Химическое название винного спирта вам уже знакомо: **этиловый спирт**, или **этанол**. Его химическая формула  $C_2H_5OH$ . Его молекулы содержат функциональную гидроксильную группу —ОН.

**Функциональная группа** — атом или группа атомов, которые определяют наиболее характерные свойства вещества и его принадлежность к определённому классу соединений.

### Гомологический ряд предельных одноатомных спиртов

Этиловый спирт относится к одному из классов кислородсодержащих органических соединений — спиртам.

**Спирты** — органические вещества, в молекулах которых углеводородный радикал связан с гидроксильной группой —ОН.

В молекуле этилового спирта содержится одна гидроксильная группа, связанная с остатком предельного углеводорода — этильным радикалом. Именно

поэтому этиловый спирт относится к гомологическому ряду **предельных одноатомных спиртов**. Их состав соответствует общей формуле  $C_nH_{2n+1}OH$ .

Этиловый спирт, содержащий в молекуле два углеродных атома, является вторым представителем предельных одноатомных спиртов. Родоначальник гомологического ряда — метиловый спирт  $CH_3OH$  (рис. 22).

Химические формулы и названия первых представителей гомологического ряда предельных одноатомных спиртов приведены в таблице 5.

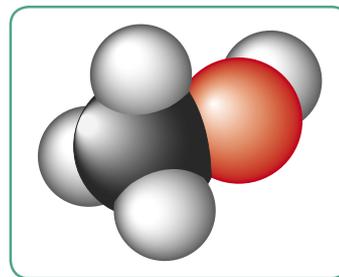


Рис. 22. Модель молекулы метилового спирта

Таблица 5

### Предельные одноатомные спирты

Молекулярная формула	Структурная формула	Название
$CH_3OH$	$CH_3-OH$	Метиловый спирт, метанол
$C_2H_5OH$	$CH_3-CH_2OH$	Этиловый (винный) спирт, этанол
$C_3H_7OH$	$\begin{matrix} 3 & 2 & 1 \\ CH_3-CH_2-CH_2OH \end{matrix}$	Пропиловый спирт, пропанол-1
$C_3H_7OH$	$\begin{matrix} 1 & 2 & 3 \\ CH_3-CH-CH_3 \\   \\ OH \end{matrix}$	Изопропиловый спирт, пропанол-2

### Номенклатура и изомерия спиртов

По международной номенклатуре названия спиртов образуют от названия соответствующего алкана с добавлением суффикса *-ол*, указывающего на принадлежность вещества к данному классу органических соединений. Обратите внимание, что при составлении названия спиртов углеродные атомы нумеруют с того конца цепи, к которому ближе гидроксильная группа.

Два последних спирта (см. табл. 5) обладают одной и той же молекулярной формулой  $C_3H_7OH$ , а вот химическое строение у них различное. Пропанол-1 и пропанол-2 — это изомеры, различающиеся **положением функциональной группы** в молекуле. Это ещё один вид структурной изомерии.

### Физические свойства спиртов

В отличие от углеводов, гомологические ряды которых начинаются с газообразных веществ, в ряду предельных одноатомных спиртов нет газов. Кроме того, в противоположность углеводам, практически нерастворимым в воде, спирты с числом углеродных атомов от 1 до 4 смешиваются с водой в любых соотношениях. Оба эти свойства обусловлены способностью спиртов за счёт гидроксильных групп образовывать между молекулами особые связи, которые называют водородными связями.

Связь между атомом водорода одной молекулы и атомом с высокой электроотрицательностью (фтор, кислород, азот) другой молекулы называют **водородной связью**.

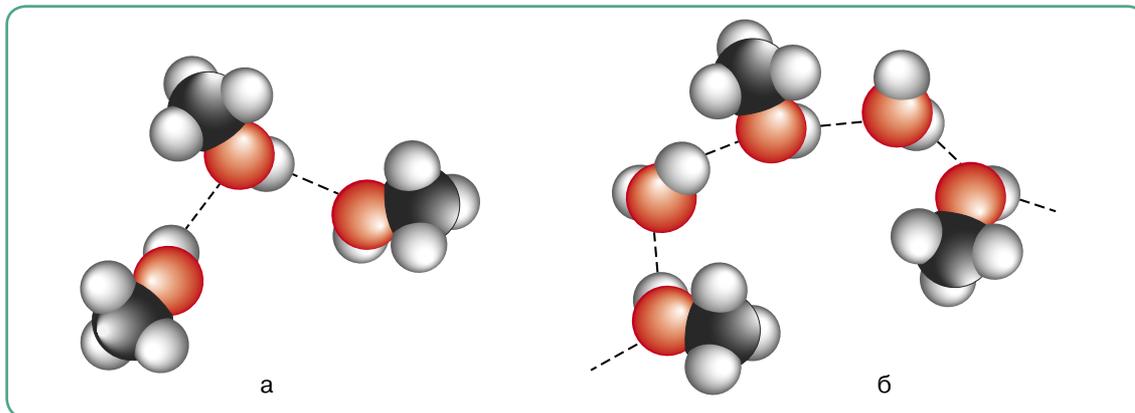


Рис. 23. Водородные связи между молекулами: а — метилового спирта; б — метилового спирта и воды

За счёт водородных связей молекулы спиртов ассоциированы в жидкости (рис. 23, а) и хорошо растворимы в воде (рис. 23, б).

Спирты — прекрасные растворители органических веществ.

### Лабораторный эксперимент

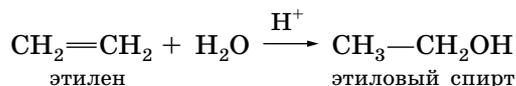
Фильтровальную бумагу положите на керамическую пластинку и нарисуйте на ней шариковой ручкой две точки размером с вишнёвую косточку на расстоянии 5 см друг от друга. В центр первой точки с помощью пипетки нанесите 3—4 капли воды, в центр второй точки — 3—4 капли этилового спирта. Объясните полученный результат.

### Способы получения спиртов



В промышленности этиловый спирт получают в результате реакции гидратации этилена. Какие ещё способы получения спиртов известны?

В промышленности спирты получают присоединением воды к этиленовым углеводородам. Например, в присутствии кислот этилен вступает в реакцию гидратации с образованием этилового спирта:



Ввести в молекулу органического вещества гидроксильную группу можно и с помощью реакции замещения. Так, при обработке галогеналканов водным раствором щёлочи атом галогена замещается группой OH:

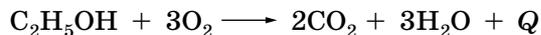


### Химические свойства спиртов



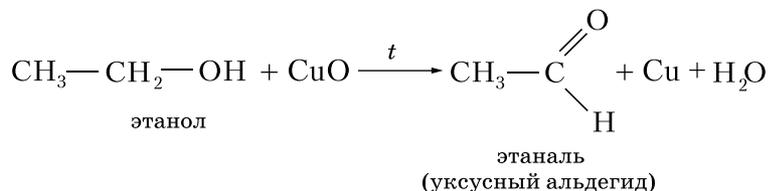
Общее свойство органических веществ, характерное и для спиртов, — горение — используют на практике. Какие общие свойства спиртов обусловлены содержанием в их молекуле функциональной гидроксильной группы?

Подобно большинству органических веществ, спирты горят. Пламя, образующееся при горении спиртов с небольшим числом атомов углерода в молекуле, бледно-голубое, практически не коптит, при горении выделяется большое количество теплоты:



Горючесть спиртов позволяет использовать их в качестве добавки к автомобильному бензину. В некоторых странах (Бразилия, США, Венесуэла) миллионы автомобилей адаптированы к использованию в качестве топлива чистого этанола.

Окисление спиртов может протекать не только до углекислого газа и воды. Если в качестве окислителя использовать нагретый оксид меди(II), молекула спирта теряет два атома водорода, гидроксильная группа превращается в другую функциональную группу — *альдегидную*:



Данную реакцию можно использовать для обнаружения спиртов (рис. 24).

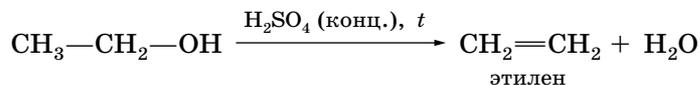


Рис. 24. Окисление этанола до этаналь

### Лабораторный эксперимент

Накалите на пламени спиртовки свёрнутую в спираль медную проволоку до появления чёрного налёта оксида меди(II) и внесите её в пробирку с этиловым спиртом. Что наблюдаете? Объясните наблюдаемые явления.

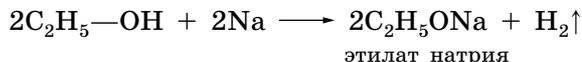
От молекулы этилового спирта можно отщепить не только атомы водорода, но и молекулу воды. Дегидратация спиртов — один из способов получения углеводородов этиленового ряда:



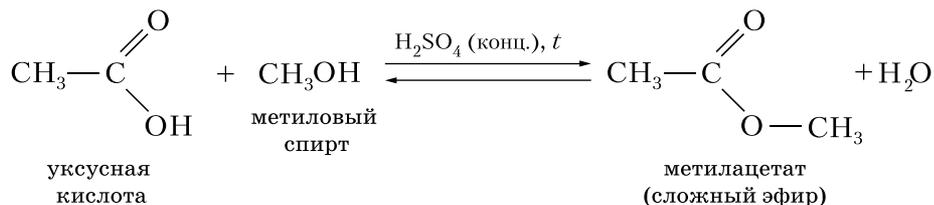
Из курса химии основной школы вам известно, что вода бурно реагирует с активными металлами (щелочными, щелочноземельными) с выделением водорода:



По строению молекулы спиртов напоминают молекулы воды, только вместо одного из двух атомов водорода они содержат углеводородный радикал. Как и вода, спирты способны взаимодействовать со щелочными металлами. При этом также выделяется водород и образуется производное спирта, подобное солям:



Ещё одно важное свойство спиртов — взаимодействие с карбоновыми кислотами с образованием *сложных эфиров* (см. § 16):



Реакцию образования эфира называют **реакцией этерификации**.

### Применение спиртов

Область применения спиртов чрезвычайно широка. Метанол используют в качестве сырья для производства формальдегида, уксусной кислоты, пластмасс, лекарственных веществ. В некоторых странах его также используют как добавку к моторному топливу. В нашей стране в этих целях метанол не используют. Он очень ядовит! Уже 5—7 мл метанола, попавшие в организм, вызывают полную потерю зрения в результате поражения сетчатки глаза, а 30 мл и более могут привести к летальному исходу.

Этиловый спирт благодаря своей растворяющей способности используют в качестве растворителя лаков и красок. Также его применяют как компонент моющих жидкостей, в парфюмерной и фармацевтической промышленности. Кроме того, этиловый спирт широко применяют в медицине для дезинфекции, компрессов, обтираний и др.

На основе этилового спирта в промышленности получают десятки органических веществ: сложные эфиры, галогенпроизводные углеводородов, уксусную кислоту. Помимо спиртных напитков, этанол в небольших количествах содержат и продукты, получаемые брожением: кефир (0,1—0,2 %), квас (0,5—1 %), кумыс (до 3 %).



**Функциональная группа. Спирты. Предельные одноатомные спирты. Изомерия положения функциональной группы. Водородная связь. Реакция этерификации**

### Проверьте свои знания

1. Какие вещества относят к классу предельных одноатомных спиртов? Приведите формулы и названия трёх первых представителей этого гомологического ряда.
2. Напишите структурные формулы всех спиртов состава  $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$ , назовите каждое вещество. Укажите типы изомерии, характерные для спиртов. Ответ проиллюстрируйте формулами изомерных бутиловых спиртов.
3. Напишите структурные формулы следующих соединений:
  - а) 2-метилпропанол-2;
  - б) 2,3-диметилпентанол-3;
  - в) бутанол-2;
  - г) 3-метилбутанол-2.
4. Какое действие на организм человека оказывает метиловый спирт? этиловый спирт?

### Примените свои знания

5. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить следующие превращения:

а) этан → этилен → этиловый спирт → уксусный альдегид

б) метан → хлорметан → метиловый спирт → метиловый эфир уксусной кислоты

в) этиловый спирт → этилен → бромэтан → этиловый спирт → этилат калия

6. В двух пробирках без подписи находятся метиловый спирт и толуол. Предложите способ распознавания этих веществ. Напишите уравнение реакции.

7. Какой объём водорода (н. у.) получится при действии 6,9 г натрия на 115 мл этилового спирта плотностью 0,80 г/мл?

### Выразите своё мнение

8. Постройте на компьютере 3D-модель молекулы этилового спирта. Рассмотрите взаимное расположение атомов в пространстве. Выскажите и аргументируйте своё мнение о том, является ли расположение атомов С—О—Н линейным. Если нет, то определите примерную величину угла.

## § 12. МНОГОАТОМНЫЕ СПИРТЫ

Анализ названия этого класса органических соединений позволяет прийти к выводу, что их молекулы содержат несколько функциональных гидроксильных групп. Как количество этих групп влияет на свойства многоатомных спиртов?



### Понятие о многоатомных спиртах

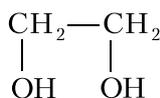
Вещества, содержащие две, три или более гидроксильные группы, называют соответственно двухатомными, трёхатомными или многоатомными спиртами.

Спирты, в молекулах которых содержатся две или более гидроксильные группы, называют **многоатомными спиртами**.

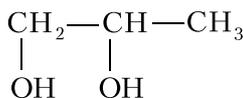
Многоатомные спирты можно рассматривать как производные углеводородов, в молекулах которых у углеродных атомов один из атомов водорода замещён гидроксильной группой —ОН.

Первые представители гомологических рядов предельных двухатомных и трёхатомных спиртов имеют исторически сложившиеся (тривиальные) названия: **этиленгликоль** и **глицерин** (рис. 25).

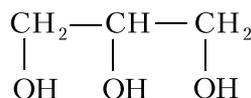
Основой международных названий многоатомных спиртов служит название предельного углеводорода с тем же числом углеродных атомов. После основы добавляют суффиксы *-диол* или *-триол* и т. д., указывают число гидроксильных групп и цифрами — их положение в углеродной цепи:



этандиол-1,2  
(этиленгликоль)



пропандиол-1,2  
(пропиленгликоль)



пропантриол-1,2,3  
(глицерин)

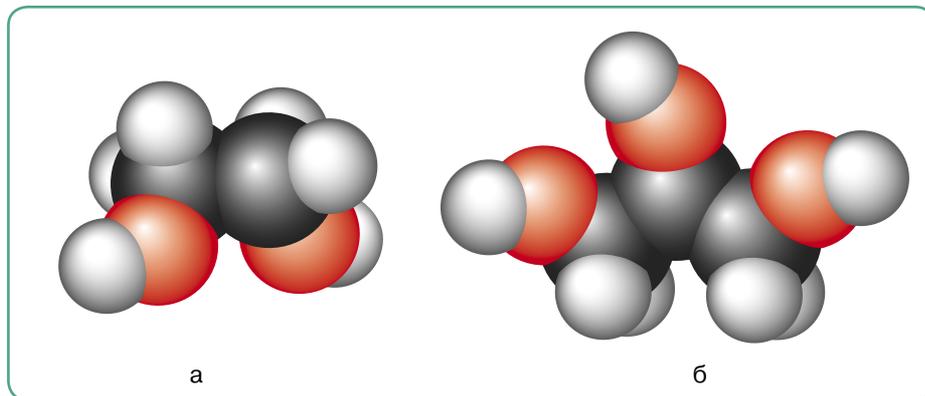


Рис. 25. Модели молекул: а — этиленгликоля; б — глицерина

Многоатомные спирты — бесцветные вязкие жидкости, сладковатые на вкус. Этиленгликоль и глицерин смешиваются с водой в любых соотношениях. Это обусловлено тем, что многоатомные спирты, как и одноатомные, образуют с молекулами воды водородные связи, способствующие образованию раствора.

### Лабораторный эксперимент

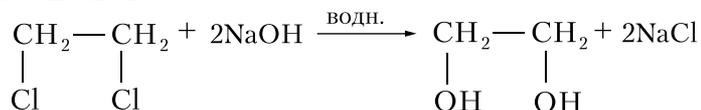
Налейте в пробирку 1 мл воды, добавьте 1 мл глицерина, встряхните смесь. Затем добавьте ещё 1 мл глицерина и ещё раз тщательно перемешайте содержимое пробирки. Какой вывод можно сделать о растворимости глицерина в воде?

Следует иметь в виду, что этиленгликоль токсичен. Попадание этого вещества или его раствора в организм человека приводит к тяжёлым отравлениям и даже летальному исходу.

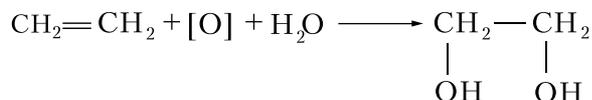
В противоположность этиленгликолю, глицерин нетоксичен, он даже зарегистрирован в качестве пищевой добавки с кодом Е422. Его добавляют в напитки для повышения их вязкости и для подслащивания, используют в качестве эмульгатора для придания пищевым продуктам нужной консистенции.

### Способы получения многоатомных спиртов

Общим способом получения многоатомных спиртов является гидролиз галогенпроизводных алканов:



Этиленгликоль образуется при окислении этилена раствором перманганата калия. Это качественная реакция на непредельные соединения. Уравнение этой реакции мы записывали, условно обозначив окислитель знаком [O], следующим образом:



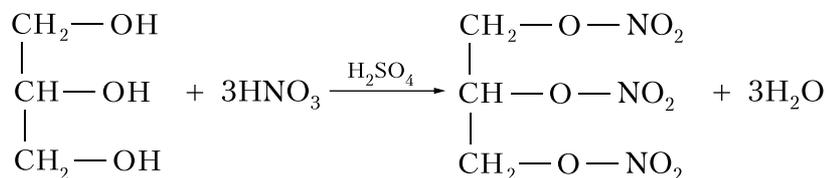
Глицерин впервые получил выдающийся шведский химик Карл Шееле в 1779 г. Нагревая оливковое масло с оксидом свинца, он выделил маслянистую жидкость, сладкую на вкус, которую назвал «сладким маслом». Название «глицерин» (от греч. *glykys* — сладкий) предложил французский химик М. Шеврёль в 1811 г. До сих пор это вещество получают как побочный продукт переработки жиров.

### Химические свойства и применение многоатомных спиртов

Химические свойства многоатомных спиртов сходны со свойствами предельных одноатомных спиртов. В реакцию может вступать одна или несколько гидроксильных групп. Например, и этиленгликоль и глицерин реагируют со щелочными металлами с выделением водорода:



Многоатомные спирты образуют сложные эфиры, причём не только с органическими, но и с неорганическими кислотами. Например, глицерин образует сложный эфир с концентрированной азотной кислотой в присутствии концентрированной серной кислоты:



тринитрат глицерина

Тринитрат глицерина более известен как медицинский препарат нитроглицерин (рис. 26), который применяют при сердечно-сосудистых заболеваниях. Также его используют для производства бездымного пороха и динамита. Динамит был изобретён Альфредом Нобелем, всемирно известным учёным, учредившим знаменитую Нобелевскую премию.

**Качественной реакцией на многоатомные спирты**, содержащие гидроксильные группы у соседних атомов углерода, является взаимодействие со свежеосаждённым гидроксидом меди(II). Яркое окрашивание раствора в результате образования особого соединения свидетельствует о присутствии в растворе многоатомного спирта (рис. 27).



Рис. 26. Тринитрат глицерина используют в качестве лекарственного средства



Рис. 27. Качественная реакция на многоатомные спирты

## Лабораторный эксперимент

Налейте в пробирку 2 мл 10%-ного раствора гидроксида натрия, добавьте несколько капель раствора сульфата меди(II). Что наблюдаете? К полученному осадку добавьте 5–6 капель глицерина и встряхните смесь. Что наблюдаете?

В заключение рассмотрим области применения многоатомных спиртов. Смесь многоатомного спирта (в частности, этиленгликоля) и воды кристаллизуется при гораздо более низкой температуре, чем каждое из чистых веществ! Это свойство используют при изготовлении **антифризов** — незамерзающих жидкостей для охлаждения двигателей автомобилей в зимних условиях.

Этиленгликоль применяют для получения синтетического волокна лавсана, полимера полиэтилентерефталата (ПЭТ), из которого изготавливают пластиковые бутылки.

Глицерин гигроскопичен, т. е. активно поглощает влагу воздуха. Это свойство глицерина используют при изготовлении кремов для обуви, в кожевенном производстве — для предохранения кож от высыхания, в текстильной промышленности — для придания тканям мягкости и эластичности. Глицерин широко применяют в парфюмерии и медицине для изготовления мазей и кремов.



**Многоатомные спирты. Этиленгликоль. Глицерин. Качественная реакция на многоатомные спирты. Антифризы**

### Проверьте свои знания

1. Какие вещества называют многоатомными спиртами? Напишите по две формулы и названия простейших представителей для двухатомных и трёхатомных спиртов.
2. Какие свойства глицерина лежат в основе его применения?

### Примените свои знания

3. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить следующие превращения:
  - а) этанол  $\longrightarrow$  этен  $\longrightarrow$  1,2-дихлорэтан  $\longrightarrow$  этандиол-1,2
  - б) пропанол-1  $\longrightarrow$  1-бромпропан  $\longrightarrow$  пропен  $\longrightarrow$  пропандиол-1,2
4. Какой объём водорода (н. у.) выделится при взаимодействии 1,38 г натрия с избытком этиленгликоля?
5. В двух пробирках находятся растворы этилового спирта и глицерина. Как их различить?
6. К наступлению холодов в клеточной жидкости насекомых и некоторых земноводных резко увеличивается содержание глицерина. Объясните этот природный факт.

### Используйте дополнительную информацию

7. Подготовьте сообщение по теме «Радуга автомобильных антифризов». Сделайте акцент на роли каждого компонента охлаждающих смесей, значении цвета антифриза, основных заблуждениях автомобилистов относительно выбора охлаждающей жидкости.
8. Температура кристаллизации этиленгликоля 13 °С, температура кристаллизации воды 0 °С. Попробуйте спрогнозировать температуру кристаллизации 50%-ного водного раствора этиленгликоля. Сравните ваш прогноз с истинным значением, найденным в Интернете. Проанализируйте результат, сделайте выводы.

## § 13. ФЕНОЛ

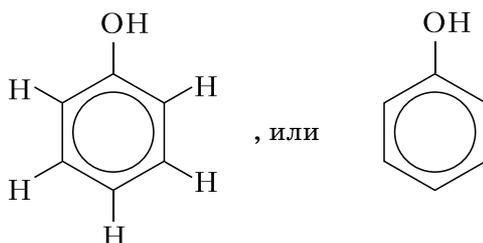
Предельные одноатомные спирты можно рассматривать как продукты замещения атомов водорода в молекулах алканов гидроксильными группами. Будет ли продукт замещения атома водорода в бензоле группой —ОН относиться к спиртам, или для него характерны другие свойства?



### Фенол и его строение

В XIX в. хирургические операции проводились без соблюдения каких-либо мер дезинфекции и стерилизации. В больницах после проведения операционных вмешательств регистрировалась высокая смертность от различных инфекций. В 1867 г. английский хирург Джозеф Листер опубликовал статью, в которой утверждал, что воспаление ран после хирургических операций вызывается внесёнными извне микроорганизмами. Для борьбы с хирургическими инфекциями Листер предложил обрабатывать помещение, руки врача, операционное поле, медицинский инструмент и даже воздух операционной зоны карболовой кислотой — водным раствором органического соединения, называемого *фенолом*. Благодаря этому Листер вошёл в историю как основоположник антисептики.

Молекулярная формула фенола  $C_6H_5OH$ . В молекуле фенола (рис. 28) гидроксильная группа связана с фенильным радикалом — одновалентным остатком ароматического углеводорода бензола:



Фенол — первый представитель гомологического ряда фенолов.

**Фенолы** — производные ароматических углеводородов, в молекулах которых один или несколько атомов водорода бензольного кольца замещены гидроксильными группами.

### Физические и химические свойства фенола

Фенол представляет собой белые игольчатые кристаллы, приобретающие на воздухе розоватую окраску вследствие окисления. Это вещество малорастворимо в холодной воде, но хорошо растворяется в горячей.

Фенол ядовит. Он легко проникает через кожу, быстро впитывается слизистыми оболочками. Признаки отравления фенолом — сильная головная боль, тошнота, головокружение.

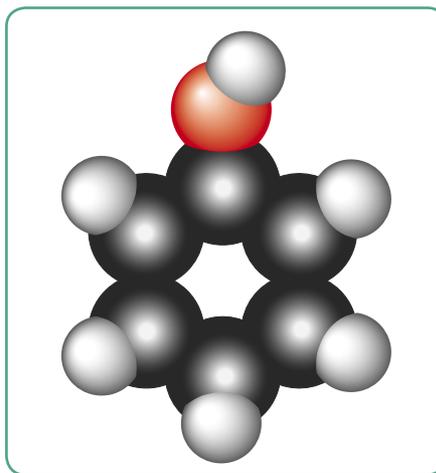


Рис. 28. Модель молекулы фенола

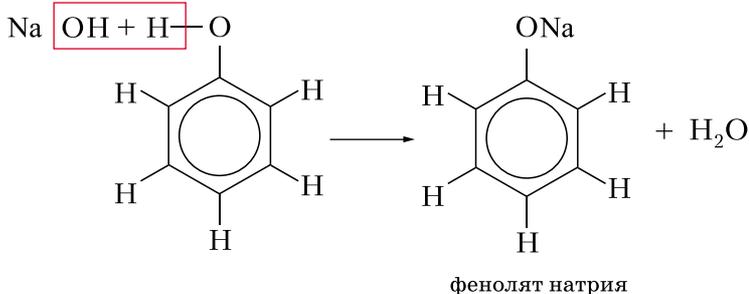
Впервые фенол был выделен из каменноугольной смолы. Этот способ получения долгое время оставался единственным. Ему на смену пришёл разработанный в Советском Союзе *кумольный метод* получения фенола. Этот метод основан на реакции окисления ароматического углеводорода (кумола) кислородом воздуха с получением двух важных продуктов — фенола и ацетона.

Молекула фенола, подобно молекулам спиртов, содержит гидроксильную функциональную группу. Однако в молекуле фенола с гидроксильной группой связан ароматический радикал, и эти два фрагмента молекулы оказывают друг на друга такое сильное влияние, что вещество приобретает специфические свойства, отличающие его как от спиртов, так и от аренов.



Как особенности химического строения фенола иллюстрируют третье положение теории химического строения о взаимном влиянии атомов в молекулах органических веществ?

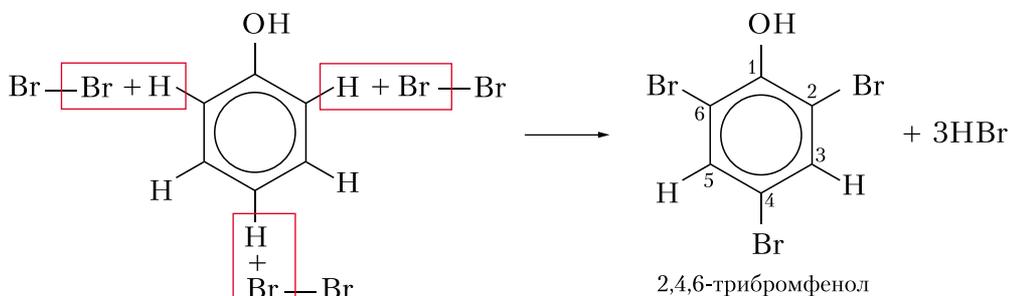
*Влияние ароматического радикала —C<sub>6</sub>H<sub>5</sub> на гидроксильную группу* выражается в значительном усилении её кислотных свойств. Это приводит к тому, что фенол, в отличие от спиртов, взаимодействует не только со щелочными металлами, но и со щелочами с образованием соли:



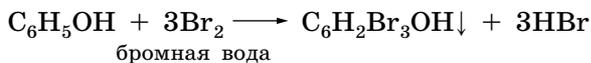
или



В свою очередь, *гидроксильная группа влияет на протекание реакций по ароматическому кольцу*. Например, замещение атома водорода атомом галогена уже не требует присутствия катализатора. Более того, при взаимодействии фенола с бромной водой атомами брома замещаются сразу три атома водорода цикла! И последнее. Гидроксильная группа направляет атомы брома, как полководец — войска, в строго определённые положения цикла: рядом с собой и напротив:



или



В продукте реакции фенола с бромом пронумерованы атомы углерода цикла. Теперь становится понятным название вещества: 2,4,6-трибромфенол. Трибромфенол не растворяется в воде. При добавлении к раствору фенола бромной воды реакционная смесь мутнеет вследствие образования мелких кристалликов белого цвета. Эта реакция является **качественной реакцией на фенол**.

Ещё одна качественная реакция на фенол заключается в образовании окрашенного соединения фенола с катионом железа  $Fe^{3+}$ . При добавлении нескольких капель раствора хлорида железа(III) к водному раствору фенола появляется характерное сиреневое окрашивание.

### Применение фенола

В промышленности фенол получают в больших количествах. Почти 90 % всего объёма производства идёт на получение полимерных материалов, эпоксидных смол и синтетических волокон. На основе фенола получают синтетические моющие средства, лекарственные препараты, средства борьбы с сельскохозяйственными вредителями. Водный раствор фенола до сих пор находит применение в медицине, фенол добавляют в краски (некоторые сорта гуаши) в качестве связующего компонента и антисептика (рис. 29).

Рассматривая химические свойства фенола, мы не упомянули ещё одну очень важную реакцию. И сделали это умышленно, поскольку «партнёром»

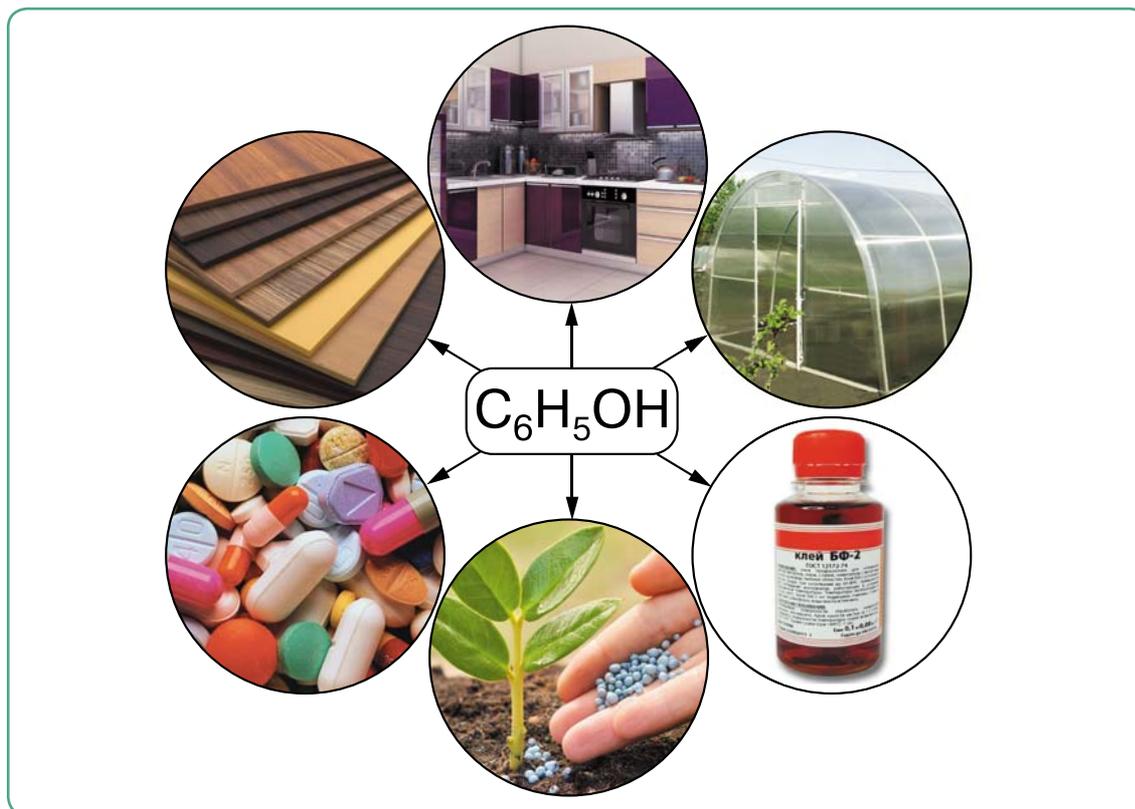


Рис. 29. Применение фенола: производство полимерных материалов и смол, средств защиты растений, лекарственных препаратов

фенола по этому превращению выступает вещество, относящееся к классу альдегидов. О них-то и пойдёт речь в следующем параграфе.



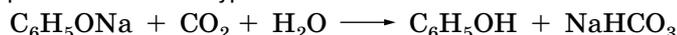
### Фенол. Фенолы. Качественные реакции на фенол. Взаимное влияние атомов в молекуле фенола

#### Проверьте свои знания

1. Приведите молекулярную и структурную формулы фенола. Найдите черты сходства и различия в строении молекул фенола и этанола.
2. Как взаимное влияние фенильного радикала и гидроксильной группы отражается на свойствах фенола? Ответ проиллюстрируйте уравнениями химических реакций.

#### Примените свои знания

3. В настоящее время вместо фенола в качестве дезинфицирующего средства используют 2,4,6-трихлорфенол. Предложите способ его получения исходя из бензола. Напишите уравнения соответствующих реакций.
4. В результате взаимодействия 47 г водного раствора фенола с бромной водой выпало 1,655 г осадка. Рассчитайте массовую долю фенола в исходном растворе.
5. В трёх пробирках без подписи находятся водные растворы пропанола-1, глицерина и фенола. С помощью каких реагентов можно определить каждый из растворов?
6. Фенолят натрия взаимодействует с углекислым газом с образованием гидрокарбоната натрия и фенола согласно уравнению



Какой вывод относительно кислотных свойств фенола и угольной кислоты можно сделать на основании этой реакции?

#### Используйте дополнительную информацию

7. Опишите физические свойства фенола. Найдите в Интернете данные о растворимости фенола в воде при различных температурах. Постройте график температурной зависимости растворимости фенола в воде.

## § 14. АЛЬДЕГИДЫ И КЕТОНЫ

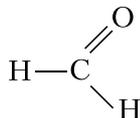


В 1835 г. немецкий химик Юстус Либих выделил из смеси продуктов окисления этилового спирта неизвестное вещество. По сравнению с исходным этанолом ( $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ ) это соединение содержало на два атома водорода меньше ( $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$ ). Учёный дал веществу латинское название *Alkohol dehydrogenatus*, или сокращённо альдегид. Попробуйте перевести на русский приведённое выше название. Какую функциональную группу содержат альдегиды и какие характерные свойства этого класса соединений она определяет?

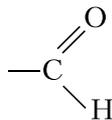
## Понятие об альдегидах

Современный рынок конструкционных и отделочных материалов необыкновенно богат. Древесно-стружечные плиты, из которых изготовлена мебель, искусно маскируются под натуральное дерево. Искусственный камень, из которого сделаны столешницы кухонной мебели, внешне трудно отличить от натурального камня. Стеновые панели и пластиковая вагонка окрашены во все цвета радуги и легко монтируются. Ламинат или линолеум создают иллюзию настоящей древесины. Ручки кухонной посуды, корпуса розеток и выключателей должны выдерживать высокую температуру или электрическое напряжение, при этом не гореть, не плавиться, отвечать гигиеническим нормам, а потому должны быть изготовлены из веществ, соответствующих установленным требованиям.

Что же общего между такими непохожими предметами быта? При изготовлении многих из них используют полимерные вещества, получаемые на основе органического вещества **формальдегида**. Формальдегид имеет формулу  $\text{CH}_2\text{O}$ , однако чаще всего её записывают в виде  $\text{HCHO}$ , поскольку она точнее отражает строение молекулы (рис. 30):



Между атомами углерода и кислорода имеется двойная связь. Группу



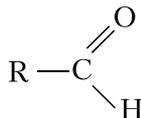
(или  $-\text{CHO}$ ) называют **альдегидной группой**. Именно она определяет принадлежность соединения к классу альдегидов.

Вещества, в молекулах которых альдегидная группа связана с углеводородным радикалом (или атомом водорода), называют **альдегидами**.

### Гомологический ряд альдегидов

Формальдегид (метаналь) — родоначальник гомологического ряда альдегидов. Это бесцветный ядовитый газ с характерным запахом, хорошо растворимый в воде. Водный раствор формальдегида называют **формалином**.

Общая формула представителей гомологического ряда альдегидов  $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}$ . Обозначив углеводородный радикал буквой  $\text{R}$ , общую формулу альдегидов можно записать так:



Формулы и названия первых представителей этого класса органических веществ приведены в таблице 6. Международные названия альдегидов образуются от названий соответствующих алканов с добавлением суффикса *-аль*.

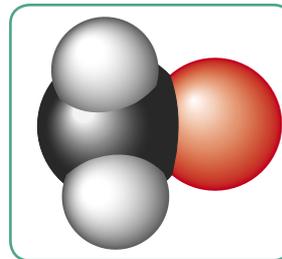


Рис. 30. Модель молекулы формальдегида

## Альдегиды

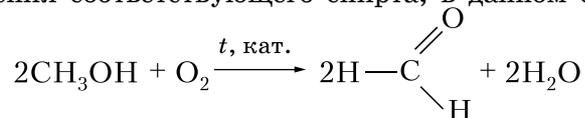
Молекулярная формула	Структурная формула	Название
CH <sub>2</sub> O	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H}-\text{C} \\ \backslash \\ \text{H} \end{array}$	Формальдегид, муравьиный альдегид, метаналь
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{CH}_3-\text{C} \\ \backslash \\ \text{H} \end{array}$	Ацетальдегид, уксусный альдегид, этаналь
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{C} \\ \backslash \\ \text{H} \end{array}$	Пропионовый альдегид, пропаналь

## Способы получения альдегидов

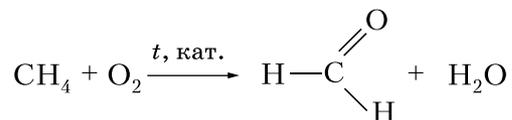


Общие способы получения альдегидов вам знакомы по материалам предыдущих параграфов. Какие это способы?

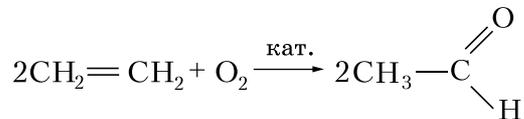
Основной промышленный метод получения формальдегида — уже знакомая вам реакция окисления соответствующего спирта, в данном случае метанола:



Кроме того, возможно получение формальдегида в результате каталитического окисления метана:



Уксусный альдегид (этаналь) в промышленности получают прямым окислением этилена в присутствии катализатора — хлорида палладия(II):

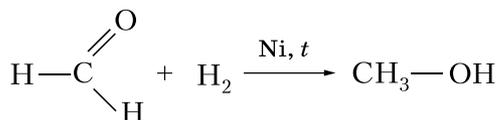


## Химические свойства альдегидов

Химические свойства альдегидов определяются в первую очередь наличием в их молекуле альдегидной группы.

Несмотря на наличие в альдегидной функциональной группе двойной связи, альдегиды не относят к непредельным соединениям. В типичные для непредельных соединений реакции присоединения они вступают с трудом. Тем не менее в присутствии катализатора водород способен присоединяться по связи

$\begin{array}{c} \diagdown \\ \text{C}=\text{O} \end{array}$  (реакция гидрирования):



Формальдегид легко окисляется, образуя при этом *карбоновую кислоту* (см. § 15). Реакцию окисления формальдегида можно записать упрощённо, обозначив окислитель как [O]:

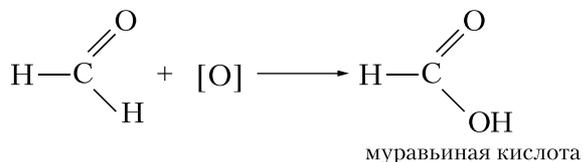
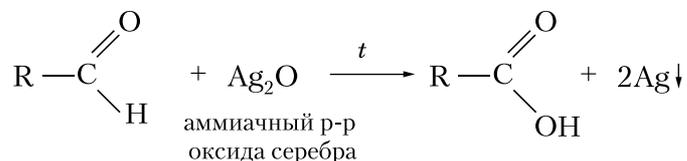


Рис. 31. Реакция серебряного зеркала

На реакциях окисления основаны **качественные реакции на альдегиды**. В роли окислителя можно использовать аммиачный раствор оксида серебра. В упрощённом виде эту реакцию можно выразить уравнением

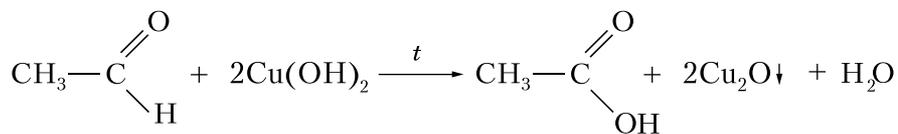


При осторожном нагревании альдегида с аммиачным раствором оксида серебра на стенках пробирки образуется блестящий налёт металла, поэтому данная реакция получила название **реакция серебряного зеркала** (рис. 31).

### Лабораторный эксперимент

В тщательно вымытую пробирку налейте 1 мл аммиачного раствора оксида серебра и добавьте по стенке 5–6 капель формалина. Поместите пробирку в стакан с горячей водой. Что наблюдаете?

Альдегиды легко окисляются также свежеприготовленным гидроксидом меди(II) в щелочной среде. При этом голубой цвет осадка изменяется на кирпично-красный в результате образования оксида меди(I):



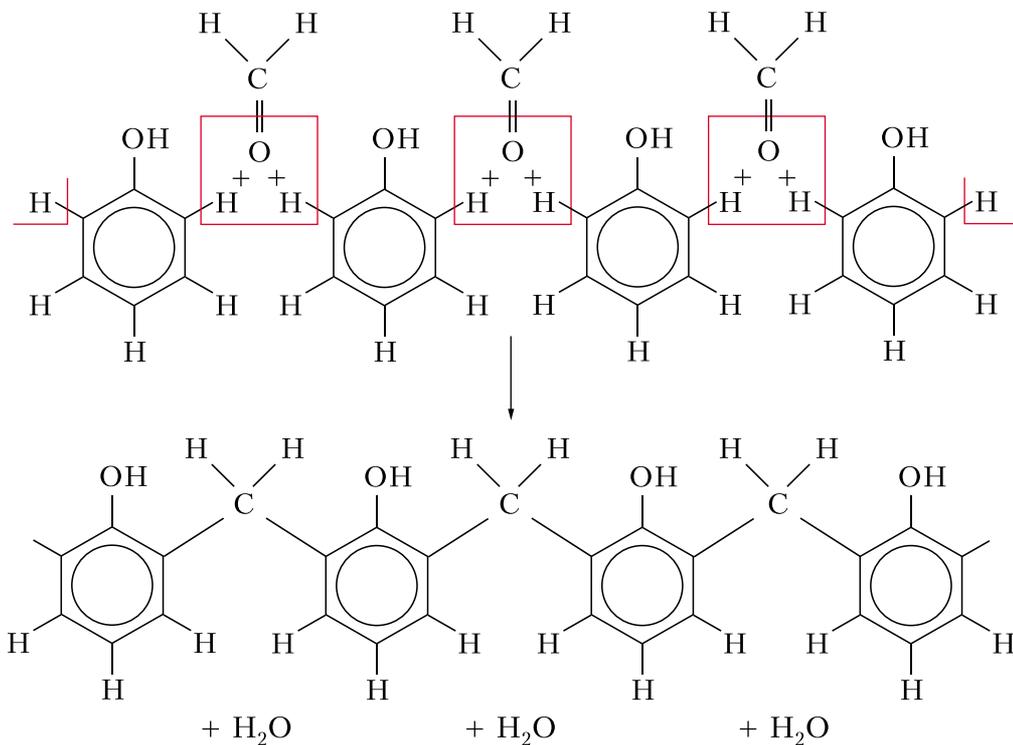
### Лабораторный эксперимент

Налейте в пробирку 2 мл 5–10%-ного раствора щёлочи и добавьте 2–3 капли раствора сульфата меди(II). К образовавшемуся осадку прилейте 1 мл разбавленного водой (1 : 1) формалина и нагрейте содержимое пробирки. Что наблюдаете?

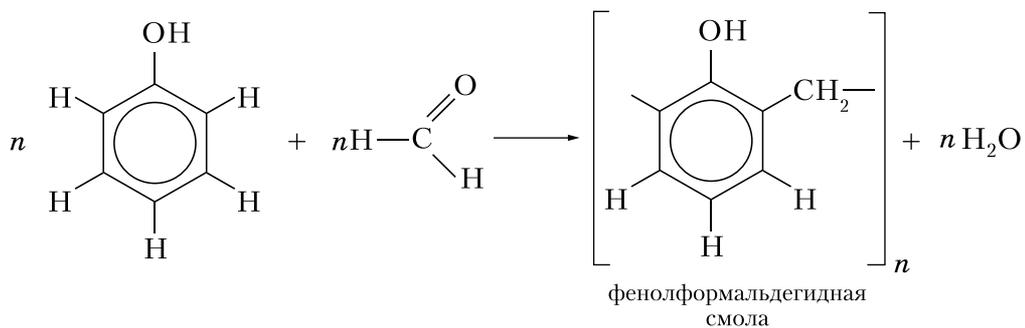
### Фенолформальдегидная смола

Наиболее важны с практической точки зрения реакции альдегидов, приводящие к получению высокомолекулярных продуктов (полимеров).

Взаимодействием формальдегида с фенолом синтезируют полимер *фенолформальдегидную смолу*. Является ли это взаимодействие реакцией полимеризации? Оказывается, нет. В данном случае протекает процесс *поликонденсации*, в результате которого, в отличие от полимеризации, помимо высокомолекулярного вещества, образуется побочный низкомолекулярный продукт (чаще всего вода). Схема взаимодействия формальдегида с фенолом:



Уравнение реакции:



Реакции получения полимера, протекающие с выделением низкомолекулярного продукта, называют реакциями **поликонденсации**.

Если фенолформальдегидной смолой пропитать стружки или опилки и спрессовать при нагревании, получится древесно-стружечная плита. Аналогичным образом склеиванием тонких слоёв древесины (шпона) получают фанеру. Если покрыть древесно-стружечную плиту или фанеру плёнкой с рисунком под дерево или камень, получится материал для изготовления мебели. Изделия из ДСП выделяют в окружающую среду токсичные мономеры фенолформальдегидной смолы — фенол и формальдегид. Даже незначительные концентрации этих веществ могут вызывать головную боль, резь в глазах, раздражение дыхательных путей и т. д. Выделение формальдегида из ДСП контролируется и является важным показателем качества плит.

Если в фенолформальдегидную смолу добавляют различные цветные красители, наполнители, помещают в форму и нагревают, то получают устойчивые к высоким температурам изделия из полимерного материала — **фенопласта** (рис. 32).

Формальдегид используют для дубления кожи в кожевенном производстве, так как при взаимодействии с белком он вызывает его *денатурацию* (см. § 19). В результате дубильного действия формалина кожа не подвергается гниению. На этом же свойстве формалина основано его применение для хранения биологических препаратов, дезинфекции и протравливания семян.

### Понятие о кетонах

В отличие от молекул альдегидов, молекулы **кетонов** содержат два углеводородных радикала, связанные с функциональной **карбонильной группой**  $\text{>C=O}$ . Простейший представитель кетонов — хорошо известный растворитель лаков и красок **ацетон**, или **диметилкетон** (рис. 33):

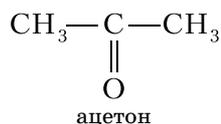


Рис. 32. Применение фенопластов

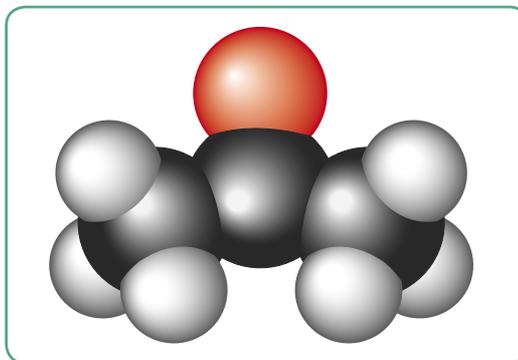


Рис. 33. Модель молекулы ацетона

**Альдегиды. Альдегидная группа. Формальдегид. Ацетальдегид. Качественные реакции на альдегиды. Реакции поликонденсации. Карбонильная группа. Кетоны. Ацетон**



### Проверьте свои знания

1. Какие вещества называют альдегидами? Приведите формулы и названия трёх первых представителей этого гомологического ряда.
2. Даны молекулярные формулы веществ:  $C_2H_6O$ ,  $C_3H_6O$ ,  $CH_2O$ ,  $C_2H_4O_2$ ,  $C_3H_8O$ ,  $C_2H_4O$ . Какие из этих формул могут отражать состав альдегидов? Напишите соответствующие структурные формулы.

### Примените свои знания

3. Формальдегид объёмом 44,8 л (н. у.) растворили в 240 г воды. Рассчитайте массовую долю альдегида в растворе.
4. При сжигании 0,22 г органического вещества, плотность паров которого по воздуху равна 1,517, образовалось 224 мл оксида углерода(IV) (н. у.) и 0,18 г воды. Определите молекулярную формулу вещества.
5. В чём различие реакций полимеризации и поликонденсации? Ответ проиллюстрируйте уравнениями реакций полимеризации этилена и поликонденсации фенола с формальдегидом.
6. В двух пробирках без этикеток находятся растворы этиленгликоля и уксусного альдегида. Как при помощи растворов сульфата меди(II) и гидроксида натрия распознать предложенные вещества? Укажите признаки реакций.
7. Какая масса серебра образуется на стенках пробирки при взаимодействии 15 г 2%-ного раствора формальдегида с избытком аммиачного раствора оксида серебра?

### Используйте дополнительную информацию

8. В 1860 г. французский химик М. Бертло провёл реакцию ацетилена с водой и был уверен, что получил непредельный спирт:



В 1877 г. аналогичную реакцию осуществил русский химик Александр Павлович Эльтеков. Учёный пришёл к выводу, что получил уксусный альдегид:



Кто из учёных оказался прав?

## § 15. КАРБОНОВЫЕ КИСЛОТЫ



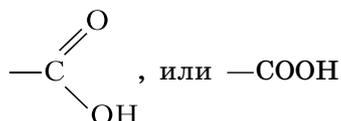
Вы уже встречались с соединениями этого класса при изучении альдегидов. Какую функциональную группу содержат молекулы карбоновых кислот, какова их общая формула и характерные свойства?

На любой кухне найдётся столовый уксус — 6%-ный раствор уксусной кислоты в воде. Наверняка в кухонном шкафу лежит и пакетик с лимонной кислотой, а в холодильнике — кисломолочные продукты, характерный вкус которым придаёт молочная кислота. Многие из вас пробовали на вкус прутик, атакованный муравьями в растревоженном муравейнике. Кислый вкус прутика обусловлен «химическим оружием» муравьёв — муравьиной кислотой.



Рис. 34. Природные объекты, содержащие карбоновые кислоты — лимонную, яблочную, щавелевую, виноградную, муравьиную.

Что общего между всеми упомянутыми веществами, кроме слова «кислота» в названии? Все они содержат в своём составе функциональную **карбоксильную группу**:



Органические вещества, содержащие в молекуле карбоксильную группу, связанную с углеводородным радикалом, называют **карбоновыми кислотами**.

Органических кислот великое множество (рис. 34). Мы будем знакомиться с предельными одноосновными карбоновыми кислотами, в молекулах которых с предельным углеводородным радикалом связана одна карбоксильная группа. Общая формула этих кислот  $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{COOH}$ , или  $\text{RCOOH}$ .

Однако в молекуле первого представителя гомологического ряда предельных одноосновных карбоновых кислот вместо углеводородного радикала с карбоксильной группой связан атом водорода. Эту кислоту называют **муравьиной кислотой** (рис. 35), её формула  $\text{HCOOH}$ .

Формулы, а также тривиальные и международные названия некоторых представителей гомологического ряда предельных одноосновных карбоновых кислот приведены в таблице 7.

Обратите внимание, что тривиальные названия простейших альдегидов (см. табл. 6) аналогичны названиям соответствующих кислот. Это не случайно, поскольку свои названия альдегиды получили именно благодаря кислотам, в которые они превращаются при окислении. Для построения международного названия карбоновой кислоты к «имени» предельного углеводорода с тем же числом углеродных атомов добавляют сочетание *-овая кислота*.

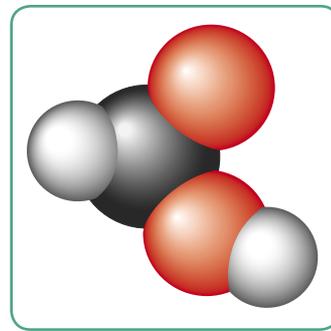


Рис. 35. Модель молекулы муравьиной кислоты

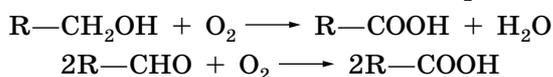
## Карбоновые кислоты

Молекулярная формула	Структурная формула	Название
HCOOH	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H}-\text{C} \\ \backslash \\ \text{OH} \end{array}$	Муравьиная кислота, метановая кислота
CH <sub>3</sub> COOH	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C} \\ \backslash \\ \text{OH} \end{array}$	Уксусная кислота, этановая кислота
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> COOH	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{C} \\ \backslash \\ \text{OH} \end{array}$	Пропионовая кислота, пропановая кислота
C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> COOH	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C} \\ \backslash \\ \text{OH} \end{array}$	Масляная кислота, бутановая кислота
...		
C <sub>15</sub> H <sub>31</sub> COOH	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{14}-\text{C} \\ \backslash \\ \text{OH} \end{array}$	Пальмитиновая кислота, гексадекановая кислота
C <sub>17</sub> H <sub>35</sub> COOH	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{16}-\text{C} \\ \backslash \\ \text{OH} \end{array}$	Стеариновая кислота, октадекановая кислота

**Физические свойства и способы получения карбоновых кислот**

Низшие карбоновые кислоты — жидкости с резким запахом, хорошо растворимые в воде. По мере роста углеводородного радикала растворимость кислот падает, температуры кипения и плавления увеличиваются. Пальмитиновая и стеариновая кислоты — твёрдые вещества, нерастворимые в воде.

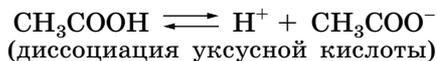
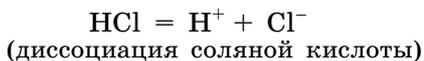
Основным способом получения карбоновых кислот служат реакции окисления. Исходные вещества в подобных синтезах — спирты и альдегиды:



Пищевую уксусную кислоту получают биотехнологическим путём — сбраживанием сахаросодержащих растворов при действии особых микроорганизмов.

**Химические свойства карбоновых кислот**

Следует учесть, что химические свойства карбоновых кислот, как и кислот неорганических, обусловлены их способностью диссоциировать с образованием катиона водорода:



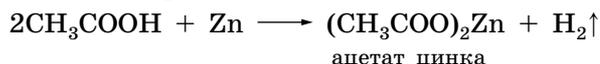
Почему же в уравнении электролитической диссоциации соляной кислоты ставится знак равенства, а в аналогичном уравнении для уксусной кислоты — знак обратимости? Дело в том, что в отличие от соляной кислоты уксусная является слабой, распаду на ионы в водном растворе подвергается только небольшая часть её молекул.

Благодаря наличию в растворе катионов водорода карбоновые кислоты проявляют все характерные для кислот свойства: имеют кислый вкус, изменяют окраску индикаторов, реагируют с активными металлами, основными и амфотерными оксидами, основаниями, солями. Рассмотрим свойства карбоновых кислот на примере **уксусной кислоты**  $\text{CH}_3\text{COOH}$ .

### Лабораторный эксперимент

В три пробирки налейте по 2 мл раствора уксусной кислоты и добавьте по 2—3 капли индикаторов: метилового оранжевого, лакмуса и фенолфталеина. Какова окраска этих индикаторов в кислой среде?

Уксусная кислота реагирует с активными металлами с образованием солей (ацетатов) и выделением водорода:



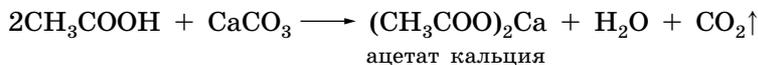
Оксиды металлов реагируют с уксусной кислотой с образованием соли металла и воды:



При взаимодействии уксусной кислоты со щелочами или нерастворимыми в воде основаниями также образуются соль и вода:



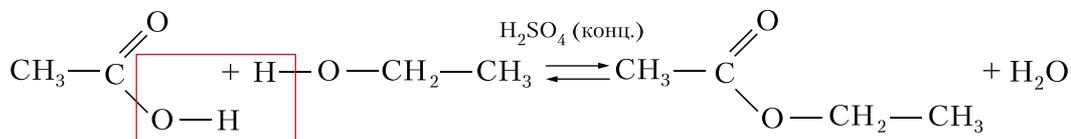
С солями уксусная кислота также взаимодействует. В этом случае, как и для протекания любых реакций ионного обмена, должно выполняться одно из условий: образование осадка, выделение газа или образование слабого электролита. Например, при реакции уксусной кислоты с карбонатом кальция выделяется углекислый газ:



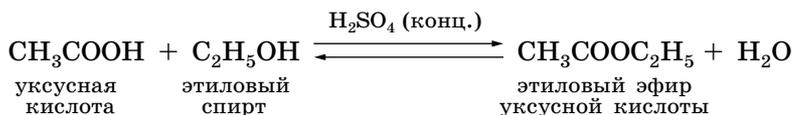
### Лабораторный эксперимент

В четыре пробирки налейте по 2 мл раствора уксусной кислоты. В первую опустите гранулу цинка. Какой газ выделяется? Во вторую пробирку добавьте несколько крупинок оксида меди(II) и слегка нагрейте на пламени спиртовки. Что наблюдаете? В третью пробирку добавьте 2—3 капли лакмуса. Отметьте окраску раствора. По каплям добавляйте в пробирку раствор гидроксида натрия. Как изменилась окраска индикатора? В четвертую пробирку опустите небольшой кусочек мрамора. Какой газ выделяется?

Одно из важнейших химических свойств карбоновых кислот вам уже знакомо. В присутствии концентрированной серной кислоты в качестве катализатора кислоты реагируют со спиртами, образуя сложные эфиры. Сама реакция вам уже знакома, это реакция этерификации (см. § 11). Так, в результате взаимодействия уксусной кислоты и этилового спирта образуется сложный эфир — *этиловый эфир уксусной кислоты*:



или



### Нахождение в природе и применение карбоновых кислот

Карбоновые кислоты широко распространены в природе. Они содержатся во фруктах и ягодах, не только придавая им кисловатый вкус, но и предохраняя их от порчи и поражения вредителями.



В 1670 г. английский ботаник и зоолог Джон Рей получил из выделений муравьёв раствор неизвестного вещества. Это вещество реагировало с активными металлами, основными оксидами, щелочами, лакмус приобретал в растворе красную окраску. Что представляет собой это соединение?

Муравьиная кислота выделяется железами внутренней секреции муравьёв и некоторых видов медуз. Жжение листьев крапивы также обусловлено раздражением кожи муравьиной кислотой.

Области применения карбоновых кислот в промышленности, в технике и технологии, в быту также весьма обширны. Муравьиную кислоту применяют для протравливания текстиля и бумаги, обработки кожи, получения лекарственных средств, как консервант фруктовых соков и зелёных кормов. Она входит в состав средства для местной анестезии. Её также используют при крашении тканей и бумаги.

Уксусную кислоту используют как приправу к пище, как растворитель лаков, для производства лекарственных средств, например аспирина, для получения пластмасс, ядохимикатов, красителей. В продаже встречается *уксусная эссенция* — 70%-ный раствор уксусной кислоты. С кислотой такой концентрации необходимо обращаться очень осторожно! Её пары могут вызвать ожоги дыхательных путей, а употребление внутрь неразбавленной уксусной эссенции смертельно опасно. Хранить эссенцию нужно в месте, недоступном для детей и домашних животных.



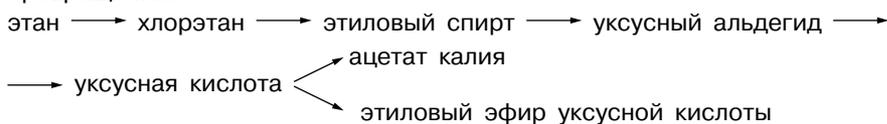
**Карбоновые кислоты. Предельные одноосновные карбоновые кислоты. Муравьиная кислота. Уксусная кислота**

### Проверьте свои знания

1. Какие вещества называют карбоновыми кислотами? Приведите формулы и названия пяти представителей гомологического ряда предельных одноосновных карбоновых кислот.
2. Напишите формулы следующих кислот: 2-метилпропановая; 3-хлорбутановая; 2,4-диметилгексановая.
3. Молярная масса предельной одноосновной карбоновой кислоты равна 130 г/моль. Какова молекулярная формула этой кислоты?
4. Какие признаки верно отражают свойства уксусной кислоты: 1) газообразное вещество; 2) без запаха; 3) с резким запахом; 4) плохо растворима в воде; 5) слабый электролит?

### Примените свои знания

5. В пищевой промышленности уксусную кислоту используют как регулятор кислотности и консервант (код E260). Напишите структурные формулы предыдущего и последующего представителей данного гомологического ряда, имеющих коды E236 и E280 соответственно. Напишите уравнение реакции получения каждой кислоты.
6. В чём сходство и различие химических свойств неорганических и органических кислот? Ответ подтвердите уравнениями химических реакций.
7. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить следующие превращения:



8. Достаточно ли 100 г 66%-ного раствора уксусной кислоты для растворения 30 г карбоната кальция? Какая масса ацетата кальция при этом получится?
9. Почему жжение от ужаления муравья утихает, если потереть пострадавшее место нашатырным спиртом (водным раствором аммиака)?
10. Докажите с помощью уравнений реакций, что муравьиная кислота может проявлять как свойства альдегидов, так и свойства кислот.

### Используйте дополнительную информацию

11. Подготовьте сообщение по теме «Органические кислоты в природе и на производстве».
12. Есть ли у вас на кухне уксусная кислота? Какие правила техники безопасности необходимо соблюдать при её использовании? Почему?

## § 16. СЛОЖНЫЕ ЭФИРЫ. ЖИРЫ

Что представляет собой реакция этерификации? Какие продукты образуются в результате этой реакции и какое значение они имеют?

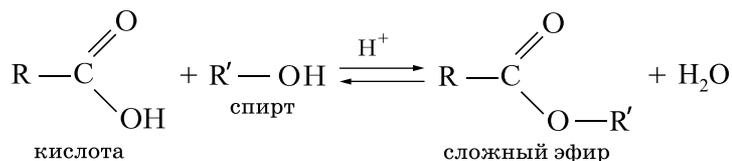


### Понятие о сложных эфирах

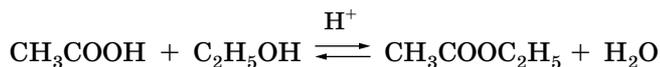
**Сложными эфирами** называют производные карбоновых кислот, в которых атом водорода карбоксильной группы замещён углеводородным радикалом.

## Способы получения и химические свойства сложных эфиров

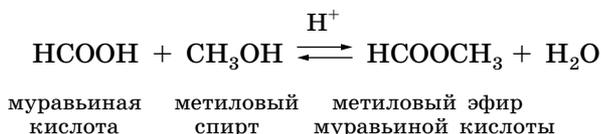
Процесс получения сложных эфиров носит название *реакции этерификации*. Эта реакция с использованием общих формул описывается уравнением



Именно реакцией этерификации в 1759 г. в результате взаимодействия уксусной кислоты с этиловым спиртом был получен первый сложный эфир — этиловый эфир уксусной кислоты:



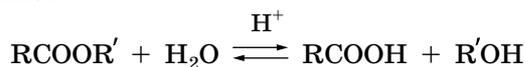
Обратите внимание на то, как строится название сложного эфира. Оно состоит из четырёх слов, указывающих на название углеводородного радикала и исходной кислоты. Например, продукт взаимодействия муравьиной кислоты с метиловым спиртом — метиловый эфир муравьиной кислоты:



Катион водорода в схеме реакции указывает на то, что реакция этерификации протекает в присутствии кислоты в качестве катализатора.

Сложные эфиры с небольшой молекулярной массой представляют собой легко воспламеняющиеся жидкости с характерным, часто приятным запахом. Они нерастворимы в воде, но прекрасно растворяют различные органические вещества.

Реакции этерификации обратимы. В присутствии кислот сложные эфиры разлагаются водой — *гидролизуются*, что можно рассматривать как реакцию, обратную их получению:



В присутствии щелочей гидролиз сложных эфиров необратим, так как образующаяся кислота связывается щёлочью с образованием соли, неспособной вступать в реакцию со спиртом:



## Нахождение в природе и применение сложных эфиров

Сложные эфиры широко распространены в природе. Неповторимый аромат цветов и фруктов часто обусловлен присутствием веществ именно этого класса (рис. 36). Сложные эфиры с большой молекулярной массой представляют собой твёрдые вещества — **воски**. Пчелиный воск — это смесь сложных эфиров, образованных карбоновыми кислотами и спиртами с длинными углеводородными цепями.



Рис. 36. Сложные эфиры в природе: ароматические вещества цветов и фруктов, пчелиный воск

Синтетические сложные эфиры используют в пищевой промышленности в качестве добавок для придания фруктовых запахов напиткам и кондитерским изделиям. Благодаря хорошей растворяющей способности сложные эфиры входят в состав растворителей лаков и красок.

### Жиры, их строение и свойства

Люди стали использовать жиры в повседневной жизни значительно раньше, чем задумались об их химическом строении. Животные и растительные жиры — важные компоненты пищи. Жиры необходимы для построения клеточных мембран и как источник энергии, поскольку калорийность жиров в 2 раза выше, чем других питательных веществ — углеводов и белков. У позвоночных животных жиры откладываются в жировой ткани, сосредоточенной в основном в подкожной жировой клетчатке и сальнике. В растениях жиры содержатся в сравнительно небольших количествах, за исключением семян масличных растений, в которых содержание жиров может быть более 50%.

Жиры используют не только в пищевой промышленности. Их используют в качестве смазки, косметических и лекарственных средств, для приготовления масляных красок и олифы.

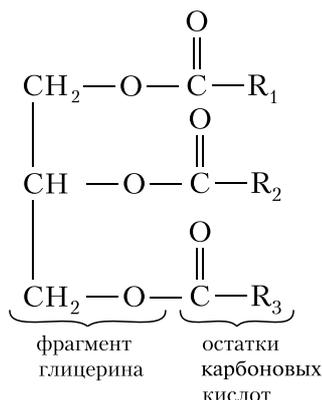
При гидролизе жиров в присутствии кислот образуются карбоновые кислоты и трёхатомный спирт глицерин. Какими особенностями строения молекул и свойств характеризуются жиры?



В 1779 г. шведский химик К. Шееле получил из оливкового масла вязкую жидкость, сладкую на вкус, — простейший трёхатомный спирт глицерин. Вскоре выяснилось, что глицерин входит в состав молекул любых жиров. Позднее французский химик М. Шеврёль доказал, что, помимо глицерина, при нагревании жиров в присутствии кислоты образуются и карбоновые кислоты.

**Жиры** представляют собой сложные эфиры трёхатомного спирта глицерина и высших карбоновых кислот.

Общую формулу жиров можно представить в следующем виде:



В состав жиров чаще всего входят остатки карбоновых кислот, содержащих чётное число атомов углерода и неразветвлённую углеродную цепь. Наиболее часто в составе жиров встречаются остатки пальмитиновой, стеариновой и олеиновой кислот. В одной молекуле кислотные остатки могут быть различными, поэтому в общей формуле жиров углеводородные радикалы R обозначены разными цифрами.

Сравните состав стеариновой ( $\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COOH}$ ) и олеиновой ( $\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH}$ ) кислот. У стеариновой кислоты углеводородный радикал отвечает формуле  $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$ , т. е. является предельным. Следовательно, стеариновая кислота относится к *предельным* карбоновым кислотам. В углеводородном радикале олеиновой кислоты на два атома водорода меньше, поскольку в нём содержится одна двойная углерод-углеродная связь. Олеиновая кислота относится к *непредельным* карбоновым кислотам.

### Лабораторный эксперимент

Налейте в пробирку 2 мл растительного масла и такой же объём бромной воды или подкисленного раствора перманганата калия. Какая из жидкостей имеет большую плотность?

Встряхните содержимое пробирки. Что наблюдаете? Сделайте вывод.

Жиры животного происхождения имеют твёрдую консистенцию (есть и исключения, например жидкий рыбий жир). В состав молекул твёрдых жиров входят остатки предельных кислот. Растительные жиры, которые часто называют растительными маслами, образованы остатками непредельных кислот, имеют жидкую консистенцию (исключение — твёрдое пальмовое масло). Кстати, название олеиновой кислоты произошло от латинского слова *oleum* — масло.

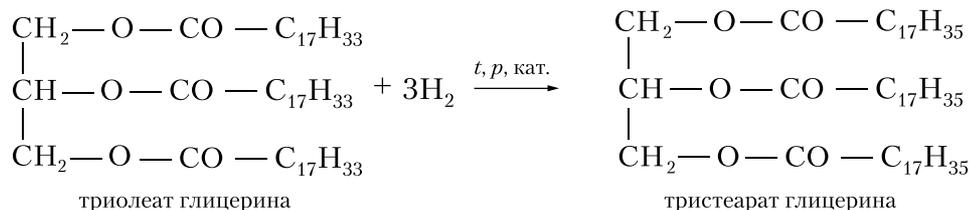
Жиры гидрофобны, т. е. нерастворимы в воде, но хорошо растворяются в органических растворителях: этиловом спирте, гексане, тетрахлорметане.

### Лабораторный эксперимент

В три пробирки налейте по 1 мл растительного масла. В первую добавьте 2 мл воды, во вторую — 2 мл этанола, в третью — 2 мл бензина (смесь предельных углеводородов). Встряхните содержимое пробирок. Что наблюдаете? Сделайте вывод.



животных жиров, содержат остатки непредельных кислот, то нетрудно догадаться: гидрированием двойных связей С=С растительные масла превращают в аналог твёрдых жиров. Полученный продукт называют *саломасом*, его используют для приготовления маргарина и других продуктов питания:



Подобный процесс в больших масштабах проводят на жировых комбинатах. Двойные связи непредельных кислот в жидких жирах сохраняют способность к реакциям полимеризации. Это свойство используют при изготовлении *олифы* — натуральной (на основе льняного или конопляного масла) или синтетической. При нанесении на деревянную поверхность олифа под действием кислорода воздуха полимеризуется с образованием прочной защитной плёнки. Олифу используют и при изготовлении и разбавлении масляных красок.



### Сложные эфиры. Жиры. Кислотный гидролиз жиров. Щелочной гидролиз жиров (омыление). Мыла

#### Проверьте свои знания

1. Какие вещества называют сложными эфирами? Как можно записать общую формулу жиров? Можно ли говорить о гомологических рядах жиров?
2. Что такое жиры? Являются ли природные жиры индивидуальными химическими веществами?
3. Как физические свойства жиров зависят от природы углеводородного радикала, входящего в кислотный остаток?

#### Примените свои знания

4. Чему равна масса твёрдого мыла, полученного на основе 400 кг 40%-ного раствора гидроксида натрия и необходимого количества вещества тристеарата? Чему равно это количество?
5. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить следующие превращения:  
этиловый спирт  $\longrightarrow$  ацетальдегид  $\longrightarrow$  уксусная кислота  $\longrightarrow$  метиловый эфир уксусной кислоты  $\longrightarrow$  ацетат калия

#### Используйте дополнительную информацию

6. У какого из обитателей морей толщина подкожного жира достигает 1 м? У кого из морских млекопитающих самое жирное молоко (40 % жира)? Объясните биологическую целесообразность данных явлений. В случае затруднения используйте Интернет.

## § 17. УГЛЕВОДЫ

Из курса биологии вы знаете, что основные компоненты питания — это белки, жиры и углеводы. С жирами вы уже познакомились, с белками будете знакомиться в дальнейшем, а с углеводами ваше знакомство состоится на материале этого параграфа. Что собой представляют эти органические соединения?



### Понятие об углеводах

Сладкий вкус многих фруктов, ягод и овощей обусловлен присутствием в клеточном соке важнейшего углевода — **глюкозы**, или **виноградного сахара**. В соке сахарной свёклы и сахарного тростника содержится углевод, который после выделения и очистки попадает на каждый стол, используется в кондитерском производстве. Это **сахароза**, или **тростниковый сахар**. Пчелиный мёд богат самым сладким на вкус углеводом — **фруктозой**, или **фруктовым сахаром**. В картофеле и зёрнах злаковых растений содержится **крахмал** — основное запасное вещество растительных клеток. Он не обладает сладким вкусом, но способен набухать в горячей воде. Крахмал используют для приготовления киселя, его добавляют в некоторые продукты питания, например соусы, для придания им нужной консистенции. Значительно менее способна набухать в воде **целлюлоза**, или **клетчатка**, — главный «конструкционный материал» растительного мира. От остальных углеводов её отличает волокнистое строение. Медицинская вата, хлопчатобумажное волокно — это почти чистая целлюлоза (рис. 37). Все эти вещества относятся к углеводам.

В состав углеводов входят атомы трёх элементов: углерода, водорода и кислорода, причём два последних обычно находятся в том же соотношении, что и в молекуле воды, — 2 : 1. Состав большинства углеводов можно выразить формулой  $C_n(H_2O)_m$ . Отсюда и происходит название класса.



Рис. 37. Источники углеводов в природе: фрукты, сахарная свёкла, пчелиный мёд, картофель, зерновые, хлопчатник

Состав одного из важнейших углеводов — глюкозы выражает формула  $C_6H_{12}O_6$ . Слово «глюкоза» имеет общий корень с названием трёхатомного спирта глицерина и происходит от греческого прилагательного *glykys* — сладкий.

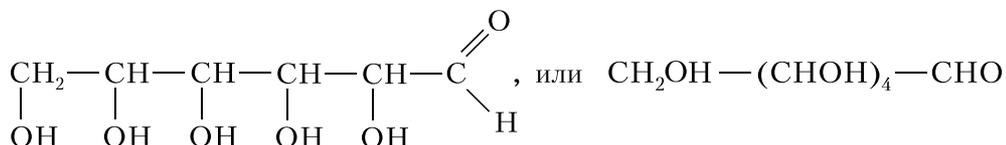
### Химическое строение глюкозы



При добавлении раствора глюкозы к осадку гидроксида меди(II) в щелочной среде осадок растворяется, а раствор приобретает ярко-синюю окраску. Последующее нагревание содержимого пробирки приводит к исчезновению синей окраски и выпадению осадка кирпично-красного цвета. На основании этих экспериментальных данных сформулируйте гипотезу, какие функциональные группы имеются в молекуле глюкозы.

Глюкоза проявляет свойства сразу двух классов органических веществ: многоатомных спиртов и альдегидов. Её так и называют — **альдегидоспирт**. Такие соединения относят к веществам с двойственной функцией.

Упрощённо структурную формулу глюкозы можно представить в виде пятиатомного альдегидоспирта:



Глюкоза относится к группе углеводов, называемых моносахаридами.

Углеводы, которые не подвергаются гидролизу с образованием более простых соединений, называют **моносахаридами**.

К моносахаридам относят также фруктозу. Этот изомер глюкозы, имеющий формулу  $C_6H_{12}O_6$ , по природе функциональных групп относится не к альдегидоспиртам, а к кетонспиртам.

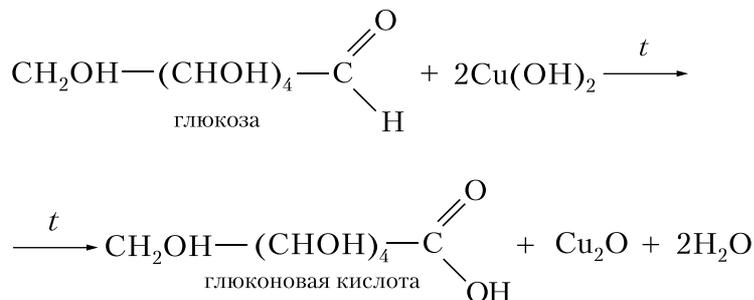
### Физические и химические свойства глюкозы

Глюкоза  $C_6H_{12}O_6$  — вещество с молекулярной кристаллической решёткой, белого цвета, сладкое на вкус, хорошо растворимое в воде.

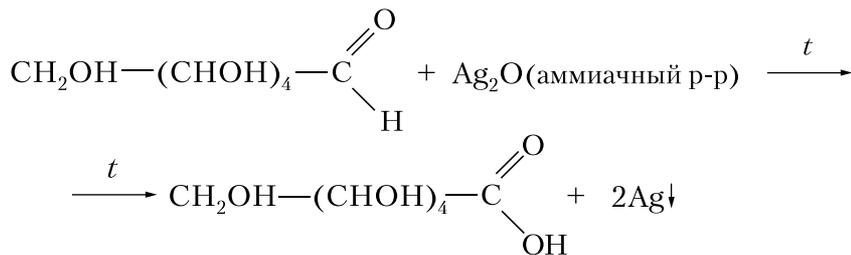
Химические свойства полифункциональных органических веществ складываются из нескольких составляющих: свойств, обусловленных каждым типом функциональных групп, а также свойств, которые вещество приобретает за счёт одновременного присутствия в молекуле всех её элементов. Поясним сказанное на примере химических свойств глюкозы.

Как многоатомный спирт, глюкоза вступает в качественную реакцию, характерную для этих соединений. Она способна реагировать с гидроксидами некоторых металлов, в частности с гидроксидом меди(II), с образованием растворимого соединения ярко-синего цвета.

Как альдегид, глюкоза вступает в качественные реакции, характерные для этого класса соединений. При нагревании глюкоза окисляется в соответствующую кислоту (её называют *глюконовой*) свежеприготовленным гидроксидом меди(II):



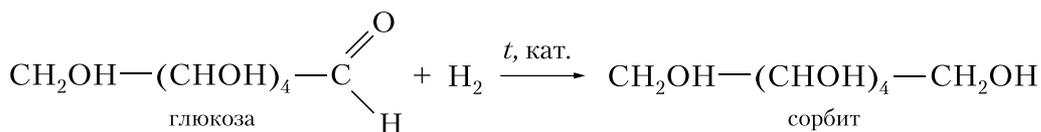
С аммиачным раствором оксида серебра при небольшом нагревании глюкоза даёт характерную для альдегидов реакцию серебряного зеркала:



### Лабораторный эксперимент

К 2 мл аммиачного раствора оксида серебра добавьте 1–2 мл раствора глюкозы и осторожно круговыми движениями нагрейте стенки пробирки на пламени спиртовки. Что наблюдаете? Наличие какой функциональной группы позволяет обнаружить данный опыт?

Восстановление альдегидной группы глюкозы приводит к образованию шестиатомного спирта — *сорбита*:



Сорбит используют как заменитель сахара.

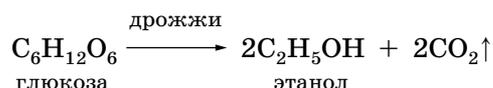
И наконец, благодаря сочетанию всех функциональных групп глюкоза приобретает ряд специфических свойств, не характерных ни для многоатомных спиртов, ни для альдегидов. В качестве примера приведём реакции **брожения** — превращения одних органических веществ в другие под действием ферментов, вырабатываемых микроорганизмами. Ферменты — это биологические катализаторы белковой природы. Наибольшее значение имеют реакции:

а) молочнокислого брожения



Эта реакция протекает при приготовлении кисломолочных продуктов, квашении капусты, силосовании кормов.

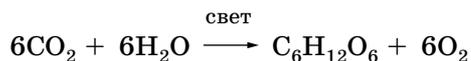
б) спиртового брожения



Эта реакция лежит в основе приготовления вин, производства этилового спирта, применяется в хлебопечении.

### Глюкоза в природе

Глюкоза образуется в клетках растений из углекислого газа и воды в процессе **фотосинтеза**:



Роль фотосинтеза на Земле трудно переоценить. Это единственный источник кислорода в атмосфере нашей планеты и органических веществ всей живой природы. При фотосинтезе происходит связывание углекислого газа, что уменьшает его накопление в воздухе. Зелёные растения при фотосинтезе ежегодно поглощают из атмосферы около 200 млрд т углекислого газа. При этом происходит выделение в атмосферу приблизительно 130 млрд т кислорода и синтезируется 50 млрд т органических соединений углерода. При образовании глюкозы поглощается световая энергия. Эта энергия высвобождается в результате окисления глюкозы — реакции, обратной фотосинтезу.

Углеводы присутствуют в клетках всех живых организмов. В животных клетках их содержание обычно составляет 1—2 %, в растительных достигает 90 % в расчёте на сухое вещество.

Глюкоза содержится в крови человека и животных, где её массовая доля равна примерно 0,1 %. При некоторых заболеваниях, например сахарном диабете, содержание глюкозы в крови может резко увеличиваться, клетки страдают от недостатка глюкозы, так как она не транспортируется в клетки, что приводит к серьёзным обменным нарушениям.

Глюкоза — основной источник энергии в клетке. При её окислении кислородом образуются углекислый газ и вода, а также выделяется большое количество энергии:

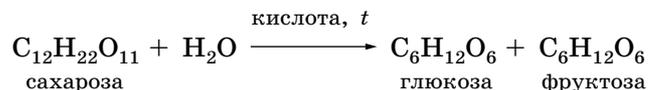


С кровью глюкоза попадает в каждую клетку, где и происходит её окисление. Именно поэтому раствор глюкозы широко применяют в медицине: дают больным для приёма внутрь или вводят внутривенно.

### Сахароза как представитель дисахаридов

Глюкоза и фруктоза — это моносахариды, они не подвергаются гидролизу с образованием продуктов более простого строения.

В отличие от моносахаридов сахароза представляет собой углевод, в состав которого входят два моносахаридных остатка. Такие углеводы называют **дисахаридами**. Молекулярная формула сахарозы  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ . Её легко запомнить — это удвоенная формула моносахарида за вычетом одной молекулы воды. И это не случайное совпадение. При гидролизе молекула сахарозы распадается на две молекулы моносахаридов — глюкозу и фруктозу:



Однако сам по себе этот процесс не идёт. Для его протекания требуется нагревание раствора в присутствии кислоты (в качестве катализатора) или действия фермента.

Углеводы, в состав которых входят два остатка моносахаридов, называют **дисахаридами**.

### Полисахариды

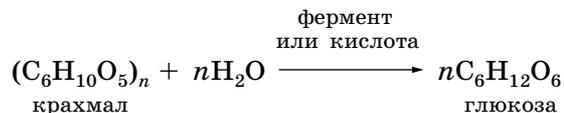
Могут ли соединяться друг с другом не два, а больше остатков моносахаридов? Да, причём сотни и даже тысячи. Такие вещества имеют полимерную природу; их называют полисахаридами. К полисахаридам, например, относят крахмал и целлюлозу.

Природные полимеры, состоящие из большого числа повторяющихся остатков моносахаридов, называют **полисахаридами**.

**Крахмал** представляет собой порошок белого цвета, зёрна которого набухают в горячей воде с образованием крахмального клейстера.

Крахмал, как все ди- и полисахариды, подвергается гидролизу. Значит, крахмал представляет собой полимер, звенья молекулярной цепи которого — остатки молекул глюкозы. Тогда, «вычитая» из формулы глюкозы формулу воды, вы получите формулу крахмала:  $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$ .

Уравнение реакции гидролиза крахмала записывают следующим образом:



**Качественная реакция на крахмал** — действие спиртового раствора иода, при котором появляется интенсивное синее окрашивание (рис. 38).

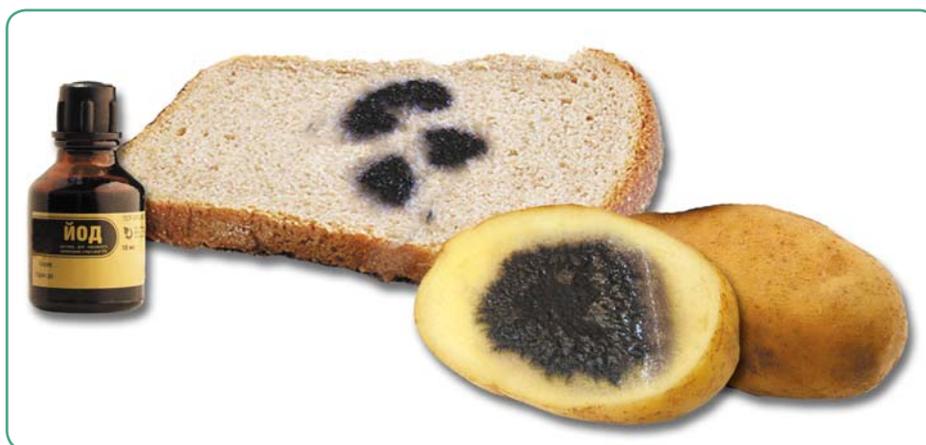


Рис. 38. Качественная реакция на крахмал

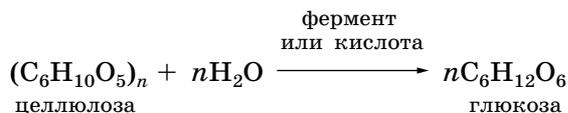
## Лабораторный эксперимент

Налейте в пробирку 1 мл крахмального клейстера и добавьте 1—2 капли разбавленной водой иодной настойки. Что наблюдаете?

Попробуйте обнаружить крахмал в картофеле, муке, хлебе, зёрнах бобовых, макаронных изделиях и других пищевых продуктах.

Потребляемый с продуктами питания крахмал в организме человека под действием ферментов гидролизуеться. Образующаяся глюкоза попадает в кровь и разносится по всему организму к клеткам.

Другой представитель полисахаридов — **целлюлоза** — значительно труднее подвергается гидролизу. У травоядных животных в процессе пищеварения участвуют ферменты и бактерии, под влиянием которых происходит брожение, в результате чего целлюлоза разрушается до мономеров. Продуктом гидролиза целлюлозы также является глюкоза:



Крахмал и целлюлоза — это изомерные полисахариды, молекулярная формула которых совпадает. Однако строение полимерных молекул этих углеводов несколько различается. Отсюда и такое различие в свойствах как физических, так и химических.

Целлюлоза — полимер с линейными макромолекулами, поэтому для неё характерна волокнистая структура. Качественная реакция на крахмал отрицательная (не появляется ярко-синее окрашивание).

Обработка целлюлозы азотной кислотой в присутствии концентрированной серной кислоты позволяет получать взрывчатые вещества (бездымный порох, или *пироксилин*), полимерную основу для производства нитрокрасок, лаков, эмалей. По названию легко догадаться, что *целлофан* — это полимерный материал на основе целлюлозы, его используют в качестве упаковочного материала. Огромные количества целлюлозы из еловой древесины расходуют на изготовление бумаги.

Человек издавна использовал природные волокна целлюлозы для изготовления тканей, например хлопчатобумажных, льняных. Со временем химики научились обрабатывать полимерные цепи целлюлозы различными реагентами, получая химически модифицированные волокна — вискозу, ацетилцеллюлозу. Об этих волокнах пойдёт речь в параграфе, посвящённом искусственным полимерам.



**Углеводы. Моносахариды: глюкоза. Сорбит. Молочнокислородное и спиртовое брожение. Фотосинтез. Дисахариды: сахароза. Полисахариды: крахмал, целлюлоза**

### Проверьте свои знания

1. Какие вещества называют углеводами? Предложите признак, на основании которого этот тип веществ можно разделить на классы. Назовите эти классы и приведите примеры представителей каждого из них.

2. Почему глюкозу относят к соединениям с двойственной функцией? Ответ подтвердите уравнениями химических реакций.
3. Какие вещества называют дисахаридами? Приведите примеры.

### Примените свои знания

4. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить следующие превращения:
- а) крахмал  $\longrightarrow$  глюкоза  $\longrightarrow$  сорбит
- б) глюкоза  $\longrightarrow$  глюконовая кислота  $\longrightarrow$  глюконат кальция
- в) глюкоза  $\longrightarrow$  этиловый спирт  $\longrightarrow$  этиловый эфир уксусной кислоты
5. Сравните состав, строение, физические и химические свойства крахмала и целлюлозы.
6. Рассчитайте объём углекислого газа (н. у.), который выделяется при спиртовом брожении 200 кг 9%-ного раствора глюкозы. Какая масса этилового спирта при этом получится?
7. Целлюлоза используется в пищевой промышленности как добавка, препятствующая слеживанию и комкованию порошкообразных продуктов (код E460). Под действием соляной кислоты в желудке человека примерно 5 % целлюлозы гидролизуется. Какая масса глюкозы получится при гидролизе из 8,1 г полисахарида?

### Используйте дополнительную информацию

8. Подготовьте сообщение по теме «Развитие сахарного производства в России».

## § 18. АМИНЫ

При изучении бензола вы познакомились с одним из представителей этого класса органических соединений — анилином, молекула которого состоит из одновалентного радикала фенила и функциональной группы, характеризующей амины. Вспомните формулу анилина и предложите общую формулу для аминов. Можно ли их рассматривать как продукты замещения атомов водорода в молекуле аммиака углеводородными радикалами?



### Понятие об аминах

Окружающая нас природа удивительно многоцветна. Никто никогда не считает точное число всех оттенков, передающих многообразие природной гаммы цвета.

Окраска природных объектов (рис. 39) обусловлена присутствием веществ, способных выборочно поглощать или отражать электромагнитные волны определённой длины.

Природа научилась синтезировать окрашенные вещества гораздо успешнее, чем это делает человек. С незапамятных времён люди применяли природные красители. Например, синий краситель **индиго** извлекали из сока индигоносных растений. Этот краситель, только получаемый промышленным способом, до сих пор используют для окраски джинсовой ткани.



Рис. 39. Неповторимая окраска растений, насекомых, птиц, млекопитающих обусловлена содержанием особых органических соединений

Красящие вещества содержатся и в организмах насекомых. В Мексике за 1000 лет до нашей эры открыли красный краситель **кармин**. Его извлекали из насекомых *кошенили*, обитавших на кактусах. Краситель содержится только в особях женского пола, их собирали вручную, и для приготовления 1 г красителя требовалось собрать 150 000 тлей!

Вплоть до середины XIX в. краски для тканей стоили невероятно дорого и были доступны лишь обеспеченным людям. Вполне понятно желание химиков разгадать тайну цвета и научиться синтезировать качественные и доступные красители.

Студент английского Королевского химического колледжа Уильям Перкин проводил опыты по синтезу лекарства от малярии. В качестве исходного вещества он использовал вещество, выделенное из каменноугольной смолы, — **анилин**. Из смеси продуктов реакции 18-летний студент выделил соединение с яркой пурпурной окраской. Пурпурный цвет в то время был в моде, и новое соединение прочно удерживалось на тканях. Так в 1856 г. был запатентован первый синтетический краситель **мовеин** (от франц. *mauve* — мальва).

Совместно с братом и отцом Перкин построил фабрику по производству мовеина. Успех был ошеломительным! Королевские особы носили одежду, окрашенную новым красителем.

В течение последующих нескольких лет на основе анилина химики синтезировали десятки красителей красного, розового, зелёного и синего цветов.

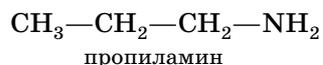
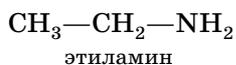
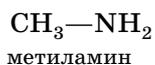
Какое отношение рассказ о синтетических красителях имеет к материалу параграфа? Самое непосредственное — поскольку анилин относят к классу органических соединений, называемых аминами.

Органические вещества, в молекулах которых углеводородный радикал связан с аминогруппой  $-\text{NH}_2$ , называют **аминами**.

### Классификация аминов

Общая формула аминов  $\text{R}-\text{NH}_2$ , где  $\text{R}$  — углеводородный радикал. В зависимости от природы радикала различают **предельные амины** ( $\text{R}$  — остаток предельного углеводорода, т. е. алкил) и **ароматические амины** ( $\text{R}$  — остаток ароматического углеводорода).

Гомологический ряд предельных аминов начинается простейшим представителем класса — **метиламин** (рис. 40). Структурные формулы метиламина и его ближайших гомологов приведены ниже:



Общая формула членов данного гомологического ряда  $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{NH}_2$ , или  $\text{C}_n\text{H}_{2n+3}\text{N}$ .

Представителем ароматических аминов является уже упомянутый нами анилин. В молекуле этого вещества **аминогруппа**  $-\text{NH}_2$  связана с остатком ароматического углеводорода бензола — фенильным радикалом  $\text{C}_6\text{H}_5-$ . Следовательно, химическая формула анилина  $\text{C}_6\text{H}_5-\text{NH}_2$  (рис. 41):

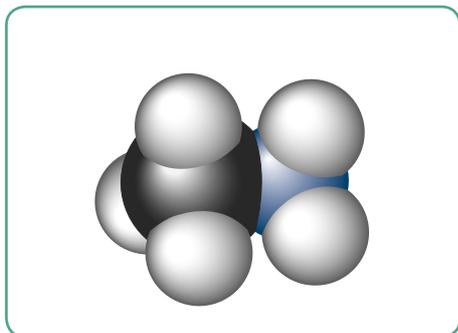
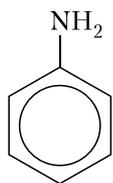


Рис. 40. Модель молекулы метиламина

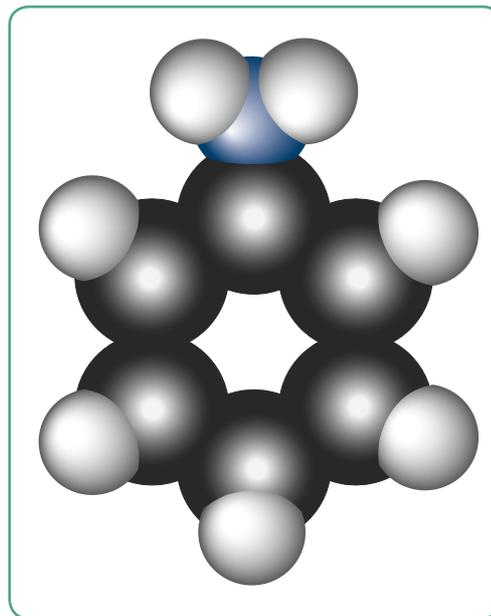


Рис. 41. Модель молекулы анилина

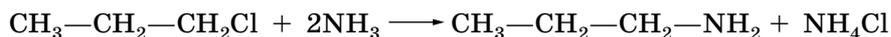
## Физические свойства и получение важнейших аминов

Метиламин — бесцветное газообразное вещество с резким аммиачным запахом, хорошо растворимое в воде. Анилин представляет собой бесцветную жидкость, которая на воздухе приобретает красно-бурую окраску вследствие окисления; он также обладает резким запахом, но плохо растворим в воде.

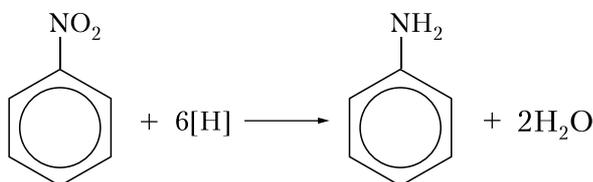
Промышленное производство метиламина основано на взаимодействии метилового спирта с аммиаком:



Вторым удобным способом получения аминов заданного строения служит реакция галогеналканов с избытком аммиака:



Производство анилина в промышленных масштабах связано с именем выдающегося русского учёного-химика Николая Николаевича Зинина. В 1841 г., проводя опыты с нитробензолом, он нашёл способ восстановления нитрогруппы до аминогруппы:



или



Эту реакцию назвали в честь учёного — **реакция Зинина**. Современник Н. Н. Зинина немецкий химик Август Гофман по достоинству оценил вклад русского коллеги в развитие органической химии: «Если бы Зинин не сделал ничего более, кроме превращения нитробензола в анилин, то и тогда его имя осталось бы записанным золотыми буквами в истории химии».



Николай Николаевич Зинин  
(1812—1880)

### Химические свойства аминов

Химические свойства аминов определяются в первую очередь наличием в их молекулах аминогруппы.

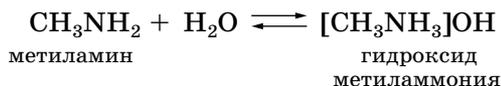
Амины рассматривают как продукты замещения в молекуле аммиака атомов водорода углеводородными радикалами. Логично предположить, что химические свойства, характерные для аммиака, будут характерны и для его органических производных. Так оно и есть.

Аммиак характеризуется основными свойствами за счёт неподелённой электронной пары атома азота. Его водный раствор имеет щелочную реакцию, аммиак легко реагирует с кислотами с образованием солей аммония:

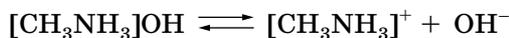


Амины представляют собой органические основания. Водный раствор метиламина, подобно

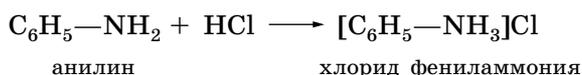
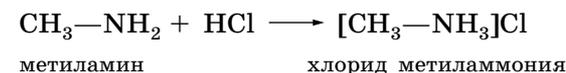
аммиаку, изменяет окраску индикаторов, указывающих на щелочной характер среды. В растворе образуется слабый электролит — гидроксид метиламмония:



Электролитическая диссоциация этого основания приводит к появлению в растворе гидроксид-ионов:



Как и аммиак, амины легко образуют соли с сильными неорганическими кислотами:

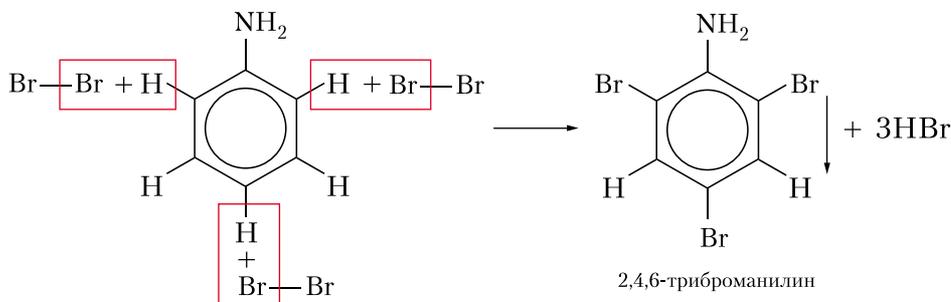


Третье положение теории строения органических соединений о взаимном влиянии атомов в молекулах (см. § 2) подтверждается сравнением свойств рассматриваемых аминов и аммиака.

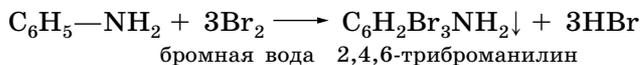
Основные свойства аминов, по сравнению с аммиаком, отражают влияние углеводородного радикала на поведение аминогруппы. Усиление основных свойств наблюдается в ряду



Аминогруппа оказывает ответное влияние на свойства углеводородного радикала. Действительно, анилин, в отличие от бензола, легко вступает в реакцию бромирования при добавлении бромной воды, при этом никакого катализатора не требуется, а бромирование протекает не по одному, а по трём атомам углерода цикла:



или



Продукт реакции — 2,4,6-триброманилин — это нерастворимое в воде вещество белого цвета, поэтому реакцию с бромной водой можно использовать для обнаружения анилина, т. е. как **качественную реакцию на анилин**.

### Области применения аминов

Предельные амины широко используют в органическом синтезе для производства лекарственных веществ, синтетических волокон, пластмасс, стимуляторов роста растений. Встречаются предельные амины и в природе. Они являются результатом разложения природных азотсодержащих органических веществ и часто имеют неприятный запах, напоминающий запах протухшей рыбы.

Основное количество получаемого в промышленности анилина используют для производства полимерных материалов (полиуретана), лекарств, взрывчатых веществ, гербицидов, красителей.

Аминогруппа входит в состав не только аминов, но и более сложных органических соединений. О них пойдёт речь в следующем параграфе.



### Аминогруппа. Амины предельные и ароматические. Метиламин. Анилин. Реакция Зинина

#### Проверьте свои знания

1. Какие вещества называют аминами? Как классифицируют амины по природе углеводородного радикала?
2. Амины называют органическими основаниями. Почему? Напишите уравнения реакций, подтверждающих эту характеристику. Сравните основные свойства аммиака, метиламина и анилина.
3. На примере молекулы анилина рассмотрите третье положение теории химического строения органических соединений о взаимном влиянии атомов в молекулах. Ответ подтвердите уравнениями химических реакций.

#### Примените свои знания

4. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить следующие превращения:



5. Смешали 10 л газообразного метиламина (н. у.) и 10 г хлороводорода. Какая масса кристаллического хлорида метиламмония при этом образовалась? Какой газ и в каком объёме остался в колбе после окончания реакции?
6. При сжигании органического вещества образовалось 1,26 г воды, 0,896 л оксида углерода(IV) и 0,224 л азота (н. у.). Найдите молекулярную формулу этого вещества.

#### Используйте дополнительную информацию

7. Создайте компьютерные 3D-модели молекул метиламина и анилина. Рассмотрите взаимное расположение атомов и атомных групп относительно атома азота.
8. Подготовьте сообщение по теме «История и современность анилиноокрасочной промышленности».

## § 19. АМИНОКИСЛОТЫ. БЕЛКИ



В пищеварительной системе под действием ферментов жиры расщепляются до глицерина и жирных кислот, крахмал — до глюкозы, белки — до аминокислот. Что представляют собой эти соединения?

## Строение аминокислот

Если проанализировать термин «аминокислоты», то можно прийти к выводу, что так должны называться соединения, содержащие в молекулах две функциональные группы: карбоксильную группу —COOH, определяющую кислотные свойства, и основную аминогруппу —NH<sub>2</sub>. Вывести общую формулу аминокислот нетрудно:

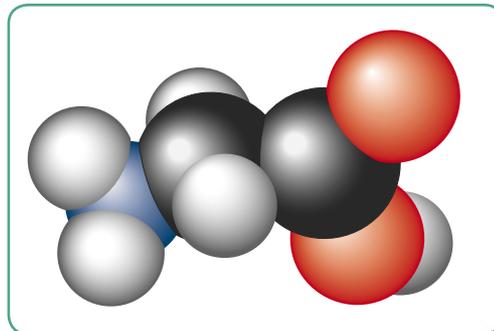
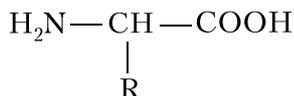


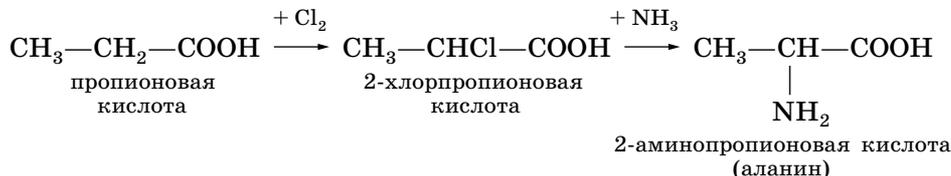
Рис. 42. Модель молекулы аминокислотной кислоты (глицина)

Органические вещества, содержащие в молекуле карбоксильную группу —COOH и аминогруппу —NH<sub>2</sub>, называют **аминокислотами**.

Аминокислоты представляют собой твёрдые кристаллические вещества, многие из них хорошо растворимы в воде, некоторые имеют сладкий вкус.

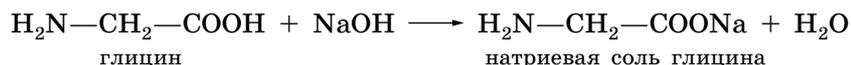
## Способы получения и химические свойства аминокислот

В промышленности аминокислоты получают биотехнологическим путём как продукты жизнедеятельности микроорганизмов. Кроме того, разработано несколько лабораторных способов получения аминокислот. Один из них может быть представлен следующей схемой:

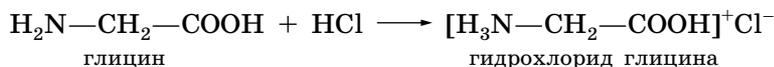


Простейшую аминокислоту называют **аминоуксусной кислотой** или **глицином**, её формула H<sub>2</sub>N—CH<sub>2</sub>—COOH (рис. 42).

Какие же свойства проявляют аминокислоты — кислотные или основные? Оказывается, подобно амфотерным неорганическим соединениям, в зависимости от природы реагента аминокислоты могут проявлять свойства как кислоты, так и основания. Например, глицин реагирует со щелочами с образованием солей, проявляя свойства кислоты:

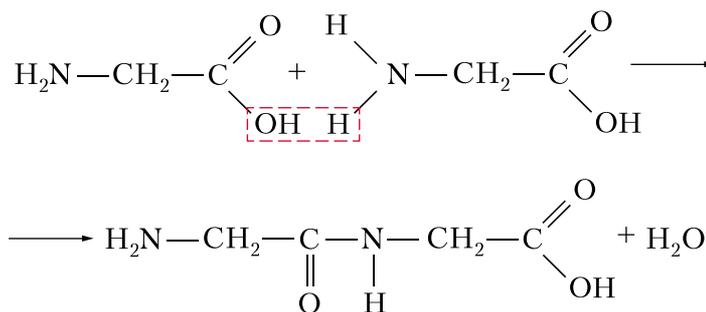


В реакциях с кислотами глицин проявляет свойства органических оснований — аминов:



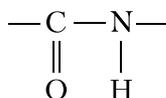
## Понятие о пептидах и белках

Важное химическое свойство аминокислот — способность взаимодействовать друг с другом с отщеплением молекулы воды, образуя **пептиды**:



дипептид

Между двумя остатками аминокислот образуется пептидная связь:



Связь, возникающую между карбоксильной группой —COOH одной молекулы аминокислоты и аминогруппой —NH<sub>2</sub> другой молекулы аминокислоты, называют **пептидной связью**.

Получившийся в результате реакции дипептид может вступать в реакции с другими молекулами аминокислот, образуя полимеры — белки. Поскольку в результате этой реакции, помимо высокомолекулярного вещества, образуется второй продукт — вода, такой процесс относят к реакциям поликонденсации.

О важности белков для живых организмов свидетельствует тот факт, что в большинстве иностранных языков соединения такого типа называют *протеинами* (от греч. *protos* — первый). На Земле не существует ни одного живого организма, включая простейшие одноклеточные и бактерии, который не содержал бы белковые молекулы.

**Белки** — это природные полимеры, образованные остатками аминокислот, связанными между собой пептидными связями.

## Структура и функции белков

В состав природных белков входит около 20 аминокислот, а разновидностей белков великое множество (рис. 43). Каким же образом эти 20 аминокислот создают такое многообразие белков? Дело в том, что аминокислотные остатки в белковой молекуле могут повторяться. Последовательность остатков аминокислот в полимерной цепи, называемая **первичной структурой белка**, уникальна. Подобным образом из 33 букв русского алфавита состоят десятки тысяч различных слов, различающихся порядком чередования букв («первичная структура» слова) и, как следствие, значением.

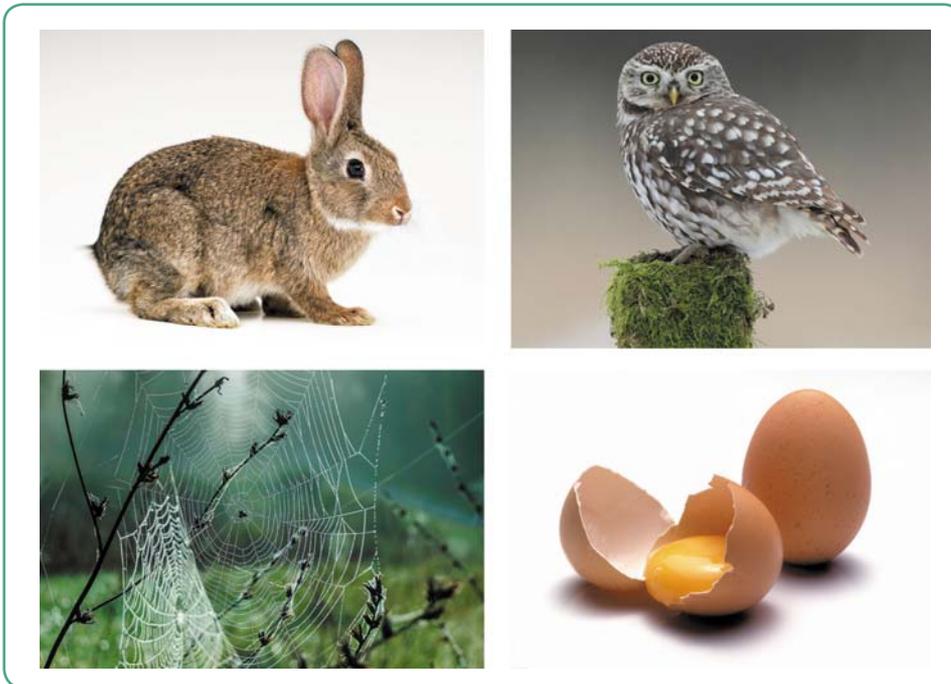


Рис. 43. Шерсть животных, перья птиц, паутина, белок куриного яйца — всё это белки

Молекулы белков имеют также **вторичную** и **третичную** структуру. Характеристика этих структур белковых молекул приведена в таблице 8.

Таблица 8

**Характеристика структур белковых молекул**

Структура белковой молекулы	Описание структуры	Химическая связь, определяющая структуру	Отображение геометрии структуры
Первичная, или линейная	Порядок чередования аминокислот в полипептидной цепи	Пептидная связь —NH—CO—	
Вторичная, или спиралевидная	Закручивание полипептидной линейной цепи в спираль	Внутримолекулярные водородные связи	
Третичная, или глобулярная	Упаковка вторичной спирали в клубок	Дисульфидные мостики, ионные связи	

В зависимости от того, какую функцию выполняет белок в организме, различно его отношение к воде. Большинство белков в воде не растворяется, например *кератины*, которые составляют основу волос, ногтей, перьев, рогов и т. д. Для некоторых белков выполнение их функций невозможно без растворения. Так, в воде растворяются многие белки, выполняющие функции природных катализаторов, — *ферменты*.

### Химические свойства белков

Для обнаружения белка проводят **качественные реакции на белки**.

Белки дают фиолетовое окрашивание в щелочной среде под действием свежеприготовленного осадка гидроксида меди(II). Эту пробу называют **биуретовой реакцией**.

#### Лабораторный эксперимент

Налейте в пробирку 2 мл раствора куриного белка, добавьте 2 мл 5—10%-ного раствора щёлочи и несколько капель раствора сульфата меди(II). Что наблюдаете?

Вторую качественную реакцию на белки называют **ксантопротеиновой**. При действии на раствор белка концентрированной азотной кислоты образуется белый осадок, который быстро приобретает жёлтую окраску, а при добавлении водного раствора аммиака становится оранжевым.

#### Лабораторный эксперимент

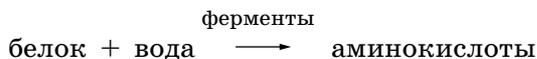
Налейте в пробирку 2 мл раствора куриного белка, добавьте несколько капель азотной кислоты. Что наблюдаете? Нагрейте содержимое пробирки. Какие произошли изменения? Охладите смесь и добавьте 2 мл водного раствора аммиака. Что наблюдаете?

Для обнаружения в белках соединений серы используют следующий тест. При горении серосодержащих белков появляется характерный запах жжёного рога.

#### Лабораторный эксперимент

Подожгите 2—3 шерстяные нити. Охарактеризуйте запах горящей шерсти.

Одно из важнейших химических свойств белков — реакции *гидролиза*. В присутствии природных катализаторов (ферментов) или сильных кислот молекулы воды расщепляют полимерную белковую молекулу до аминокислот:



Именно такой процесс протекает при переваривании белковой пищи. Образующиеся аминокислоты попадают в кровь, затем транспортируются в каждую клетку организма, где из них синтезируются белковые молекулы, характерные именно для этого вида живых организмов. Теперь вы понимаете, почему белки, наряду с жирами и углеводами, — основной компонент пищи. Недостаток белка в питании человека может вызвать тяжёлые заболевания. При несбалансированном питании у людей отмечается плохое самочувствие, быстрая утомляемость, снижение иммунитета. Многие юноши и девушки вашего возраста изнуряют себя разными диетами с целью похудеть, а то и вовсе отказываются от еды. Такая «коррекция фигуры» может привести к непоправимым проблемам со здоровьем.

При относительно небольшом нагревании или действии химических реагентов нарушается структура белка, т. е. происходит его **денатурация** (от лат. *denaturatus*; *de-* — приставка, означающая «отделение, удаление», + *nature* — природа). Для живых организмов денатурация белка — это гибель. Однако в пищевой промышленности тепловая денатурация белков — один из обычных технологических процессов. Варка и обжаривание продуктов, выпечка хлеба, производство макаронных изделий, приготовление творога — все эти операции связаны с денатурацией белков.

### Лабораторный эксперимент

Налейте в пробирку 2 мл раствора куриного белка и добавьте 5—6 капель этилового спирта. Что наблюдаете? Как называют этот процесс?

Белки играют ключевую роль почти во всех структурах живых организмов и происходящих в них процессах.

В каждой клетке организма синтезируется множество белков. Информация о структуре всех белков организма зашифрована в ещё одних природных биополимерах — молекулах **дезоксирибонуклеиновых кислот (ДНК)**. Мономеры ДНК — нуклеотиды. Молекулы ДНК человека содержат примерно 3,1 млрд пар нуклеотидов. Участок молекулы ДНК, отвечающий за синтез одного белка, называют **геном**.

**Аминокислоты. Глицин. Пептидная связь. Белки. Качественные реакции на белки. Денатурация белка. ДНК. Ген**



### Проверьте свои знания

1. Какие органические вещества называют аминокислотами? Приведите примеры формул и названий таких соединений. Почему их относят к амфотерным органическим соединениям?
2. Какие природные биополимеры называют белками?
3. Опишите качественные реакции на белки.
4. Что называют денатурацией белка? Какие факторы могут её вызвать?

### Примените свои знания

5. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить следующие превращения:  
глюкоза → этиловый спирт → уксусный альдегид → уксусная кислота → хлоруксусная кислота → аминоксусная кислота → дипептид аминоксусной кислоты
6. В медицине для улучшения обменных процессов в центральной нервной системе применяют глицин в таблетках. Рассчитайте количество вещества глицина, содержащегося в одной таблетке массой 0,15 г, если известно, что в качестве вспомогательных веществ каждая таблетка содержит также 1 % стеарата магния и 1 % метилцеллюлозы.
7. В двух пробирках находятся растворы глюкозы и белка. Как с помощью одного и того же реактива различить их?
8. Какую биологическую роль играют белки в организме? При ответе используйте не только материал параграфа, но и знания, полученные на уроках биологии.

9. Подготовьте сообщение о строении нуклеотидов.

## § 20. ГЕНЕТИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ МЕЖДУ КЛАССАМИ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ



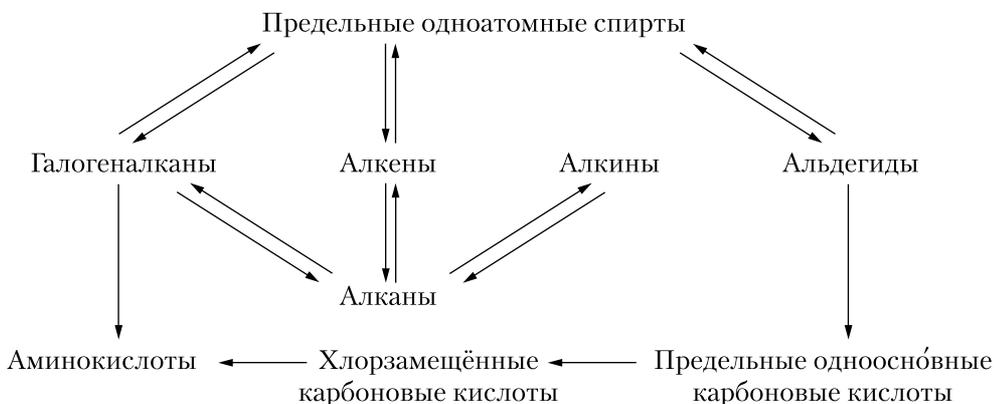
Вы изучили основные классы органических соединений, объединяющие миллионы веществ. Представители каждого класса связаны между собой сходством химического строения. А существует ли взаимосвязь между представителями разных классов органических веществ?

Материальный мир, в котором мы живём и маленькой частичкой которого являемся, един и в то же время бесконечно разнообразен. Единство и многообразие химических веществ наиболее ярко проявляется в **генетической связи** веществ.

Слово «генетический» произошло от греческого слова *genesis* — происхождение. Применительно к химии генетическую связь рассматривают как возможность получения соединений одного класса веществ из соединений другого класса.

При изучении свойств органических соединений мы часто встречались с примерами взаимопревращений соединений различных классов. Так, с помощью реакции дегидрирования из алкана можно получить алкен, реакцией гидратации алкен превратить в спирт, спирт окислить до альдегида и далее до карбоновой кислоты и т. д. Получается целая **цепь превращений веществ**, которые объединяет одинаковое число атомов углерода в молекуле.

Генетическая связь органических веществ изображена на схеме, в которой стрелками указаны возможные переходы, осуществляемые с помощью одной реакции (*в одну стадию*).



Рассмотрим генетическую связь органических соединений на примере веществ различных классов, содержащих в молекулах два атома углерода (рис. 44).

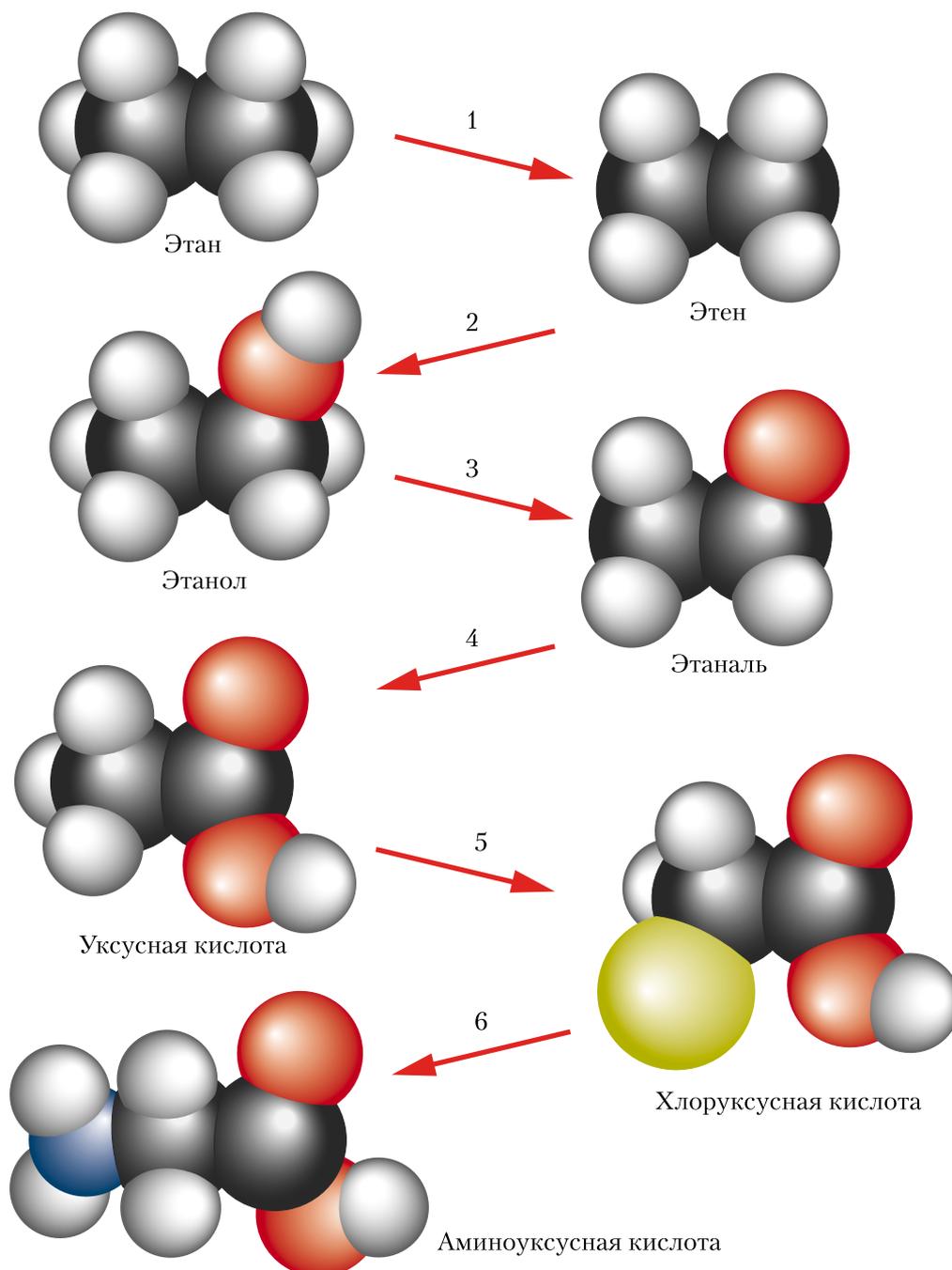
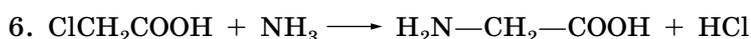
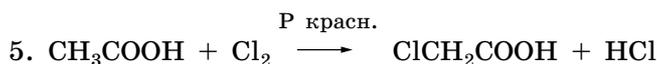
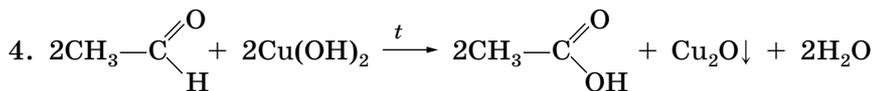
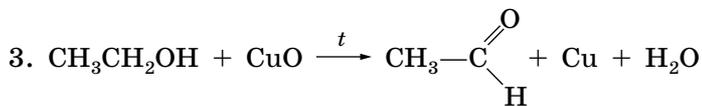
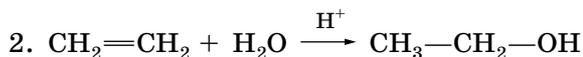
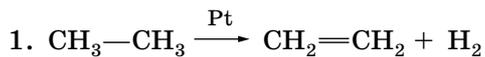


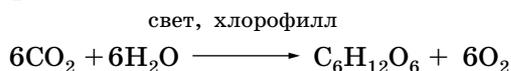
Рис. 44. Цепь превращений органических веществ различных классов, содержащих два атома углерода

Ниже приведены уравнения шести реакций, которые иллюстрируют цепь превращений, изображённую на рисунке 44.



Понятие «генетическая связь» не ограничивается только взаимопревращениями между классами органических соединений. Генетическая связь наблюдается также между веществами минеральными и органическими и может связывать вещества живой и неживой природы. Достаточно вспомнить фотосинтез, который детально изучается уже более двух веков. И хотя процессы фотосинтеза известны до мельчайших деталей, воспроизвести его учёные пока не могут. Это под силу только уникальному зелёному веществу — хлорофиллу.

В результате фотосинтеза из двух неорганических веществ — углекислого газа и воды — образуется органическое соединение глюкоза и выделяется кислород:



Знание генетической связи необходимо химикам для получения веществ с заданными свойствами. Генетическая связь между веществами разных классов позволяет представить себе миллионы незримых нитей, которыми связаны разнообразные вещества живой природы.



## Генетическая связь

### Проверьте свои знания

1. Что такое генетическая связь между классами органических соединений? В чём она проявляется?
2. Что такое цепь превращений? Как определить число реакций в предложенной цепи превращений?

### Примените свои знания

3. Запишите уравнения химических реакций, иллюстрирующих генетические связи между классами органических соединений:  
а) пропанол-1  $\longrightarrow$  пропаналь  $\longrightarrow$  пропановая кислота  $\longrightarrow$  2-хлорпропановая кислота  $\longrightarrow$  2-аминопропановая кислота (аланин)  $\longrightarrow$  дипептид;

- б) *n*-бутан  $\longrightarrow$  бутадиен-1,3  $\longrightarrow$  бутен-2  $\longrightarrow$  *n*-бутан  $\longrightarrow$  этан  $\longrightarrow$  этилен  $\longrightarrow$  ацетилен  $\longrightarrow$  бензол;
- в) метиловый спирт  $\longrightarrow$  формальдегид  $\longrightarrow$  муравьиная кислота  $\longrightarrow$  этиловый эфир муравьиной кислоты  $\longrightarrow$  этиловый спирт  $\longrightarrow$  этилен  $\longrightarrow$  хлорэтан.
4. Запишите уравнения реакций, с помощью которых можно получить анилин из метана. Укажите условия проведения реакций. Назовите промежуточные вещества. Сколько звеньев в предложенной вами цепи превращений?
5. Придумайте свою цепь превращений и запишите уравнения реакций, которые ей соответствуют.

### Используйте дополнительную информацию

6. Сделайте сообщение по теме «Синтез нитроглицерина и его применение». При необходимости воспользуйтесь Интернетом.

## Практическая работа 1

### ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

#### 1 вариант

1) Проведите реакции, характерные для глюкозы, используя в качестве реактива одно химическое соединение. Опишите условия проведения и признаки реакций, составьте их уравнения. Сделайте вывод.

2) Используя один и тот же реактив, экспериментально распознайте выданные вам в пронумерованных пробирках без этикеток вещества: раствор формальдегида и глицерина. Опишите условия проведения и признаки реакций, составьте их уравнения. Сделайте вывод.

#### 2 вариант

1) Проведите реакции, характерные для белков. Опишите условия проведения и признаки реакций. Сделайте вывод.

2) Экспериментально распознайте выданные вам в пронумерованных пробирках без этикеток вещества: крахмальный клейстер и глицерин. Опишите условия проведения и признаки реакций. Сделайте вывод.

#### 3 вариант

1) Проведите реакции, характеризующие химические свойства уксусной кислоты. Опишите условия проведения и признаки реакций, составьте их уравнения. Сделайте вывод.

2) Экспериментально распознайте выданные вам в пронумерованных пробирках без этикеток вещества: растительное и машинное масла. Опишите условия проведения и признаки реакций. Сделайте вывод.

#### 4 вариант

1) Предложите и экспериментально подтвердите способы распознавания степени спелости яблок. Предположите, как созревает яблоко: от центра к краю или наоборот. Докажите своё предположение экспериментально.

2) Экспериментально распознайте выданные вам в пронумерованных пробирках без этикеток вещества: растворы сахарозы и глюкозы. Опишите условия проведения и признаки реакций. Сделайте вывод.

## ВЫВОДЫ К ГЛАВЕ III

### «КИСЛОРОД- И АЗОТСОДЕРЖАЩИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ»

1. Спирты, альдегиды, кетоны, фенолы, карбоновые кислоты, сложные эфиры, жиры, углеводы (моно-, ди- и полисахариды) относят к кислородсодержащим органическим соединениям.

2. Органические вещества, в молекулах которых углеводородный радикал связан с гидроксильной группой —ОН, называют одноатомными спиртами. Они имеют общую формулу  $\text{ROH}$ . Представители: метанол, этанол, пропанол-1 и пропанол-2.

3. Спирты, в молекулах которых содержатся две или более гидроксильные группы, называют многоатомными спиртами. Представители: этиленгликоль и глицерин. Многоатомные спирты растворяют свежеполученный осадок гидроксида меди(II) с образованием ярко-синего раствора, т. е. распознаются с помощью этой качественной реакции.

4. Спирты окисляются в альдегиды — вещества, в молекулах которых альдегидная группа связана с углеводородным радикалом (или атомом водорода).

5. Альдегиды окисляются в соответствующие кислоты и дают две качественные реакции: реакцию серебряного зеркала и реакцию со свежеприготовленным раствором гидроксида меди(II) при нагревании. Альдегиды восстанавливаются водородом в соответствующие спирты.

6. Функциональную гидроксильную группу —ОН, связанную с фенильным радикалом, содержат фенолы. Взаимное влияние атомов в молекуле фенола обусловлено взаимодействием двух фрагментов его молекулы: —ОН и  $-\text{C}_6\text{H}_5$ .

7. Карбоновыми кислотами называют органические вещества, содержащие в молекуле карбоксильную группу, связанную с углеводородным радикалом. Представители: предельные (муравьиная, уксусная, пальмитиновая, стеариновая) и непредельные (например, олеиновая) карбоновые кислоты.

8. Натриевые и калиевые соли жирных карбоновых кислот называют мылами.

9. В результате взаимодействия кислот и спиртов образуются сложные эфиры.

10. Жиры — это сложные эфиры глицерина и высших жирных кислот.

11. Важнейшие азотсодержащие соединения — это амины, аминокислоты, белки и нуклеиновые кислоты.

12. Органические вещества, в молекулах которых углеводородный радикал связан с аминогруппой  $-\text{NH}_2$ , называют аминами. Представители: метиламин, анилин.

13. Аминокислотами называют органические вещества, содержащие в молекуле как карбоксильную группу  $-\text{COOH}$ , так и аминогруппу  $-\text{NH}_2$ . Они являются амфотерными органическими соединениями.

14. Белки — это природные полимеры, образованные остатками аминокислот, связанными пептидными связями ( $-\text{NH}-\text{CO}-$ ). Молекулы белков имеют сложную структуру и дают цветные реакции: биуретовую и ксантопротеиновую.

15. Органические вещества разных классов связаны между собой взаимными превращениями — генетическими связями.

# IV

## *ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ И ОБЩЕСТВО*



## § 21. БИОТЕХНОЛОГИЯ



Проанализируйте название параграфа: «био» — жизнь, «технология» — наука о производственных процессах. Что у вас получилось?

**Биотехнология** — наука, изучающая использование живых организмов и биологических процессов в производстве.

В 1917 г. венгерский учёный Карл Эреки ввёл термин «биотехнология» для обозначения производства необходимых обществу веществ с помощью живых микроорганизмов, используемых в качестве биореакторов.

Биотехнологические процессы используются человеком с незапамятных времён. Именно деятельность микроорганизмов лежит в основе хлебопечения (дрожжи) (рис. 45), виноделия (брожение виноградного сока вызывает особый грибок, живущий на кожице винограда) (рис. 46), получения молочных продуктов, в том числе сыроварения (молочнокислые бактерии) (рис. 47), и др.

Современные биотехнологические методы применяют для борьбы с загрязнением окружающей среды. Например, очистку бытовых и промышленных сточных вод (в том числе отходов нефтепереработки) проводят с помощью бактерий, способствующих разрушению загрязнителей органического происхождения.

**Аэробную** (с участием кислорода воздуха) **очистку** осуществляют как в естественных условиях — на полях орошения, полях фильтрации, биологических прудах и каналах, так и в искусственных условиях — в аэротенках, биофильтрах и аэрофильтрах. При аэробной очистке «работают» бактерии, которые окисляют органические вещества и способствуют осаждению загрязняющих частиц.

**Анаэробная биологическая очистка** эффективна при больших концентрациях загрязняющих веществ, так как анаэробные бактерии, осуществляющие процессы очистки, не нуждаются в присутствии растворённого в воде кислорода. На конечной стадии анаэробной очистки происходит выделение метана.



Рис. 45. Производство хлеба — результат древнейшей биотехнологии



Рис. 46. Виноделие основано на спиртовом брожении глюкозы

С помощью полезных микроорганизмов осуществляют производство ценных лекарственных препаратов — антибиотиков, ферментов, гормонов. Сырьём для такой технологии служат отходы от переработки древесины (стружка, опилки, ветви, кора и т. д.), отходы пищевой и животноводческой промышленности.

Ферменты обладают удивительным свойством — они сохраняют свою «работоспособность» и вне живой клетки, поэтому учёные занимаются разработкой технологий получения промышленной продукции с помощью ферментов, действующих как в колониях живых микроорганизмов, так и в свободном состоянии. Кроме широкого применения в пищевой, текстильной, фармацевтической промышленности, ферментативные технологии используют в природоохранных целях (для устранения разливов нефти, утилизации метана в угледобыче) и даже в металлургии, прежде всего в цветной (микробиологическое получение меди, молибдена и золота).

Важнейшее направление современной биотехнологии — генная инженерия.

**Генная инженерия** — это совокупность методов и технологий выделения генов из организма, введения их в другие организмы, а также конструирования новых, не существующих в природе генов.

Генная инженерия не является наукой в широком смысле, но является инструментом биотехнологии, используя методы таких биологических наук, как молекулярная и клеточная биология, генетика, микробиология, вирусология. Методы генной инженерии позволяют преодолеть один из наиболее мощных запретов эволюции — запрет на обмен генетической информацией между далеко отстоящими видами.

Например, коллектив под руководством академика Юрия Анатольевича Овчинникова выделил ген человека, отвечающий за синтез интерферона — белка, вырабатывающегося в организме для борьбы с вирусными инфекциями. Этот ген был встроен в ДНК бактерии кишечной палочки (*Escherichia coli*). Бактерии, содержащие человеческий ген, способны вырабатывать закодированный в этом гене белок. Такие бактерии культивируют в промышленных масштабах и выделяют из продуктов их жизнедеятельности интерферон, используемый как лекарственный препарат.

Учёные нашли способы не только выделять необходимые гены из организма, но и изменять их (редактировать) и снова встраивать в молекулу ДНК. Этот метод уже используют в селекции растений; с его помощью в будущем можно будет лечить больных наследственными и врождёнными заболеваниями.

Последние десятилетия генная инженерия поистине творит чудеса. Японским учёным удалось ввести в ДНК свиней ген шпината, в результате его мясо стало менее жирным. Генетически модифицированные растения произрастают уже на миллионах гектаров сельскохозяйственных угодий. Они отличаются от своих «собратьев» большей урожайностью, устойчивостью к вре-



Рис. 47. Продукты, в производстве которых используются молочнокислые бактерии

дителям, болезням и засухе, бóльшим содержанием полезных питательных веществ.

Методами генной инженерии получен виноград, которому пересадили ген морозоустойчивости от дикой капусты, в результате чего в Канаде впервые появились виноградники.

Генетически модифицированных животных используют, например, для тестирования лекарственных препаратов с целью изучения их побочных эффектов. Путём генетической модификации получают животных, имеющих повышенную продуктивность и устойчивых к различным заболеваниям: овец с усиленным ростом шерсти, лососей, способных расти быстрее, чем природные сородичи, кур, устойчивых к птичьему гриппу, и т. д.

Другим направлением современной биотехнологии является клеточная инженерия.

**Клеточная инженерия** — это методы конструирования клеток нового типа.

Наиболее перспективное направление клеточной инженерии — выращивание из отдельных клеток новых тканей организма или даже органов. Ведь выращенные органы и ткани, в отличие от донорских, при пересадке не будут вызывать отторжения организмом. Более того, представляется возможность производить «ремонт» повреждённого органа или выращивать «запасной» непосредственно в организме, а не в пробирке.

Выращивание клеток осуществляют на специальных питательных средах. Из отдельной клетки можно вырастить и целый организм.



Рис. 48. Овца Долли — первое клонированное млекопитающее

К методам клеточной инженерии можно отнести и **клонирование** — получение многих идентичных по форме и функциям генетически одинаковых потомков одной клетки или одного организма (рис. 48). В настоящее время в промышленных масштабах в пробирках на питательной среде выращивают так называемые микрорастения. Это крошечные проростки, образовавшиеся из одной клетки какого-либо растения. В свою очередь, клетки, из которых выращивают микрорастения, были получены путём клонирования одной-единственной растительной клетки. Такой посадочный материал генетически совершенно одинаков и не заражён вирусами. В виде микрорастений многие виды растений сохраняют в коллекциях. Клоны клеток применяют как своеобразные химические заводы для получения биологически активных веществ: эритропэтина, инсулина, средств для предотвращения тромбообразования в кровеносной системе.



**Биотехнология. Генная инженерия. Клеточная инженерия. Клонирование**

### Проверьте свои знания

1. Что такое биотехнология? Почему её так называют?
2. Какие процессы относят к традиционным биотехнологиям?
3. Чем различаются аэробная и анаэробная очистка сточных вод?
4. Что представляет собой генная инженерия?
5. Что такое клеточная инженерия? Каких успехов она достигла?

### Примените свои знания

6. Сравните биотехнологию и химическую технологию.

### Используйте дополнительную информацию

7. Подготовьте сообщение по теме «Клонирование и перспективы его использования в медицине».

## § 22. КЛАССИФИКАЦИЯ ПОЛИМЕРОВ. ИСКУССТВЕННЫЕ ПОЛИМЕРЫ

Вы познакомились с природными полимерами: белками, нуклеиновыми кислотами, полисахаридами. Знакомясь с целлофаном, узнали об искусственных полимерах на основе целлюлозы; ещё ранее, при изучении этилена, узнали о синтетическом полимере — полиэтилене. Какой признак может быть положен в основу классификации полимеров?



Природные полимеры — важнейший компонент химической организации живой природы. Однако без полимеров немислима и жизнь современного индустриального общества, и повседневная жизнь человека.

Полимеры делятся на **природные**, **искусственные** и **синтетические** (рис. 49) в зависимости от того, как они были получены.

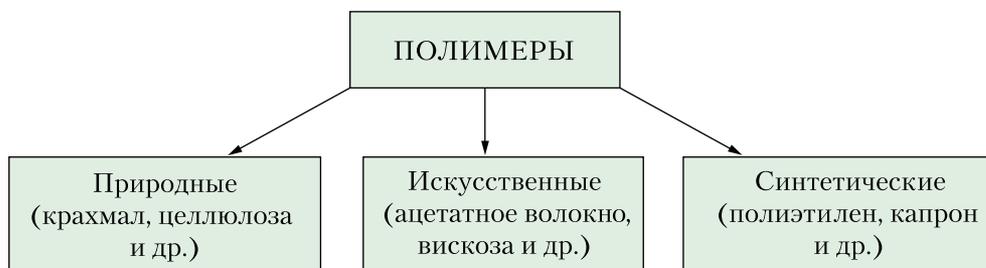


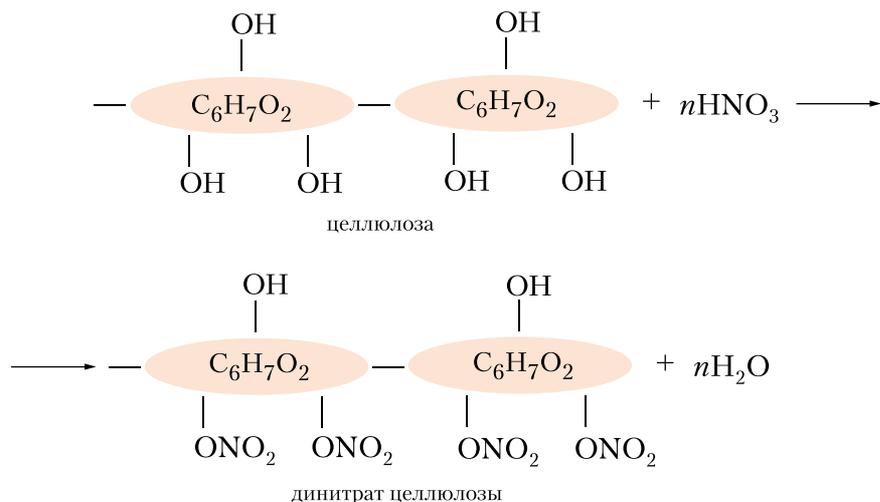
Рис. 49. Классификация полимеров по происхождению

Природные высокомолекулярные вещества были исторически первыми полимерами, которые человек использовал для своих хозяйственных и бытовых нужд. Шерстяные, шёлковые, льняные, хлопчатобумажные ткани изготавливали из соответствующих нитей и волокон, получаемых на основе природных белковых (шерсть, шёлк) или целлюлозных (лён, хлопок) волокон. Древесина до сих пор применяется как наиболее экологически чистый, экономичный и эстетичный материал в строительстве и отделке помещений, изготовлении мебели и предметов домашнего обихода.

Однако изделия и материалы на основе природных полимеров не лишены недостатков. Они легко повреждаются микроорганизмами, быстро стареют и изнашиваются, подвергаются гниению и порче.

### Искусственные полимеры

Во второй половине XIX в. учёные задумались над тем, каким образом можно придать природным полимерам новые свойства, которыми они не обладают. Вскоре решение было найдено. Взятый за основу природный полимер обрабатывали химическими веществами. Например, при обработке волокон целлюлозы концентрированной азотной кислотой получают продукт нитрования, в котором гидроксильные группы (две или все три) в структурном звене (остатке глюкозы) замещены на остатки азотной кислоты  $-\text{ONO}_2$ . Таким образом, происходит замена одной группы атомов на другую, а полимерная цепь при этом не затрагивается:

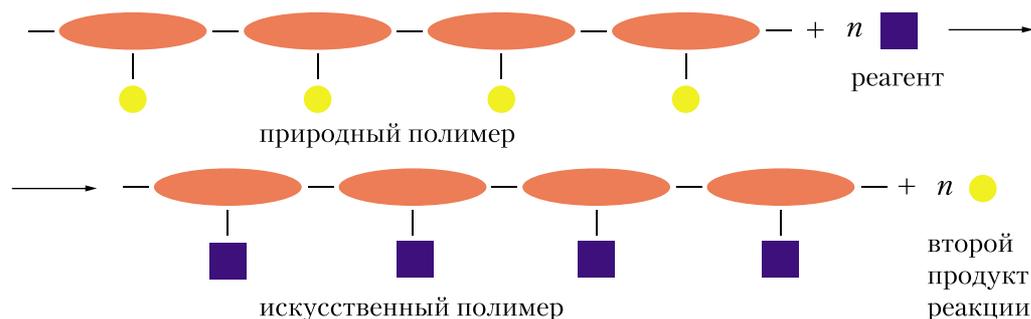


В результате этой реакции получались вещества, которые имеют широкое применение: ди- и тринитраты целлюлозы.

Изменение химического состава и структуры полимера придавало ему новые свойства. Такой процесс назвали **модификацией полимера**, а полученные высокомолекулярные соединения, в отличие от природных, получили название искусственных.

Высокомолекулярные вещества, которые получают на основе природных полимеров путём их химической модификации, называют **искусственными полимерами**.

Общую схему модификации природных полимеров с получением искусственных можно изобразить следующим образом:



## Пластмассы

В 1870 г. американский изобретатель Джон Хайатт добавил к динитрату целлюлозы камфору и получил блестящий материал молочно-белого цвета. Из этого вещества стали изготавливать бильярдные шары, заменившие дорогостоящие шары из слоновой кости (рис. 50). Новый материал получил название **целлулоид** и стал первой искусственной пластмассой.

**Пластмассы** — это материалы, изготавливаемые на основе полимеров с различными добавками, способные приобретать заданную форму при изготовлении изделия и сохранять её в процессе эксплуатации.

Не путайте термины «полимер» и «пластмасса» — это не одно и то же.

Свойства пластмассы как материала можно задать заранее с помощью введения дополнительных компонентов: наполнителей, которые обеспечивают жёсткость пластмассы, красителей, которые придают ей необходимый цвет, пластификаторов, которые делают полимерный материал более эластичным и гибким.

Помимо бильярдных шаров, из целлулоида делали украшения, расчёски, рукоятки инструментов, канцелярские принадлежности, фотоплёнку и многое другое. Однако целлулоид пожароопасен, поэтому области его применения ограничены. Из него изготавливают красивую блестящую облицовку музыкальных инструментов и теннисные шарики. Кроме того, на основе нитратов целлюлозы изготавливают клеи, лаки и эмали.

Тринитрат целлюлозы используют в качестве пороха для снаряжения патронов и называют *пироксилином*.

## Волокна

Полимеры используют для получения не только пластмасс, но и волокон.

**Волокна** — это полимеры линейного строения, которые пригодны для изготовления нитей, жгутов, пряжи и текстильных материалов.



Рис. 50. Бильярдные шары делали из первой искусственной пластмассы, заменившей слоновую кость

Природный полимерный углевод — целлюлоза имеет волокнистую структуру. Из содержимого коробочек созревшего хлопчатника изготавливают хлопчатобумажные ткани и медицинскую вату. Изделия лёгкой промышленности на основе хлопка гигиеничны и экологичны. Но они легко мнутся и намокают, недостаточно прочны.

Эти недостатки устраняются путём химической обработки целлюлозы уксусной кислотой:

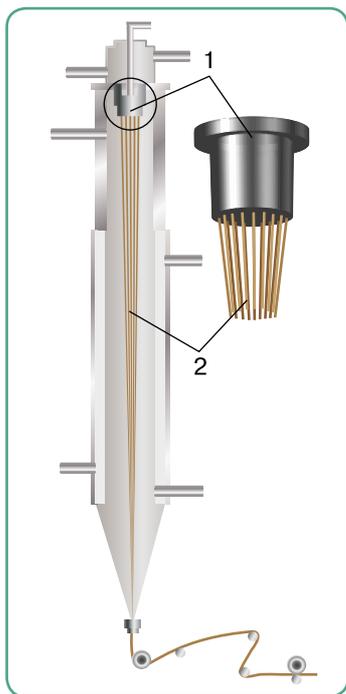
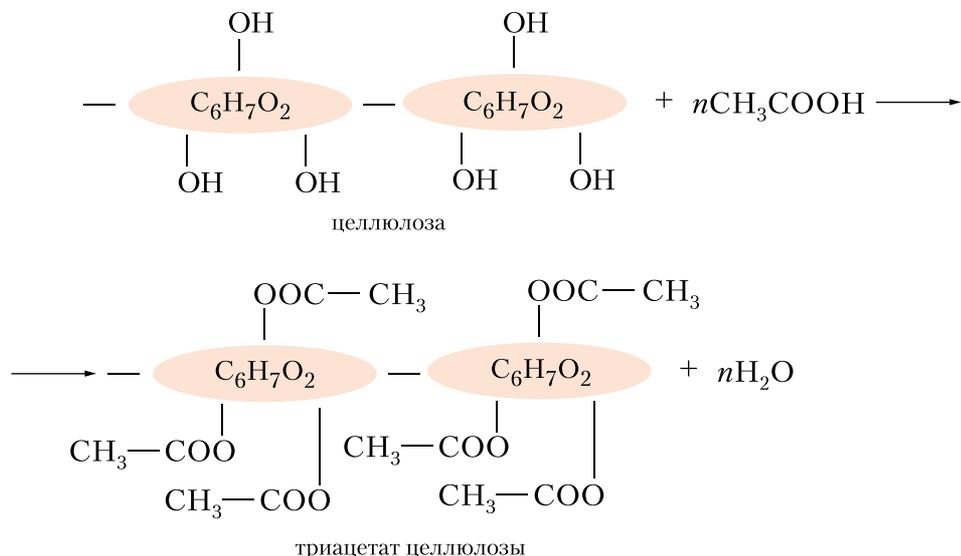


Рис. 51. Схема формования волокна: 1 — фильера; 2 — пучок волокон

Получается сложный эфир — триацетат целлюлозы, не имеющий волокнистой структуры. Поэтому его вытягивают в нити. Для этого была разработана специальная технология.

В раствор или расплав полимера добавляют красители, а также специальные добавки, повышающие эластичность волокна, его прочность и другие характеристики. Затем нагретую жидкость под давлением пропускают через специальные колпачки со множеством мельчайших отверстий — **фильеры** (рис. 51). Через отверстия просачивается тонкая струйка полимера, который обдувается нагретым воздухом. При этом растворитель, если он присутствовал, испаряется, струйки превращаются в волокна, которые затем скручивают в нить.

Ткани из **ацетатного шёлка** красивы, прочны, легко окрашиваются, гигиеничны и недороги.

На основе целлюлозы получают ещё одно искусственное волокно — **вискозу**, которая обладает дополнительными экологическими и гигиеническими преимуществами по сравнению с ацетатным шёлком. Вискоза хорошо впитывает влагу, шелковистая и мягкая на ощупь, обладает воздухопроницаемостью и высокой интенсивностью цвета, не электризуется и, что немаловажно, стоит недорого.

Помимо волокон, на основе вискозы получают пластмассы и плёнки. Вы наверняка слышали название некогда распространённого упаковочного материала — **целлофан** (рис. 52). Эта вискозная плёнка широко использовалась для упаковки подарков, цветов, продуктов питания. Её главное достоинство — лёгкость разложения в природных условиях, что не приводит к загрязнению окружающей среды. Однако в настоящее время целлофан практически полностью вытеснен более дешёвыми полиэтиленом, полипропиленом, лавсаном. Эти полимеры относят к группе синтетических материалов, о которых пойдёт речь в следующем параграфе.



Рис. 52. Целлофановая плёнка

**Полимеры. Классификация полимеров. Искусственные полимеры: целлулоид, ацетатный шёлк, вискоза, целлофан. Пластмассы. Волокна**



#### Проверьте свои знания

1. Что такое полимеры? Как их классифицируют по происхождению?
2. Какие полимеры называют искусственными? Чем они отличаются от природных?
3. В чём различие полимера и пластмассы? Какой из этих двух материалов можно назвать композиционным?
4. Что такое волокна? Приведите примеры искусственных волокон, опишите их свойства, применение и получение.

#### Примените свои знания

5. На упаковках с нитроцеллюлозным клеем имеется предупреждение о соблюдении мер пожарной безопасности при работе с ним. Объясните, с чем это связано.
6. Природные волокна делят на растительные и животные. Приведите примеры таких волокон и охарактеризуйте области их применения.

#### Используйте дополнительную информацию

7. Подготовьте сообщение по теме «Минеральное волокно — асбест: плюсы и минусы его использования».

## § 23. СИНТЕТИЧЕСКИЕ ПОЛИМЕРЫ



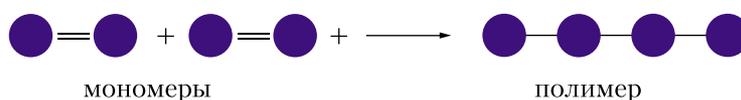
Что представляют собой синтетические полимеры? Какие основные способы их получения на производстве вы можете предложить?

### Пути синтеза полимерных цепей

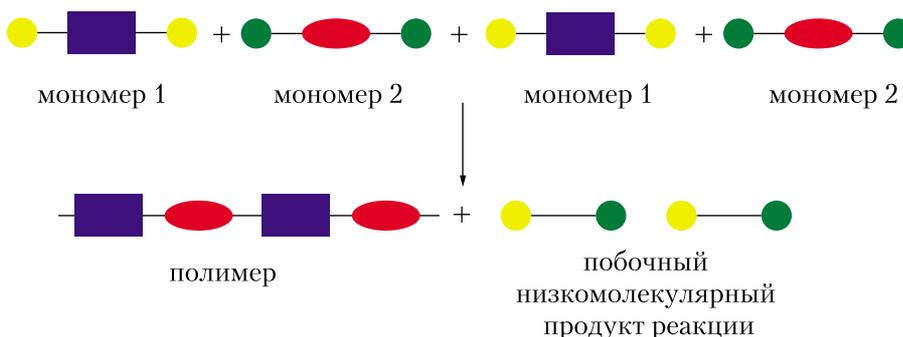
Вы уже познакомились с природными и искусственными полимерами. Однако в повседневной жизни вам чаще всего приходится сталкиваться с полимерными веществами, которые созданы не природой и не на основе природного полимерного сырья, а синтезируются на основе низкомолекулярных исходных веществ (мономеров) и являются продуктом химического производства. Их так и называют — **синтетические полимеры**.

Высокомолекулярные вещества могут быть получены из мономеров в результате реакций полимеризации или поликонденсации.

*Схема процесса полимеризации:*



*Схема процесса поликонденсации:*



Главное отличие полимеризации от поликонденсации заключается в том, что в последнем случае, помимо полимера, образуется второй продукт реакции с небольшой молекулярной массой.

И в реакцию полимеризации, и в реакцию поликонденсации может вступать как один мономер, так и смесь нескольких. В последнем случае высокомолекулярный продукт часто называют **сополимером**.

### Важнейшие синтетические полимеры

Синтетические каучуки получают исключительно реакциями полимеризации. Мономерами в таких синтезах выступают диеновые углеводороды. Вам уже знакомы бутадиеновый и изопреновый каучуки (см. § 5).

Синтетические каучуки играют важную роль в технике и в быту. Общий объём мирового производства каучуков составляет более 15 млн т в год (рис. 53).

Также химическая промышленность выпускает другие синтетические полимерные материалы, например широко применяемый **полиэтилен**.

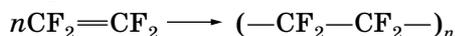


Как получают полиэтилен и какие свойства этого полимера лежат в основе его применения?

Если в молекуле этилена один атом водорода заменить на одновалентный радикал бензола — фенил, то можно получить исходный мономер, лежащий в основе производства другой важной пластмассы — **полистирола** (рис. 54). Формула стирола  $C_6H_5-CH=CH_2$  (*запишите уравнение реакции полимеризации этого соединения*).

Из полистирола производят огромное количество различных изделий, которые благодаря малой токсичности полимера применяют в быту. Это одноразовая посуда, упаковка, детские игрушки и т. д. Строительная индустрия использует теплоизоляционные плиты и сэндвич-панели, облицовочные и декоративные материалы, звукопоглощающие конструкции из полистирола. В медицине из этого полимера изготавливают системы переливания крови, чашки Петри, вспомогательные одноразовые инструменты. Вспененный полистирол в виде пенопласта используют в качестве упаковочного материала. Пластмассы на основе полистирола — перспективный материал для изготовления корпусов бытовой техники и приборов.

В 1938 г. в США был получен уникальный полимер путём полимеризации тетрафторэтилена  $CF_2=CF_2$ . Новый материал получил название **тефлон**:



Тефлон химически инертен, обладает высоким коэффициентом прочности, поэтому его широко используют в различных отраслях промышленности, в медицине, для транспортных средств и в военных целях, где он идёт на производство различных покрытий.

Благодаря особым антипригарным свойствам поверхности тефлон используют для покрытия сковородок, кастрюль, форм для выпечки (рис. 55).



Рис. 53. Завод по производству стирола и полистирола



Рис. 54. Изделия из полистирола



Рис. 55. Посуда с тефлоновым покрытием

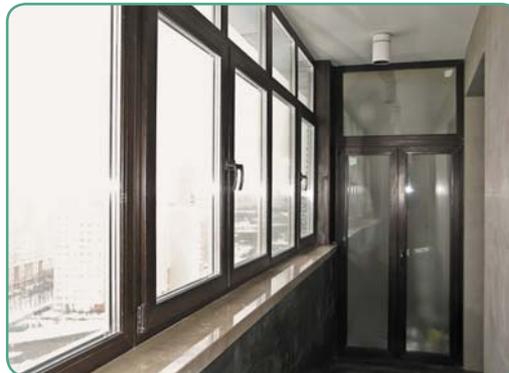
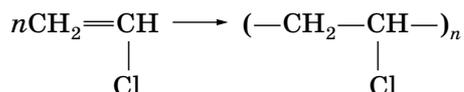


Рис. 56. металлопластиковые окна и двери изготавливают из ПВХ-профиля

Однако в последнее время появились сведения о небезопасности использования тефлоновых покрытий для изготовления кухонной посуды. Он всё больше вытесняется керамикой.

Для изготовления труб, изоляции электропроводов, искусственной кожи, изоляторы, плёнки и многого другого (рис. 56) применяют поливинилхлорид — продукт полимеризации винилхлорида, который, в свою очередь, получают гидрохлорированием ацетиленом:



### Синтетические волокна

Полимеры составляют основу не только пластмасс, но и волокон. С синтетическими волокнами мы познакомимся на примере капрона. **Капрон** — это продукт поликонденсации аминокaproновой кислоты:

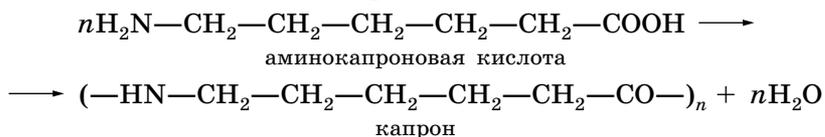


Рис. 57. Витой капроновый канат

В 1936 г. немецкий химик Пауль Шлак исследовал свойства аминокaproновой кислоты. При нагревании раствора вещества учёный получил вязкую массу, затвердевшую при охлаждении. Новый материал оказался очень прочным, подвергался механической обработке, но главное — размягчался при нагревании. При нагревании синтетические волокна размягчаются и становятся пластичными, им можно придать желаемую форму, которая сохраняется при снижении температуры. Новое вещество получило название капрон.

Капрон обладает высокой устойчивостью к действию разбавленных кислот и щелочей, прочностью на изгиб, стойкостью к истиранию. Изделия из него сразу же нашли техническое применение:

- 1) морские канаты в несколько раз легче и прочнее самых лучших пеньковых, очень эластичны и не рвутся при рывках (рис. 57);
- 2) рыболовные сети не намокают и не гниют;
- 3) прочная кордовая сетка используется в автомобильных и авиационных шинах, обеспечивая их износостойкость;
- 4) резервуары ёмкостью до 600 т применяют для хранения и транспортировки нефти;
- 5) шестерни изнашиваются меньше, чем металлические, и совершенно бесшумны в работе.

Однако главное свойство капрона — способность образовывать тонкие и очень прочные нити. Из 1 г капрона можно вытянуть нить длиной до 10 км! Пара женских капроновых колготок весит 10—20 г, на их изготовление требуется около 10 км нити. Прочность капронового шнура превышает прочность латунной, медной и алюминиевой проволоки.

В настоящее время из капроновых нитей делают искусственный мех, шарфы, чулочно-носочные изделия, ковры, обивочный материал, щётки, парашютную ткань. Изделия из капрона не боятся моли и плесени, не гниют, после стирки быстро сохнут и принимают прежний вид, не гигроскопичны и не боятся влаги.

Приведём примеры других синтетических волокон.

Из **нейлона** (в России чаще используют название *анид*) изготавливают искусственный шёлк, парашютную ткань, щетинку для зубных щёток и даже детали машин.

**Кевлар** в 4 раза легче, чем сталь, при этом он в 5 раз прочнее! Кроме того, этот материал огнестоек и гибок. Из него изготавливают защитные костюмы пожарных и автогонщиков, пуленепробиваемые жилеты (рис. 58) и куртки фехтовальщиков.

Наиболее важным из группы синтетических полиэфирных волокон является **лавсан** (рис. 59). Ткани из лавсана идут на пошив мужских сорочек, дамского платья, трикотажа. В смеси с шерстью из них изготавливают материал для пальто и костюмов. Лавсановые изделия не мнутся и хорошо сохраняют форму.



Рис. 58. Бронежилет из кевлара



Рис. 59. Лавсановые нити



## Практическая работа 2

### РАСПОЗНАВАНИЕ ПЛАСТМАСС И ВОЛОКОН

Получите у учителя пакетики с образцами различных пластмасс и волокон под номерами. Ваша задача — определить, какая пластмасса и волокно находится в каждом пакетике.

Начать определение пластмассы следует с изучения внешнего вида, твёрдости, эластичности. Однако окончательный вывод можно сделать, лишь изучив отношение вещества к нагреванию, характер горения и природу продуктов разложения.

Определить природу волокна по внешнему виду достаточно сложно. Одним из самых доступных способов является изучение характера горения, запаха продуктов разложения и остатка после сгорания.

Изучение характера горения материала и продуктов его сгорания проводят следующим образом.

Щипцами возьмите кусочек пластмассы, волокна или ткани и внесите в верхнюю часть пламени спиртовки. Обратите внимание на то, плавится ли объект, как быстро он загорается. После того как вещество загорелось, выньте его из пламени. Гаснет вещество или продолжает гореть? К выделяющимся продуктам сгорания поднесите влажную лакмусовую бумажку, отметьте изменение её цвета. Движением ладони к носу подгоните к себе газообразные продукты сгорания и попробуйте определить их запах. Дождитесь, когда твёрдый остаток горения на керамической или стеклянной пластинке полностью остынет. Рассмотрите его внешний вид, цвет. Попробуйте растереть золу или спёкшийся шарик между пальцами.

В работе по распознаванию пластмасс и волокон воспользуйтесь приведёнными ниже сведениями и справочными данными таблицы 7.

#### Свойства пластмасс

**Полиэтилен.** Неокрашенный материал полупрозрачный, молочного оттенка, эластичный, жирный на ощупь. При нагревании размягчается, из расплавленного материала можно вытянуть нити. Горит синеватым пламенем, при этом ощущается запах горящей свечи. Продолжает гореть после вынесения из пламени, при этом с образца падают горящие капли (осторожно!).

**Поливинилхлорид.** Как правило, эластичный материал, механически прочен, может иметь различную окраску. При нагревании быстро размягчается, при этом начинает разлагаться. Загорается и горит коптящим пламенем. После вынесения из пламени гаснет.

**Тефлон.** Механически прочный, в тонком слое умеренно эластичный, молочно-белого цвета, жирный на ощупь. При нагревании в пламени спиртовки не горит, при длительном нагревании оплавляется, на поверхности появляется чёрный налёт.

**Целлулоид.** Твёрдый, гибкий материал, может иметь различную окраску, не плавится, при внесении в пламя сразу загорается и быстро сгорает даже вне пламени. После сгорания остаётся серая зола.

**Пластмассы на основе фенолформальдегидной смолы.** Неэластичный, твёрдый материал, как правило, тёмного цвета. При сильном нагревании не плавится, разлагается. Загорается с трудом. После вынесения из пламени постепенно гаснет.

#### Свойства волокон

**Хлопок.** Быстро горит, распространяя запах жжёной бумаги. После сгорания остаётся серый пепел.

**Натуральные шерсть, шёлк.** Горят медленно, при этом ощущается характерный запах жжёного рога. После сгорания образуется шарик чёрного цвета, который легко растирается в порошок.

**Капрон.** При нагревании размягчается, затем плавится. При вынесении из пламени расплав образует твёрдый блестящий шарик. Из расплава можно вытянуть нить. При сильном нагревании загорается, распространяя неприятный запах.

**Лавсан.** При нагревании плавится с образованием тёмного блестящего шарика. Из расплава можно вытянуть нить.

**Ацетатное волокно.** Быстро сгорает, образуя нехрупкий, спёкшийся шарик тёмно-бурого цвета. В отличие от других волокон растворяется в ацетоне.

Таблица 7

### Распознавание пластмасс и волокон

Пластмасса или волокно	Отношение к нагреванию, характер горения	Продукты разложения
Полиэтилен	Размягчается, можно вытянуть нити. Горит синеватым пламенем, отделяются горящие капли. Горит вне пламени	Имеют запах горячей свечи
Поливинилхлорид	Горит коптящим пламенем, вне пламени гаснет	Выделяется хлороводород, который можно обнаружить по покраснению лакмусовой бумаги
Тефлон	Не горит, при сильном нагревании оплавляется	Не определяются
Целлулоид	Быстро сгорает	Остаётся серая зола
Фенолформальдегидные пластмассы	Не плавятся, загораются с трудом, вне пламени постепенно гаснут	Имеют запах
Хлопок	Быстро сгорает	Запах жжёной бумаги, остаётся серый пепел
Шерсть, шёлк	Горят медленно, образуя хрупкий чёрный шарик, растирающийся в порошок	Запах жжёного рога
Капрон	Сначала плавится, образуя тёмный блестящий шарик, потом загорается	Продукты горения окрашивают лакмусовую бумагу в синий цвет
Лавсан	Сначала плавится, образуя тёмный блестящий шарик, затем загорается коптящим пламенем	Имеют запах
Ацетатное волокно	Быстро сгорает, образуя нехрупкий тёмный шарик, вне пламени постепенно гаснет	Продукты горения окрашивают лакмусовую бумагу в красный цвет

## ВЫВОДЫ К ГЛАВЕ IV

### «ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ И ОБЩЕСТВО»

1. Биотехнология — наука, изучающая использование живых организмов или клеточных структур и биологических процессов в производстве. Из биотехнологических методов наиболее актуальны генная инженерия, клеточная инженерия и клонирование.

2. Генная инженерия — это совокупность приёмов, методов и технологий выделения генов из организма, синтеза новых генов, осуществления манипуляций с генами, введения их в другие организмы и выращивания организмов после удаления выбранных генов из ДНК.

3. Клеточная инженерия — это методы конструирования клеток нового типа.

4. По происхождению все полимеры можно разделить на три группы: природные, искусственные, синтетические. Важнейшие группы полимеров: биополимеры, каучуки, пластмассы и волокна.

5. Полимеры получают с помощью реакций полимеризации и поликонденсации.

6. Пластмассы — это материалы, изготавливаемые на основе полимеров с различными добавками, способные приобретать заданную форму при изготовлении изделия и сохранять её в процессе эксплуатации.

7. Волокна — это полимеры линейного строения, которые используют для изготовления нитей, жгутов, пряжи и текстильных материалов. Различают волокна растительного, животного и минерального происхождения.

## Предметный указатель

- Алкадиены 31
- Алканы 19
- Алкены 25
- Алкины 36
- Альдегиды 71
- Аминокислоты 99
- Амины 95
- Арены 41
  
- Белки 100
- Бензол 40
- Биотехнология 110
  
- Валентность 12
- Винил 37
- Витализм 6
- Водородная связь 59
- Волокна 115
- Воски 82
- Вулканизация 33
  
- Газификация угля 54
- Генетическая связь 104
- Гомологический ряд 19
  
- Детонационная устойчивость 50
- Дисахариды 91
  
- Жиры 83
  
- Изомерия 13
  
- Каменный уголь 52
- Карбоксильная группа 77
- Карбоновые кислоты 77
- Каучуки 32
- Качественная реакция
  - на анилин 97
  - на крахмал 91
  - на многоатомные спирты 65
  - на непредельные соединения 28
  - на фенол 69
- Каталитическое гидрирование угля 55
- Кетоны 75
- Кокс 53
- Конверсия метана 46
- Кратные связи 12
- Крекинг 26, 49
  
- Международная номенклатура органических веществ 20
- Мономер 29
- Мыло 85
  
- Нефть 48
  
- Одинарные связи 12
- Октановое число 50
  
- Омыление 85
- Органическая химия 7
- Органические вещества 6
  
- Пептидная связь 100
- Пиролиз 46
- Пластмассы 115
- Полимер 29
- Полисахариды 91
- Попутные нефтяные газы 47
- Правило Марковникова 27
- Природный газ 45
  
- Радикал 19
- Реакция
  - гидратации 27
  - гидрогалогенирования 28
  - дегидратации 27
  - дегидрирования 23
  - Зинина 96
  - изомеризации 22
  - Кучерова 38
  - Лебедева 34
  - нитрования 42
  - отщепления 22
  - поликонденсации 74
  - полимеризации 28
  - присоединения 27
  - серебряного зеркала 73
  - этерификации 62
- Резина 33
- Ректификация 48
- Риформинг 50
  
- Синтез-газ 46
- Сложные эфиры 81
- Сопряжённые диены 31
- Спирты 58
- Степень полимеризации 29
- Структурная формула 12
- Структурное звено полимера 29
  
- Теория строения органических соединений 11
  
- Углеводородное сырьё 44
- Углеводороды 7
  - непредельные 25
  - предельные 18
- Углеводы 87
  
- Фенил 42
- Фракции нефти 48
- Функциональная группа 58
  
- Химическое строение 11
  
- Циклоалканы 19

## Ответы к заданиям

### Глава I

§ 1. 5.  $C_3H_4$ .

### Глава II

§ 3. 7.  $Q = 264$  кДж.

§ 4. 6.  $C_2H_4$ :  $w(H) = 14,3 \%$ ,  $w(C) = 85,7 \%$ ;  
 $C_4H_8$ :  $w(H) = 14,3 \%$ ,  $w(C) = 85,7 \%$ . 8.  $V(C_2H_4) = 44,8$  м<sup>3</sup>.

§ 5. 5.  $m(2\text{-метилбутадиена-1,3}) = 54,4$  кг.

§ 6. 7.  $w(\text{примесей}) = 20 \%$ . 8.  $Q = 2600$  кДж.

§ 7. 3.  $C_6H_6$ . 5.  $V(C_6H_6) = 87,3$  мл.

6.  $m(C_6H_5Br) = 235,5$  г;  $m_{\text{изб}}(Br_2) = 76$  г.

§ 8. 4.  $w(CH_4) = 67,75 \%$ ,  $w(C_2H_6) = 18,61 \%$ ;  
 $w(C_3H_8) = 16,64 \%$ . 5.  $V(\text{воздуха}) = 1170$  м<sup>3</sup>.

§ 10. 4.  $w(C) = 11,11 \%$ . 5.  $m((NH_4)_2SO_4) = 264$  кг.

### Глава III

§ 11. 7.  $V(H_2) = 3,36$  л.

§ 13. 4.  $w(C_6H_5OH) = 1 \%$ .

§ 14. 3.  $w(HCOH) = 20 \%$ . 4.  $C_2H_4O$ . 7.  $m(Ag) = 2,16$  г.

§ 15. 3.  $C_6H_{13}COOH$ .

8. Да;  $m((CH_3COO)_2Ca) = 47,4$  г.

§ 16. 4.  $m(C_{17}H_{35}COONa) = 1224$  кг;  $n(\text{тристеарата глицерина}) = 1,33$  кмоль.

§ 17. 6.  $V(CO_2) = 4,48$  м<sup>3</sup>;  $m(C_6H_{12}O_6) = 9,2$  кг.

7.  $m(C_6H_{12}O_6) = 0,45$  г.

§ 18. 5.  $m([CH_3NH_2]Cl) = 14,5$  г;  $V(CH_3NH_2) = 3,85$  л. 6.  $C_2H_5NH_2$ .

### Глава IV

§ 23. 5.  $m(CH_2=CH-CH=CH_2) = 2410,7$  кг.

# Оглавление

<i>Предисловие</i> .....	3
<i>Глава I. Предмет органической химии. Теория строения органических соединений</i> .....	5
§ 1. Предмет органической химии .....	6
§ 2. Основные положения теории химического строения .....	10
Выводы к главе I.....	16
<i>Глава II. Углеводороды и их природные источники</i> .....	17
§ 3. Предельные углеводороды. Алканы .....	18
§ 4. Непредельные углеводороды. Алкены .....	24
§ 5. Алкадиены. Каучуки .....	30
§ 6. Алкины .....	35
§ 7. Ароматические углеводороды, или арены.....	39
§ 8. Природный газ.....	44
§ 9. Нефть и способы её переработки .....	47
§ 10. Каменный уголь и его переработка .....	52
Выводы к главе II.....	56
<i>Глава III. Кислород- и азотсодержащие органические соединения</i> .....	57
§ 11. Одноатомные спирты .....	58
§ 12. Многоатомные спирты.....	63
§ 13. Фенол.....	67
§ 14. Альдегиды и кетоны.....	70
§ 15. Карбоновые кислоты .....	76
§ 16. Сложные эфиры. Жиры .....	81
§ 17. Углеводы .....	87
§ 18. Амины.....	93
§ 19. Аминокислоты. Белки.....	98
§ 20. Генетическая связь между классами органических соединений.....	104
Практическая работа 1. Идентификация органических соединений.....	107
Выводы к главе III.....	108
<i>Глава IV. Органическая химия и общество</i> .....	109
§ 21. Биотехнология.....	110
§ 22. Классификация полимеров. Искусственные полимеры .....	113
§ 23. Синтетические полимеры.....	118
Практическая работа 2. Распознавание пластмасс и волокон.....	123
Выводы к главе IV.....	125
<i>Предметный указатель</i> .....	126
<i>Ответы к заданиям</i> .....	127