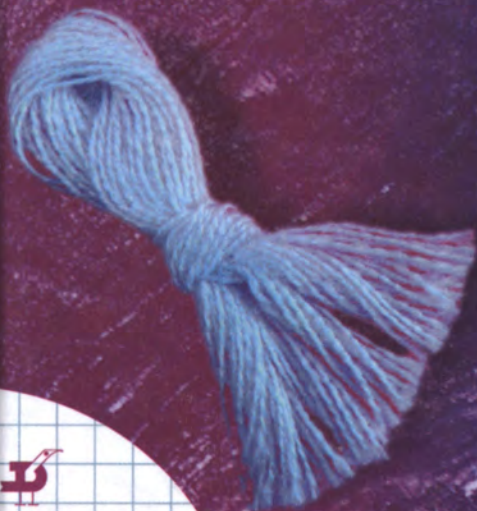
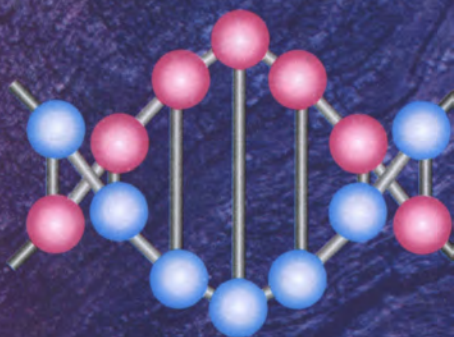


О. С. Габриелян

# ХИМИЯ

**10**  
КЛАСС

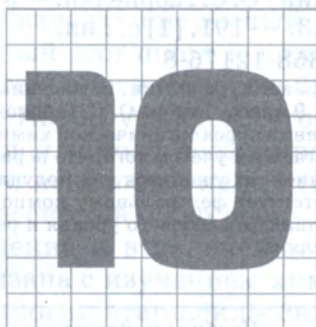
**БАЗОВЫЙ УРОВЕНЬ**



ДРОФА

О. С. Габриелян

# ХИМИЯ



КЛАСС

**БАЗОВЫЙ УРОВЕНЬ**

Учебник  
для общеобразовательных  
учреждений

Рекомендовано  
Министерством образования и науки  
Российской Федерации

9-е издание, стереотипное

МОСКВА



**дрофа**

2013

УДК 373.167.1:54

ББК 24.1я72

Г12

Ключевые слова и словосочетания.



Вопросы и задания.



Правила и определения.

**Габриелян, О. С.**

Г12 Химия. 10 класс. Базовый уровень : учеб. для общеобразоват. учреждений / О. С. Габриелян. — 9-е изд., стереотип. — М. : Дрофа, 2013. — 191, [1] с. : ил.

ISBN 978-5-358-12176-8

Учебник продолжает курс химии, изложенный в учебниках «Химия. 8 класс» и «Химия. 9 класс» автора О. С. Габриеляна. Он может быть использован при изучении курса органической химии базового уровня. Учебный материал излагается с учетом того, что первоначальные сведения об органических соединениях учащиеся уже получили в 9 классе.

Учебник соответствует федеральному компоненту государственного образовательного стандарта базового уровня и реализует авторскую программу О. С. Габриеляна.

УДК 373.167.1:54

ББК 24.1я72

*Учебное издание*

**Габриелян Олег Сергеевич**

**ХИМИЯ. 10 класс. Базовый уровень**

**Учебник для общеобразовательных учреждений**

Ответственный редактор *А. В. Яшукова*. Оформление *Л. П. Копачева*

Художники *О. А. Новотоцких, Э. К. Реоли, А. П. Салиенко*

Художественный редактор *Э. К. Реоли*. Технический редактор *С. А. Толмачева*

Компьютерная верстка *Е. Ю. Пучкова*. Корректор *Е. Е. Никулина*

В соответствии с Федеральным законом от 29.12.2010 г. № 436-ФЗ знак информационной продукции на данное издание не ставится

Сертификат соответствия  
№ РОСС RU. АЕ51. Н 16238.



Подписано к печати 15.11.12. Формат 60 × 90 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Гарнитура «Школьная». Печать офсетная. Усл. печ. л. 12,0. Тираж 20 000 экз. Заказ № 33666. ООО «Дрофа». 127018, Москва, Суцеский вал, 49.

Предложения и замечания по содержанию и оформлению книги просим направлять в редакцию общего образования издательства «Дрофа»: 127018, Москва, а/я 79. Тел.: (495) 795-05-41. E-mail: chief@drofa.ru

По вопросам приобретения продукции издательства «Дрофа» обращаться по адресу: 127018, Москва, Суцеский вал, 49. Тел.: (495) 795-05-50, 795-05-51. Факс: (495) 795-05-52.

Сайт ООО «Дрофа»: [www.drofa.ru](http://www.drofa.ru)

Электронная почта: [sales@drofa.ru](mailto:sales@drofa.ru)

Тел.: 8-800-200-05-50 (звонок по России бесплатный)

Отпечатано в соответствии с качеством предоставленных издательством электронных носителей в ОАО «Саратовский полиграфкомбинат». 410004, г. Саратов, ул. Чернышевского, 59. [www.sarpk.ru](http://www.sarpk.ru)

ISBN 978-5-358-12176-8

© ООО «Дрофа», 2005

© ООО «Дрофа», 2007, с изменениями



# Предисловие

---

Дорогие старшеклассники!

Вы начинаете изучать системный курс органической химии, написанный для школ и классов базового уровня, а также агротехнологического и биолого-географического профилей. Автор убежден, что вы сделали выбор профиля в старшей школе осознанно, тем не менее он предполагает, что некоторые из вас (хотелось бы, чтобы таких старшеклассников было очень немного) могут изменить свое решение и в дальнейшем выбрать профессию, которая связана с изучением химии в высшей школе. Для этих немногих старшеклассников, так же как и для учащихся, изучающих химию на базовом уровне, автор предлагает начать изучение курса с органической химии в 10 классе и продолжить общей химией в 11 классе. Такое структурирование учебной дисциплины обусловлено тем, что в основной школе вы уже знакомы с органическими веществами. Поэтому вполне логично, чтобы те сведения об органических соединениях, которые вы получили в 9 классе, максимально полезно «работали» при изучении курса органической химии в 10 классе.

подавляющее большинство тестовых заданий ЕГЭ (более 90%) связано с общей и неорганической химией. Поэтому в 11 классе автор предлагает изучение основ общей химии, которые позволят не только успешно подготовиться к сдаче ЕГЭ, но и осознать единство органической и неорганической химии на основе общих понятий, законов и теорий химической науки, увидеть ее вклад в формирование единой естественнонаучной картины мира.

Курс органической химии, так же как и курс общей химии, несмотря на небольшое количество часов, отведенных на их изучение, автор постарался представить системно и достаточно полно для того, чтобы те немно-



гие выпускники, которые решат изменить профиль обучения в высшей школе, смогли самостоятельно восполнить пробелы в знаниях по химии для успешной сдачи этого учебного предмета в режиме ЕГЭ.

Автор постарался максимально связать курс химии с жизнью, с нехимическими профессиями и показать, что без знаний по химии восприятие окружающего мира будет неполным, а химически неграмотное обращение с веществами, материалами и процессами грозит немалыми бедами для самого человека, для страны, в которой он живет, и для планеты в целом.

Представленные в 10—11 классах курсы органической и общей химии выполняют, по мнению автора, интегрирующую функцию: позволяют на основе химии объединить естественнонаучные знания по физике, биологии, экологии, географии. Изучение химии по этому учебнику позволит интегрировать химические знания и с гуманитарными дисциплинами: историей, литературой, мировой художественной культурой.

К сожалению, ограниченное учебное время, отпущенное на изучение данного курса химии, не позволяет достаточно полно и глубоко рассмотреть весь материал. Тем не менее автор предусмотрел и такую возможность для наиболее заинтересованных старшеклассников, выделив соответствующий материал вертикальной линией синего цвета.

Желаю вам удачи при изучении одной из самых интересных и значимых для человека наук — ХИМИИ!

*Автор*

## § 1 Предмет органической химии

Вы приступаете к изучению органической химии, с которой только немного ознакомились в 9 классе. Почему «органической»? Обратимся к истории.

Еще на рубеже IX—X вв. арабский алхимик Абу Бакр ар-Рази (865—925) впервые разделил все химические вещества по их происхождению на три царства: минеральные, растительные и животные вещества. Эта уникальная классификация просуществовала почти тысячу лет. Тем не менее в начале XIX в. возникла необходимость объединить химию веществ растительного и животного происхождения в единую науку. Такой подход покажется вам логичным, если вы имеете хотя бы элементарные представления о составе живых организмов.

Из курса естествознания и начальных курсов биологии вы знаете, что в состав любой живой клетки, как растительной, так и животной, обязательно входят белки,



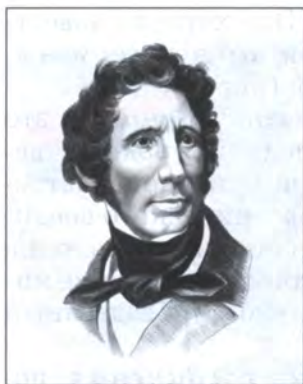
**Берцелиус Йенс Якоб  
(1779—1848)**

.....

Шведский химик, президент Королевской шведской академии наук. Научные исследования охватывают все главные проблемы общей химии первой половины XIX в. Экспериментально проверил и доказал достоверность закона постоянства состава веществ и закона кратных отношений применительно к оксидам и органическим соединениям. Ввел современные обозначения химических элементов и первые формулы химических соединений.







## Вёлер Фридрих (1800—1882)

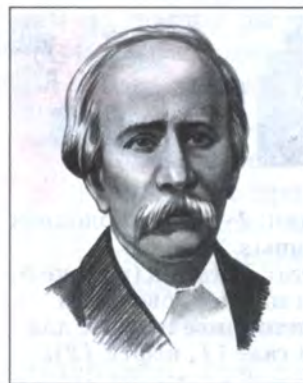
Немецкий химик. Иностранный член Петербургской академии наук (с 1853 г.). Его исследования посвящены как неорганической, так и органической химии. Открыл циановую кислоту (1822), получил алюминий (1827), бериллий и иттрий (1828).

леров синтезировал сахаристое вещество. Витализм потерпел крах.

Сейчас органическая химия представляет собой бурно развивающуюся отрасль химической науки и производства. В настоящее время насчитывается более 25 миллионов органических соединений, среди которых есть и такие вещества, которые до сегодняшнего дня не были обнаружены в живой природе. Получение этих веществ стало возможным благодаря результатам научной деятельности химиков-органиков.

Все органические соединения по происхождению можно условно разделить на три типа: *природные*, *искусственные* и *синтетические*.

**Природные органические соединения** — это продукты жизнедеятельности живых организмов (бакте-



## Бертло Марселен Пьер Эжен (1827—1907)

Один из крупнейших французских химиков-органиков. Синтезировал много органических соединений, среди них метан, ацетилен, бензол, этиловый спирт, муравьиная кислота, жиры и др. Присоединением водорода к ацетилену получил этилен, а затем — этан. Выполнил много работ по термохимии, агрономии и истории химии.



рий, грибов, растений, животных). Это хорошо известные вам белки, жиры, углеводы, витамины, гормоны, ферменты, натуральный каучук и др. (рис. 2).

**Искусственные органические соединения** — это продукты химически преобразованных природных веществ в соединения, которые в живой природе не встречаются. Так, на основе природного органического соединения целлюлозы получают искусственные волокна (ацетатное, вискозное, медно-аммиачное), негорючие кино- и фотопленки, пластмассы (целлулоид), бездымный порох и др. (рис. 3).

**Синтетические органические соединения** получают синтетическим путем, т. е. соединением более простых молекул в более сложные. К ним относятся, например, синтетические каучуки, пластмассы, лекар-



**Рис. 2.** Природные органические соединения: 1—4 — в волокнах и тканях (шерстяных 1, шелковых 2, льняных 3, хлопчатобумажных 4); 5—10 — в продуктах питания (молоке 5, мясе 6, рыбе 7, растительном и сливочном масле 8, овощах и фруктах 9, крупах и хлебе 10); 11, 12 — в топливе и сырье для химической промышленности (природном газе 11, нефти 12); 13 — в древесине



Рис. 3. Изделия и материалы, изготовленные на основе искусственных органических соединений: 1, 2 — искусственные волокна и ткани; 3 — пластмасса (целлулоид); 4 — фотопленка; 5 — бездымный порошок

ственные препараты, синтетические витамины, стимуляторы роста, средства защиты растений и др. (рис. 4).

Несмотря на огромное многообразие, все органические соединения имеют в своем составе атомы углерода. Поэтому органическую химию можно назвать *химией соединений углерода*.

Наряду с углеродом, в состав большинства органических соединений входят атомы водорода. Эти два элемента образуют ряд классов органических соединений, которые так и называют — *углеводороды* (приложение 1). Все остальные классы органических соединений можно рассматривать как производные углеводородов (приложение 2). Это позволило немецкому химику К. Шорлеммеру дать классическое определение органической химии, которое не потеряло своего значения и более 120 лет спустя.



**Органическая химия** есть химия углеводородов и их производных, т. е. продуктов, образующихся при замене водорода в молекулах этих веществ другими атомами или группами атомов.

Например, при замене одного атома водорода в молекуле этана  $C_2H_6$  на гидроксильную группу  $-OH$





**Рис. 4.** Изделия и материалы, полученные на основе синтетических органических соединений: 1 — пластмассы; 2 — лекарственные средства; 3 — моющие средства; 4 — синтетические волокна и ткани; 5 — краски, эмали и клеи; 6 — средства для борьбы с насекомыми; 7 — удобрения; 8 — синтетические каучуки

образуется хорошо знакомый вам этиловый спирт  $C_2H_5OH$ , а при замене атома водорода в молекуле метана  $CH_4$  на карбоксильную группу  $-COOH$  образуется уксусная кислота  $CH_3COOH$ .

Почему же из более чем ста элементов Периодической системы Д. И. Менделеева именно углерод стал основой всего живого? Многие вам станут понятно, если вы прочтете следующие слова Д. И. Менделеева, написанные им в учебнике «Основы химии»: «Углерод встречается в при-

роде 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 дает столь много соединений, как углерод с водородом».

Химические связи атомов углерода между собой и с атомами других элементов (водорода, кислорода, азота, серы, фосфора), входящих в состав органических соединений, могут разрушаться под влиянием природных факторов. Поэтому углерод совершает непрерывный круговорот в природе: из атмосферы (углекислый газ) — в растения (фотосинтез), из растений — в животные организмы, из живого — в неживое, из неживого — в живое (рис. 5).

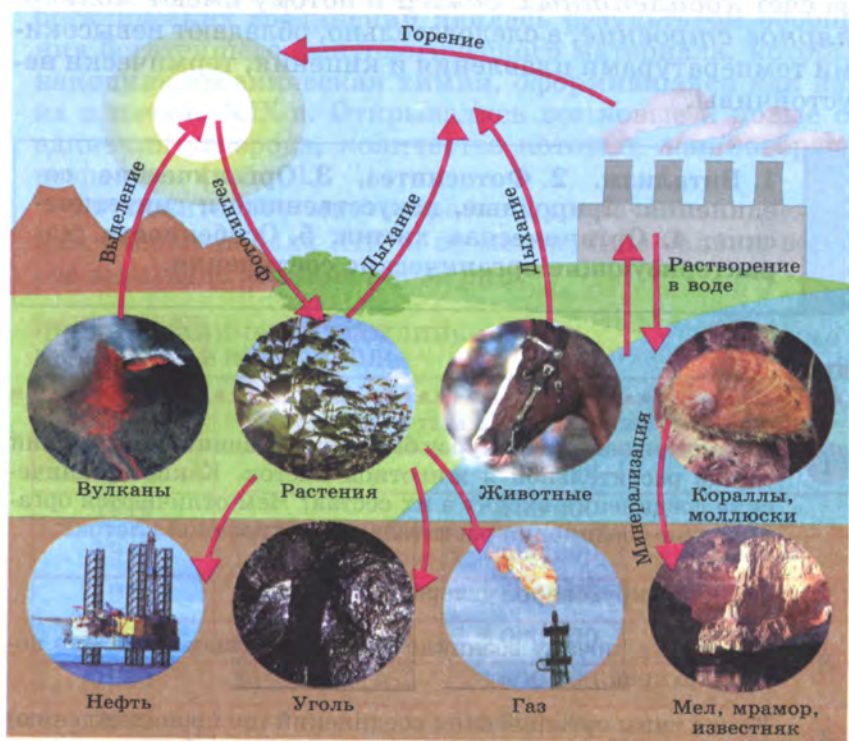


Рис. 5. Круговорот углерода в природе



И в заключение отметим ряд особенностей, характеризующих органические соединения.

Так как молекулы всех органических соединений содержат *атомы углерода*, а практически все — и атомы *водорода*, то большинство из них *горючи* и в результате горения образуют оксид углерода (IV) (углекислый газ) и воду.

В отличие от неорганических веществ, которых насчитывается около 500 тысяч, органические соединения *более многообразны*, поэтому их число насчитывает сейчас более 25 миллионов.

Многие органические соединения *построены более сложно*, чем неорганические вещества, и многие из них имеют огромную молекулярную массу, например белки, углеводы, нуклеиновые кислоты, т. е. вещества, благодаря которым происходят жизненные процессы.

Органические соединения образованы, как правило, за счет *ковалентных связей* и потому имеют *молекулярное строение*, а следовательно, обладают невысокими температурами плавления и кипения, термически неустойчивы.

1. Витализм. 2. Фотосинтез. 3. Органические соединения: природные, искусственные и синтетические. 4. Органическая химия. 5. Особенности, характеризующие органические соединения.

?

- 1 Используя знания по курсу биологии, сравните химический состав растительной и животной клеток. Какие органические соединения входят в их состав? Чем отличаются органические соединения растительной и животной клеток?
- 2 Опишите круговорот углерода в природе.
- 3 Объясните, почему возникло учение витализм и как оно потерпело крах.
- 4 Какие типы органических соединений (по происхождению) вы знаете? Приведите примеры и укажите области их применения.

- 5 Вычислите объем кислорода (н. у.) и массу глюкозы, образующиеся в результате фотосинтеза из 880 т углекислого газа.
- 6 Вычислите объем воздуха (н. у.), который потребуется для сжигания 480 кг метана  $\text{CH}_4$ , если объемная доля кислорода в воздухе составляет 21%.

## § 2 Теория строения органических соединений

Подобно тому как в неорганической химии основополагающей теоретической базой являются Периодический закон и Периодическая система химических элементов Д. И. Менделеева, так в органической химии ведущей научной основой служит теория строения органических соединений Бутлерова—Кекуле—Купера.

Как и любая другая научная теория, теория строения органических соединений явилась результатом обобщения богатейшего фактологического материала, который накопила органическая химия, оформившаяся как наука в начале XIX в. Открывались все новые и новые соединения углерода, количество которых лавинообразно возрастало (табл. 1).

Объяснить это многообразие органических соединений ученые начала XIX в. не могли. Еще больше вопросов вызывало явление *изомерии*.

ЧИСЛО ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ,  
ИЗВЕСТНЫХ В РАЗНЫЕ ГОДЫ

Таблица 1

Год	Число известных органических соединений
1880	12 000
1910	150 000
1940	500 000
1960	1 000 000
1970	2 000 000
1980	5 500 000
2000	18 000 000
2005	Более 25 000 000



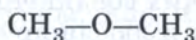


**Изомерия** — это явление существования разных веществ — **изомеров**, имеющих одинаковый качественный и количественный состав (т. е. одинаковую молекулярную формулу), но разное строение и, следовательно, разные свойства.

Например, этиловый спирт и диметиловый эфир — изомеры: эти вещества имеют одинаковый состав  $C_2H_6O$ , но разное строение, т. е. различный порядок соединения атомов в молекулах, а потому и разные свойства.



этиловый спирт  
(жидкость,  $t_{\text{кип}} = 78,4^\circ C$ ,  
растворим в воде,  
взаимодействует  
с щелочными металлами)



диметиловый эфир  
(газ,  $t_{\text{кип}} = -23,7^\circ C$ ,  
нерастворим в воде,  
не взаимодействует  
с щелочными металлами)

Уже известный вам Ф. Вёлер в одном из писем к Й. Я. Берцелиусу так описывал органическую химию: «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 осмеливаешься проникнуть...»

Большое влияние на развитие химии оказали работы английского ученого Э. Франкланда, который, опираясь на идеи атомистики, ввел понятие *валентность* (1853).



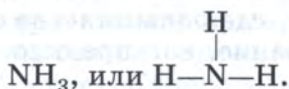
**Валентность** — это свойство атомов химических элементов образовывать химические связи. Она определяет число химических связей, которыми данный атом соединен с другими атомами в молекуле.

В молекуле водорода  $H_2$  образуется одна ковалентная химическая связь  $H-H$ , т. е. водород одновалентен. Ва-

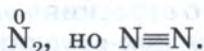
лентность химического элемента можно выразить числом атомов водорода, которые присоединяет к себе или замещает один атом химического элемента. Например, сера в сероводороде и кислород в воде двухвалентны:



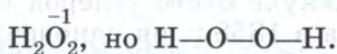
а азот в аммиаке трехвалентен:



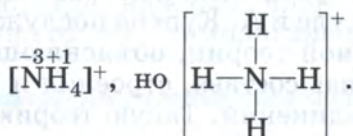
В органической химии понятие «валентность» является аналогом понятия «степень окисления», с которым вы привыкли работать в курсе неорганической химии в основной школе. Однако это не одно и то же. Например, в молекуле азота  $\text{N}_2$  степень окисления азота равна нулю, а валентность — трем:



В пероксиде водорода  $\text{H}_2\text{O}_2$  степень окисления кислорода равна  $-1$ , а валентность — двум:



В ионе аммония  $\text{NH}_4^+$  степень окисления азота равна  $-3$ , а валентность — четырем:



**Франкланд Эдуард**  
(1825—1899)

Английский химик-органик. Исследовал ряд направлений общей и органической химии. Получил цинкалкиды и ввел термин «металлоорганические соединения». Наблюдая способность к насыщению разных элементов и сравнивая органические производные металлов с неорганическими соединениями, ввел понятие о «соединительной силе», явившееся предшественником понятия «валентность».



Обычно по отношению к ионным соединениям (хлорид натрия  $\text{NaCl}$  и многие другие неорганические вещества с ионной связью) не используют термин «валентность» атомов, а рассматривают их степень окисления. Поэтому в неорганической химии, где большинство веществ имеют немолекулярное строение, предпочтительнее применять понятие «степень окисления», а в органической химии, где большинство соединений имеют молекулярное строение, как правило, используют понятие «валентность».

➔ Порядок соединения атомов в молекуле согласно их валентности называют **химическим строением**.

Теория химического строения — результат обобщения идей выдающихся ученых-органиков из трех европейских стран: немца Ф. Кекуле, англичанина А. Купера и русского А. Бутлерова.

В 1857 г. Ф. Кекуле отнес углерод к четырехвалентным элементам, а в 1858 г. он одновременно с А. Купером отметил, что атомы углерода способны соединяться друг с другом в различные цепи: *линейные, разветвленные и замкнутые (циклические)*.

Работы Ф. Кекуле и А. Купера послужили основой для разработки научной теории, объясняющей явление изомерии, взаимосвязь состава, строения и свойств молекул органических соединений. Такую теорию создал русский



**Кекуле Фридрих Август  
(1829—1896)**

.....  
Немецкий химик-органик. Его исследования были сосредоточены в области теоретической органической химии и органического синтеза. Высказал мысль о валентности как о целом числе единиц сродства, которым обладает атом (1857). Углерод считал четырехвалентным элементом.

ученый А. М. Бутлеров. Именно его пытливый ум «осмелился проникнуть» в «дремучий лес» органической химии и начать преобразование этой «безграничной чащи» в залитый солнечным светом регулярный парк с системой дорожек и аллей. Основные идеи этой теории впервые были высказаны А. М. Бутлеровым в 1861 г. на съезде немецких естествоиспытателей и врачей в г. Шпейере.

Кратко сформулировать основные положения и следствия **теории строения органических соединений** Бутлерова—Кекуле—Купера можно следующим образом.

1. *Атомы в молекулах веществ соединены в определенной последовательности согласно их валентности.* Углерод в органических соединениях всегда четырехвалентен, а его атомы способны соединяться друг с другом, образуя различные цепи (линейные, разветвленные и циклические).

Органические соединения можно расположить в ряды сходных по составу, строению и свойствам веществ — **гомологические ряды**.



**Гомологическим рядом** называют ряд веществ, расположенных в порядке возрастания их относительных молекулярных масс, сходных по строению, где каждый член отличается от предыдущего на **гомологическую разность**  $-\text{CH}_2-$ .



**Бутлеров**  
**Александр Михайлович**  
**(1828—1886)**

.....

Русский химик, профессор Казанского университета (1857—1868), с 1869 по 1885 г. — профессор Петербургского университета. Академик Петербургской академии наук (с 1874 г.). Создатель теории химического строения органических соединений (1861). Предсказал и изучил изомерию многих органических соединений. Синтезировал многие вещества.

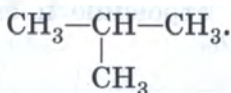


Например, метан  $\text{CH}_4$  — родоначальник гомологического ряда предельных углеводородов (алканов). Его ближайший гомолог — этан  $\text{C}_2\text{H}_6$ , или  $\text{CH}_3\text{—CH}_3$ . Следующие два члена гомологического ряда метана — пропан  $\text{C}_3\text{H}_8$ , или  $\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—CH}_3$ , и бутан  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ , или  $\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—CH}_3$ , и т. д.

Нетрудно заметить, что для гомологических рядов можно вывести общую формулу ряда. Так, для алканов эта общая формула  $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ .

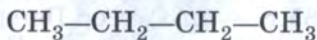
2. Свойства веществ зависят не только от их качественного и количественного состава, но и от строения их молекул.

Это положение теории строения органических соединений объясняет явление изомерии. Очевидно, что для бутана  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ , помимо молекулы линейного строения  $\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—CH}_3$ , возможно также и разветвленное строение:

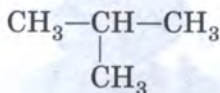
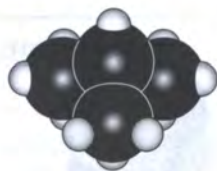


Это уже совершенно новое вещество со своими индивидуальными свойствами, отличными от свойств бутана линейного строения.

Бутан, в молекуле которого атомы расположены в виде линейной цепочки, называют нормальным бутаном (*n*-бутаном), а бутан, цепь атомов углерода которого разветвлена, называют изобутаном.



*n*-бутан  
( $t_{\text{кип}} = -0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ )



изобутан  
( $t_{\text{кип}} = -11,7 \text{ }^\circ\text{C}$ )

Существует два основных типа изомерии — *структурная* и *пространственная*.

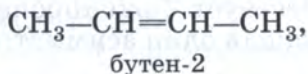
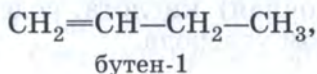


**Структурными** называют изомеры, имеющие различный порядок соединения атомов в молекуле. **Пространственные** изомеры имеют одинаковые заместители у каждого атома углерода, но отличаются их взаимным расположением в пространстве.

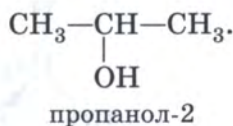
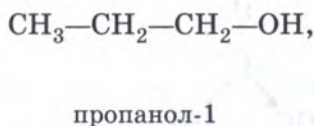
В соответствии с принятой классификацией различают три вида структурной изомерии.

*Изомерия углеродного скелета.* Соединения отличаются порядком расположения углерод-углеродных связей, например рассмотренные *n*-бутан и изобутан. Именно этот вид изомерии характерен для алканов.

*Изомерия положения кратной связи (C=C, C≡C) или функциональной группы* (т. е. группы атомов, определяющих принадлежность соединения к тому или иному классу органических соединений), например:



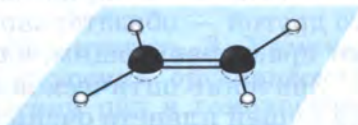
или



*Межклассовая изомерия.* Изомеры этого вида изомерии относятся к разным классам органических соединений, например рассмотренные выше этиловый спирт (класс предельных одноатомных спиртов) и диметиловый эфир (класс простых эфиров).

Различают два вида пространственной изомерии: геометрическую и оптическую.

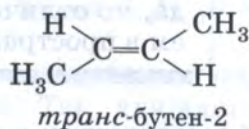
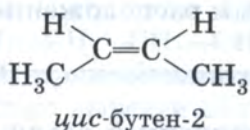
*Геометрическая изомерия* характерна, прежде всего, для соединений с двойной углерод-углеродной связью, так как по месту такой связи молекула имеет плоскостное строение (рис. 6). Например, для бутена-2, если *оди-*



**Рис. 6.** Модель молекулы этилена

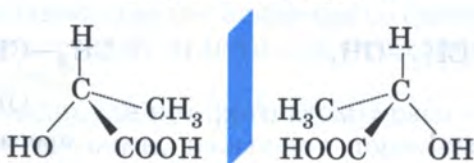


наковые группы атомов у атомов углерода при двойной связи находятся по одну сторону от плоскости С=С-связи, то молекула является *цис*изомером, если по разные стороны — *транс*изомером.



*Оптической изомерией* обладают, например, вещества, молекулы которых имеют *асимметрический*, или *хиральный*, атом углерода, связанный с четырьмя различными заместителями. Оптические изомеры являются зеркальным изображением друг друга, подобно двум ладоням, и не совместимы. (Теперь вам, очевидно, стало понятным второе название этого вида изомерии: греч. *хирос* — рука — образец несимметричной фигуры.) Например, в виде двух оптических изомеров существует 2-оксипропановая (молочная) кислота, содержащая один асимметрический атом углерода.

Воображаемое зеркало



У хиральных молекул возникают изомерные пары, в которых молекулы изомеров относятся по своей пространственной организации одна к другой так же, как соотносятся между собой предмет и его зеркальное отображение. Пара таких изомеров всегда обладает одинаковыми химическими и физическими свойствами, за исключением оптической активности: если один изомер вращает плоскость поляризованного света по часовой стрелке, то другой — обязательно против. Первый изомер называют *правовращающим*, а второй — *левовращающим*.

Значение оптической изомерии в организации жизни на нашей планете очень велико, так как оптические изомеры могут существенно отличаться как по своей биологической активности, так и по совместимости с другими природными соединениями.

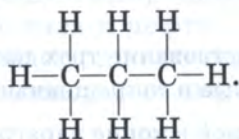
3. Атомы в молекулах веществ влияют друг на друга. Взаимное влияние атомов в молекулах органических соединений вы рассмотрите при дальнейшем изучении курса.

Современная теория строения органических соединений основывается не только на химическом, но и на электронном и на пространственном строении веществ, которое подробно рассматривается на профильном уровне изучения химии.

В органической химии широко используют несколько видов химических формул.

**Молекулярная формула** отражает качественный состав соединения, т. е. показывает число атомов каждого из химических элементов, образующих молекулу вещества. Например, молекулярная формула пропана:  $C_3H_8$ .

**Структурная формула** отражает порядок соединения атомов в молекуле согласно валентности. Структурная формула пропана такова:



Часто нет необходимости детально изображать химические связи между атомами углерода и водорода, поэтому в большинстве случаев используют **сокращенные структурные формулы**. Для пропана такую формулу записывают так:  $CH_3-CH_2-CH_3$ .

Строение молекул органических соединений отражают с помощью различных моделей. Наиболее известны объемные (масштабные) и шаростержневые модели (рис. 7).

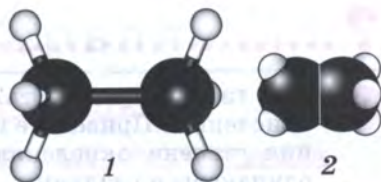


Рис. 7. Модели молекулы этана:

1 — шаростержневая;  
2 — масштабная

1. Изомерия, изомеры. 2. Валентность. 3. Химическое строение. 4. Теория строения органических соединений. 5. Гомологический ряд и гомологическая разность. 6. Формулы молекулярные и структурные. 7. Модели молекул: объемные (масштабные) и шаростержневые.





- 1 Что такое валентность? Чем она отличается от степени окисления? Приведите примеры веществ, в которых значения степени окисления и валентности атомов численно одинаковы и различны.
- 2 Определите валентность и степень окисления атомов в веществах, формулы которых  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ .
- 3 Что такое изомерия; изомеры?
- 4 Что такое гомология; гомологи?
- 5 Как, используя знания об изомерии и гомологии, объяснить многообразие соединений углерода?
- 6 Что понимают под химическим строением молекул органических соединений? Сформулируйте положение теории строения, которое объясняет различие в свойствах изомеров. Сформулируйте положения теории строения, которые объясняют многообразие органических соединений.
- 7 Какой вклад внес каждый из ученых — основоположников теории химического строения — в эту теорию? Почему ведущую роль в становление этой теории сыграл вклад русского химика?
- 8 Возможно существование трех изомеров состава  $\text{C}_5\text{H}_{12}$ . Запишите их полные и сокращенные структурные формулы.
- 9 По представленной в конце параграфа модели молекулы вещества (см. рис. 7) составьте его молекулярную и сокращенную структурную формулы.
- 10 Рассчитайте массовую долю углерода в молекулах первых четырех членов гомологического ряда алканов.

# Глава первая

## Углеводороды и их природные источники

### § 3 Природный газ. Алканы

Во введении мы определили органическую химию как химию углеводородов и их производных.

Название **углеводороды** говорит за себя: это вещества, молекулы которых состоят из атомов двух химических элементов — углерода и водорода. Благодаря уникальной способности атомов углерода соединяться друг с другом в цепи различной формы и длины, таких соединений существует великое множество. Поэтому их делят на классы. Знакомиться с некоторыми из этих классов мы будем по мере изучения природных источников углеводородов: природного газа и нефти. И это не случайно, ибо наша страна занимает одно из ведущих мест в мире по запасам, добыче, экспорту и переработке углеводородного сырья.

Вместе с тем знание этой темы представляет определенный профессиональный интерес не только для хими-

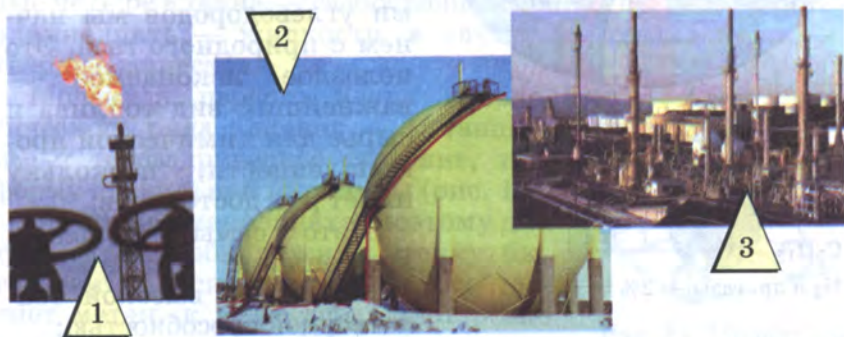


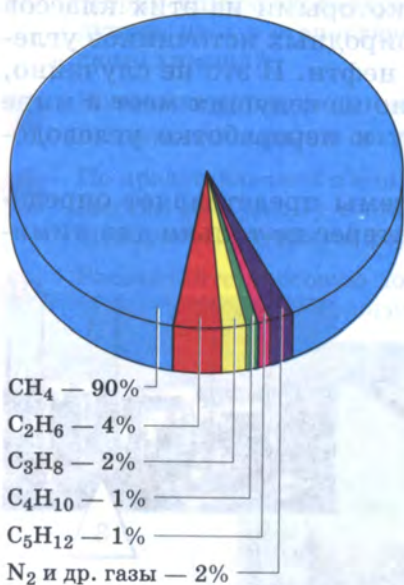
Рис. 8. Природный газ:  
1 — добыча; 2 — хранение; 3 — переработка





**Рис. 9. Нефть:**  
 1 — добыча; 2 — транспортировка; 3 — переработка

ков, но также для будущих геологов и географов, юристов и экономистов, обществоведов и политологов, инженеров и экологов. Только детальное владение системой знаний об углеводородном сырье позволит профессионально состояться специалистам, связанным с разведкой, добычей, транспортировкой и промышленной переработкой природного газа (рис. 8) и нефти (рис. 9).



**Рис. 10. Состав природного газа одного из месторождений**

Природные источники углеводородов являются связующим звеном межгосударственных отношений в политической и экономической области и нередко служат причиной конфликтов и войн за контроль над этими источниками.

Знакомство с источниками углеводородов мы начнем с природного газа. Это полезное ископаемое — важнейший вид топлива и сырья для химической промышленности, поскольку имеет ряд достоинств:

- это самый дешевый вид топлива;
- обладает высокой теплотворной способностью;
- легко транспортируется по газопроводам;

• является экологически более чистым видом топлива по сравнению с другими.

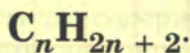
**Природный газ** — это смесь газообразных углеводородов с небольшой молекулярной массой. Основным компонентом природного газа является метан, доля которого в зависимости от месторождения составляет от 75 до 99% по объему. Кроме метана, в состав природного газа входят этан, пропан, бутан и изобутан, а также азот и углекислый газ (рис. 10).

Как вы уже знаете, метан, этан, пропан, бутан являются первыми четырьмя членами гомологического ряда предельных углеводородов — алканов.

Свое название «предельные углеводороды» алканы получили потому, что все валентности атомов углерода в этих молекулах насыщены атомами водорода до предела.



**Алканы** — это предельные углеводороды, в молекулах которых все атомы связаны одинарными связями. Состав их отражает общая формула



Физические свойства алканов зависят от состава их молекул, т. е. от относительной молекулярной массы, что наглядно иллюстрирует таблица 2. Нетрудно заметить, что с увеличением относительной молекулярной массы у алканов увеличиваются температура кипения и плотность, а также изменяется агрегатное состояние: первые четыре алкана — газообразные вещества, следующие одиннадцать — жидкости, а начиная с гексадекана — твердые вещества.

Молекула первого члена гомологического ряда алканов — метана — имеет тетраэдрическое строение, т. е. форму правильной пирамиды (рис. 11).

Метан не имеет запаха, поэтому для того, чтобы обнаружить утечку бытового газа, основу которого и составляет метан, к нему добавляют резко пахнущие органические соединения. Если вы почувствуете такой запах,

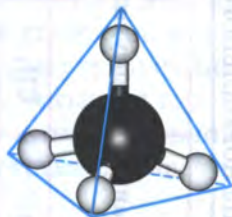


Рис. 11. Модель молекулы метана



Название	Формула	Относительная молекулярная масса	Агрегатное состояние при обычных условиях	Плотность, г/мл	$t_{пл}, ^\circ C$	$t_{кип}, ^\circ C$	Формула радикала	Название радикала
Метан	$CH_4$	16	Газ	—	-182,6	-161,6	$CH_3-$	Метил
Этан	$C_2H_6$	30	Газ	—	-183,3	-88,5	$C_2H_5-$	Этил
Пропан	$C_3H_8$	44	Газ	—	-187,1	-42,2	$C_3H_7-$	Пропил
Бутан	$C_4H_{10}$	58	Газ	—	-138,4	-0,5	$C_4H_9-$	Бутил
Пентан	$C_5H_{12}$	72	Жидкость	0,626	-129,7	36,1	$C_5H_{11}-$	Пентил
Гексан	$C_6H_{14}$	86	Жидкость	0,659	-94,0	68,7	$C_6H_{13}-$	Гексил
Гептан	$C_7H_{16}$	100	Жидкость	0,684	-90,5	98,4	$C_7H_{15}-$	Гептил
Октан	$C_8H_{18}$	114	Жидкость	0,703	-56,8	125,7	$C_8H_{17}-$	Октил
Нонан	$C_9H_{20}$	128	Жидкость	0,718	-53,7	150,8	$C_9H_{19}-$	Нонил
Декан	$C_{10}H_{22}$	142	Жидкость	0,730	-29,7	174,1	$C_{10}H_{21}-$	Децил
...	...	...	...	...	...	...	...	...
Гексадекан	$C_{16}H_{34}$	226	Твердое вещество	0,770	18	287	$C_{16}H_{33}-$	Гексадецил

значит, происходит утечка газа и необходимо срочно звонить в аварийную службу горгаза по телефону 04 или в службу МЧС по телефону 01.

Первые четыре члена гомологического ряда метана получили тривиальные, исторически сложившиеся названия. Основой названия следующих алканов нормального строения стали греческие числительные.

Так как, начиная с бутана, у каждого алкана с линейной цепью появляются изомеры с разветвленным углеродным скелетом, возникла необходимость выработать систему их названий. Такая система была разработана Международным союзом теоретической и прикладной химии (ИЮПАК) и получила название *международной номенклатуры ИЮПАК*.

Для составления названий органических веществ по номенклатуре ИЮПАК необходимо знать формулы и названия радикалов и других заместителей (например, галогенов). *Радикал* — это одновалентная частица, которая получается при отщеплении от молекулы алкана атома водорода, т. е. частица, содержащая неспаренный электрон. Название радикала происходит от названия соответствующего алкана с заменой суффикса  $\widehat{ан}$  на суффикс  $\widehat{ил}$ : алкан $\widehat{ан}$   $\rightarrow$  алкил $\widehat{ил}$  (см. табл. 2).

В соответствии с международной номенклатурой следует придерживаться следующих правил при составлении названия алканов.

1. В структурной формуле выбирают самую длинную цепь атомов углерода (главную цепь).

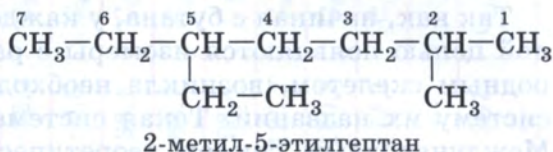
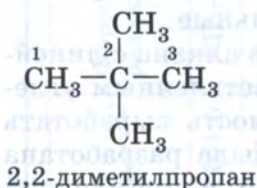
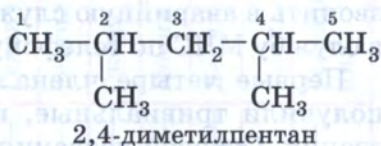
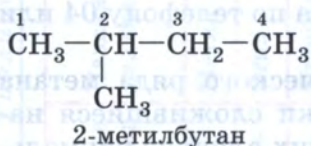
2. Атомы углерода главной цепи нумеруют, начиная с того конца, к которому ближе разветвление.

3. В начале названия перечисляют радикалы и другие заместители с указанием номеров атомов углерода, с которыми они связаны. Если в молекуле присутствует несколько одинаковых радикалов (два, три, четыре и т. д.), то цифрой указывают место каждого из них в главной цепи и перед их названием ставят соответственно частицы *ди-*, *три-*, *тетра-* и т. д.

4. Основой названия служит наименование предельного углеводорода с тем же числом атомов углерода, что и в главной цепи.



Приведем примеры составления названий алканов.



Рассмотрим применение природного газа, в основе которого лежат химические свойства отдельных алканов, в первую очередь метана.

Основным химическим свойством предельных углеводородов, определяющим их использование в качестве топлива (рис. 12), является реакция горения:

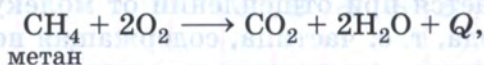
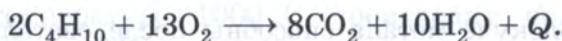
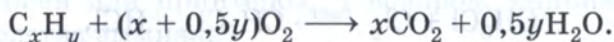


Рис. 12. Применение алканов в качестве топлива



бутан

В общем случае уравнение реакции горения любого углеводорода, имеющего состав  $\text{C}_x\text{H}_y$ , можно записать в следующем виде:



Однако природный газ — это не только топливо, но и ценное химическое сырье (рис. 13). Его переработка основана на других химических свойствах алканов.

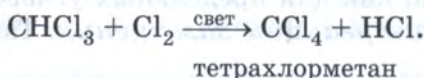
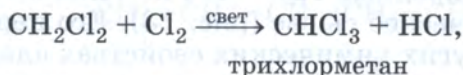
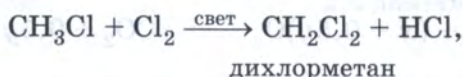
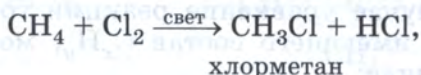
Для алканов, как для предельных углеводородов, наиболее характерны реакции замещения. Так, атомы водо-



Рис. 13. Применение метана: 1—3 — производство сажи (картриджи 1, резина 2, типографская краска 3); 4—7 — получение органических соединений (растворителей 4, хладагентов (фреонов), используемых в холодильных установках, 5, метанола 6, ацетилена 7)



рода в молекуле метана способны последовательно замещаться на атомы галогенов, например хлора:



Реакция галогенирования метана протекает по цепному радикальному механизму (т. е. с образованием частиц, содержащих непарный электрон) и состоит из ряда повторяющихся стадий:

а) *начало цепи*, протекает под действием света и называется световой стадией: образуются атомы хлора, имеющие непаренные электроны (свободные радикалы):



б) *рост цепи*, может протекать в отсутствие света и называется темновой стадией:



в) *обрыв цепи*, заключается в *рекомбинации* (соединении) двух каких-либо свободных радикалов:

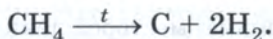


За исследование механизма цепных радикальных реакций выдающийся советский физикохимик Н. Н. Семёнов (1896—1986) получил Нобелевскую премию.

Образующиеся в этих реакциях соединения широко используют как растворители, исходные вещества в органических синтезах, хладагенты (фреоны) в холодильных установках.

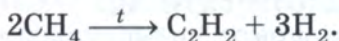
Метан вступает в *реакции полного и неполного разложения* в зависимости от условий проведения реакции.

При температуре 1000 °С происходит полное разложение метана. При этом образуются сажа и водород:



Сажа идет на изготовление типографской краски и картриджей для принтеров, а водород, например, для производства аммиака.

Неполное разложение метана проводят при температуре 1500 °С и резком охлаждении продуктов реакции. В результате этого процесса получают важный углеводород — ацетилен  $\text{C}_2\text{H}_2$ , а также водород:

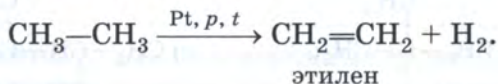


В присутствии катализаторов от молекул алканов отщепляются молекулы водорода.



Реакции отщепления молекул водорода от молекул органического соединения называют реакциями дегидрирования.

Например, дегидрированием этана получают этилен — ценный химический продукт:



Этилен и рассмотренный выше ацетилен относят к непредельным углеводородам — алкенам и алкинам. Следующий параграф будет посвящен алкенам — этилену и его гомологам.

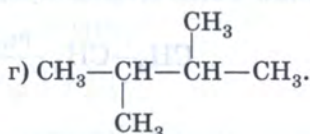
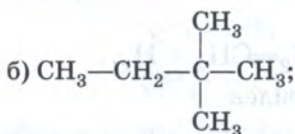
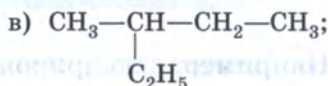
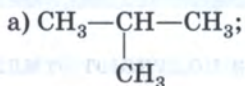
1. Углеводороды. 2. Природный газ. 3. Алканы, или предельные углеводороды. 4. Международная номенклатура ИЮПАК. 5. Правила составления названий алканов. 6. Химические свойства и применение алканов. 7. Реакции дегидрирования.



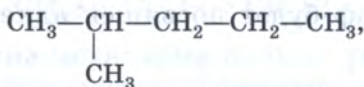
# ?

- 1 Укажите важнейшие месторождения природного газа в Российской Федерации. Найдите их на карте полезных ископаемых нашей страны, воспользовавшись географическим атласом.
- 2 Назовите известные вам международные вооруженные конфликты, которые связаны с контролем над природными источниками углеводов.
- 3 Приведите примеры интеграции экономик различных стран, основу которых составляет использование природного газа.
- 4 Подготовьте рассказ о том, как связаны знания по химии природного газа с вашей будущей профессией.
- 5 Назовите преимущества природного газа перед другими видами топлива.
- 6 Проиллюстрируйте закон перехода количественных отношений в качественные на примере гомологического ряда алканов.

7 Назовите углеводороды, структурные формулы которых:



8 Для углеводорода, структурная формула которого

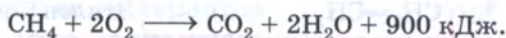


напишите формулы возможных изомеров. Назовите все соединения по международной номенклатуре ИЮПАК.

- 9 Укажите области применения метана, в основе которых лежит реакция горения.
- 10 Укажите области применения веществ, образующихся при полном и неполном разложении метана.

11 Укажите области применения соединений, образующихся в реакциях метана с хлором.

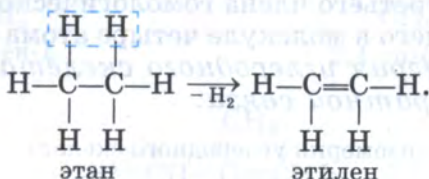
12 Вычислите количество теплоты, которая выделится при сгорании 11,2 м<sup>3</sup> метана (н. у.), если термохимическое уравнение реакции его горения



## § 4 Алкены. Этилен

Как вы уже знаете, при дегидрировании этана образуется этилен — родоначальник гомологического ряда алкенов.

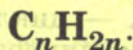
Потеря двух атомов водорода приводит к образованию между атомами углерода не одинарной, а двойной связи:



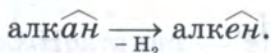
Так как валентности атомов углерода в этилене и его гомологах не до предела насыщены атомами водорода, то такие соединения называют **непредельными**.



**Алкены** — это непредельные углеводороды, содержащие в молекуле, кроме одинарных связей, одну двойную углерод-углеродную связь. Состав их отражает общая формула



Если сравнить общие формулы алканов и алкенов, не трудно заметить, что их состав отличается на два атома водорода:



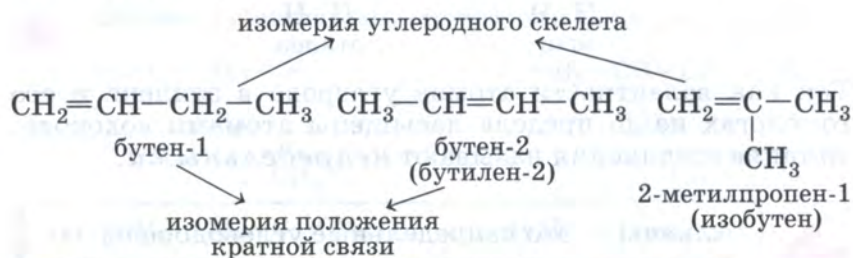
Принадлежность углеводорода к классу алкенов отражают родовым суффиксом  $-\widehat{\text{ен}}$  в его названии.



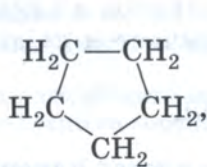
Молекулярная формула	Сокращенная структурная формула	Название
$C_2H_4$	$CH_2=CH_2$	Этилен (этен)
$C_3H_6$	$CH_2=CH-CH_3$	Пропилен (пропен)
$C_4H_8$	$CH_2=CH-CH_2-CH_3$	Бутилен-1 (бутен-1)

Этилен — родоначальник гомологического ряда алкенов (табл. 3). Строение молекулы этилена представлено на рисунке 14. Нетрудно заметить, что молекула этилена имеет плоскостное строение. Аналогично и у всех алкенов по месту расположения двойной связи фрагмент молекулы будет иметь плоскостное строение.

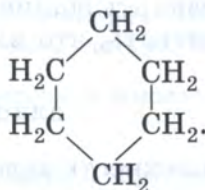
Начиная с третьего члена гомологического ряда алкенов, содержащего в молекуле четыре атома углерода, появляется *изомерия углеродного скелета* и *изомерия положения кратной связи*:



Для алкенов характерна *межклассовая изомерия* с углеводородами другого класса, имеющего такую же общую формулу  $C_nH_{2n}$ , — циклоалканами. Особенностью химического строения циклоалканов является наличие замкнутой цепочки атомов углерода — цикла, например:



циклопентан



циклогексан

Особенности построения названий алкенов состоят в том, что главная цепь атомов углерода должна обязательно включать двойную С=С-связь, и ее нумерацию проводят с того конца главной цепи, к которому эта связь ближе. В названии углеводорода, оканчивающе-

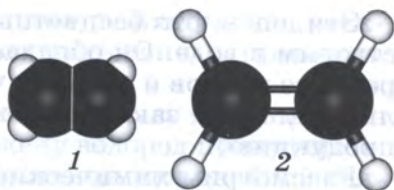
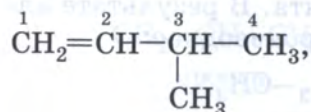
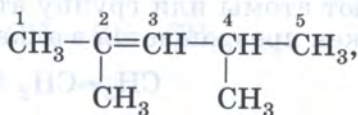


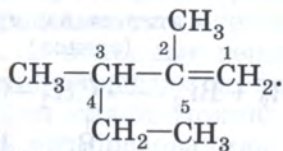
Рис. 14. Модели молекулы этилена: 1 — масштабная; 2 — шаростержневая



3-метилбутен-1



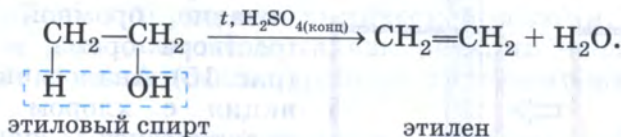
2,4-диметилпентен-2



2,3-диметилпентен-1

В промышленности этилен получают крекингом (расщеплением) продуктов переработки нефти, например керосина.

В лабораторных условиях этилен получают дегидратацией этилового спирта:



**Реакция дегидратации** — это процесс отщепления молекулы воды от молекулы органического соединения.

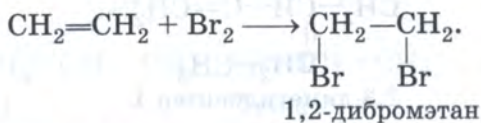
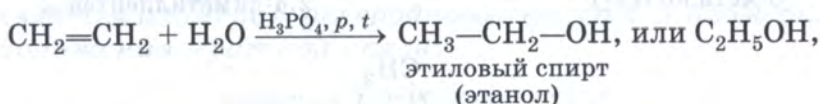
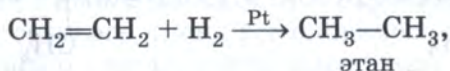


Этилен — это бесцветный газ без запаха, почти нерастворим в воде. Он обладает способностью ускорять созревание плодов и овощей, что используют в овощехранилищах, куда закладывают незрелую плодоовощную продукцию.

Рассмотрим химические свойства алкенов на примере этилена.

Наличие в молекулах алкенов двойной C=C-связи обуславливает их химические свойства.

Для алкенов, как для непредельных углеводородов, характерны *реакции присоединения*: 1) водорода (*гидрирование*), 2) воды (*гидратация*), 3) галогенов (*галогенирование*) и др. При этом одна из двух связей между атомами углерода разрывается, и оба атома присоединяют атомы или группу атомов реагента. В результате алкен превращается в алкан или его производное:



Последняя реакция применяется для обнаружения соединений с кратной (двойной или тройной) углерод-углеродной связью, т. е. является *качественной на кратную связь*.

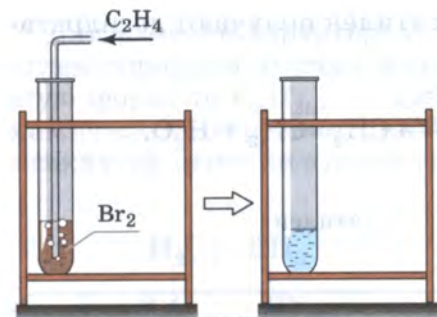
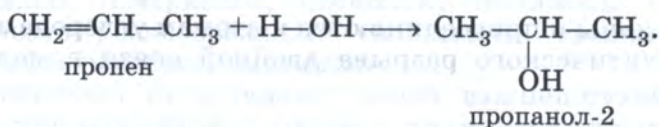


Рис. 15. Обесцвечивание бромной воды этиленом (качественная реакция на кратную связь)

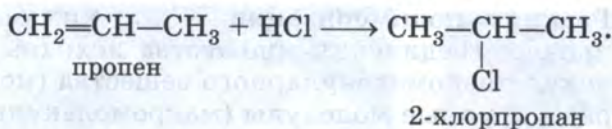
При этом происходит обесцвечивание бромной воды (раствора брома в воде) (рис. 15). Аналогичная реакция с хлором имеет практическое значение, поскольку приводит к образованию важного продукта — 1,2-дихлорэтана, используемого в качестве растворителя и для получения пластмасс.

Для гомологов этилена, например пропилена, реакция гидратации протекает в соответствии с правилом В. В. Марковникова.

При присоединении полярных молекул, например галогеноводородов или воды, к алкену водород преимущественно присоединяется к атому углерода при двойной связи, с которым соединено большее число атомов водорода:

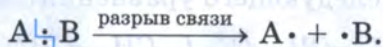


Аналогично гидратации протекает и реакция присоединения галогеноводородов к алкенам, например:



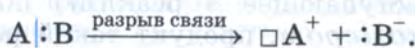
Сущность любой химической реакции заключается в образовании новых молекул из тех же самых атомов, из которых образованы исходные вещества. В ходе любой реакции одни связи разрываются, другие — образуются. Разрыв ковалентной связи можно рассматривать как процесс, обратный ее образованию. Следовательно, при этом возможны два направления разрыва.

*Гомолитический разрыв* приводит к тому, что оба атома, ранее связанные ковалентной связью, получают по одному электрону, превращаясь в частицы с неспаренным электроном — *свободные радикалы*:



Подобный тип разрыва химической связи и, соответственно, радикальный механизм реакции наблюдается при уже рассмотренном процессе галогенирования метана.

*Гетеролитический разрыв* осуществляется таким образом, что один из атомов получает оба электрона, служившие ранее общей электронной парой. Такой тип разрыва связи приводит к образованию заряженных частиц — ионов:





Подобный тип разрыва химической связи и, соответственно, ионный механизм реакции наблюдается в процессе присоединения галогеноводорода к алкенам.

Как известно, химическая связь в молекуле хлороводорода является полярной. В условиях реакции молекула HCl распадается на ионы  $H^+$  и  $Cl^-$ :



Эти ионы и присоединяются к атомам углерода за счет гетеролитического разрыва двойной связи в молекуле алкена.

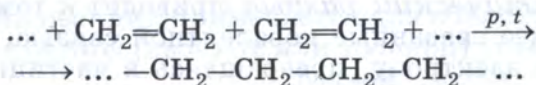
Особым случаем реакций присоединения является реакция полимеризации.



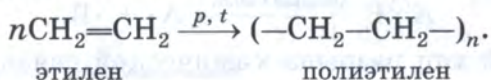
**Реакция полимеризации** — это химический процесс соединения множества исходных молекул низкомолекулярного вещества (мономера) в крупные молекулы (макромолекулы) полимера.

**Полимер** — это высокомолекулярное соединение, молекулы которого состоят из множества одинаковых структурных звеньев.

Полимеризацию этилена можно отразить с помощью следующей схемы:



или с помощью следующего уравнения:



Полимеризацию проводят в присутствии инициаторов, например перекисных соединений, которые являются источниками свободных радикалов. Перекисными соединениями называют вещества, молекулы которых включают группу  $-O-O-$ . Простейшим перекисным соединением является пероксид водорода  $H-O-O-H$ .

Вещество, вступающее в реакцию полимеризации, называют **мономером**, продукт такой реакции — **по-**

лимером, формулу в скобках в уравнении такой реакции — *структурным звеном*, а индекс  $n$  — *степенью полимеризации*, которая показывает, сколько структурных звеньев образуют молекулу полимера.

В настоящее время нашу жизнь невозможно представить без полимеров. Изделия из них все в большей степени вытесняют из нашего быта изделия, изготовленные из природных материалов, поскольку полимеры обладают самыми разнообразными свойствами, сравнительно дешевы, легко обрабатываются.

Полиэтилен представляет собой важнейшую пластмассу, которая находит широкое применение в народном хозяйстве (рис. 16).

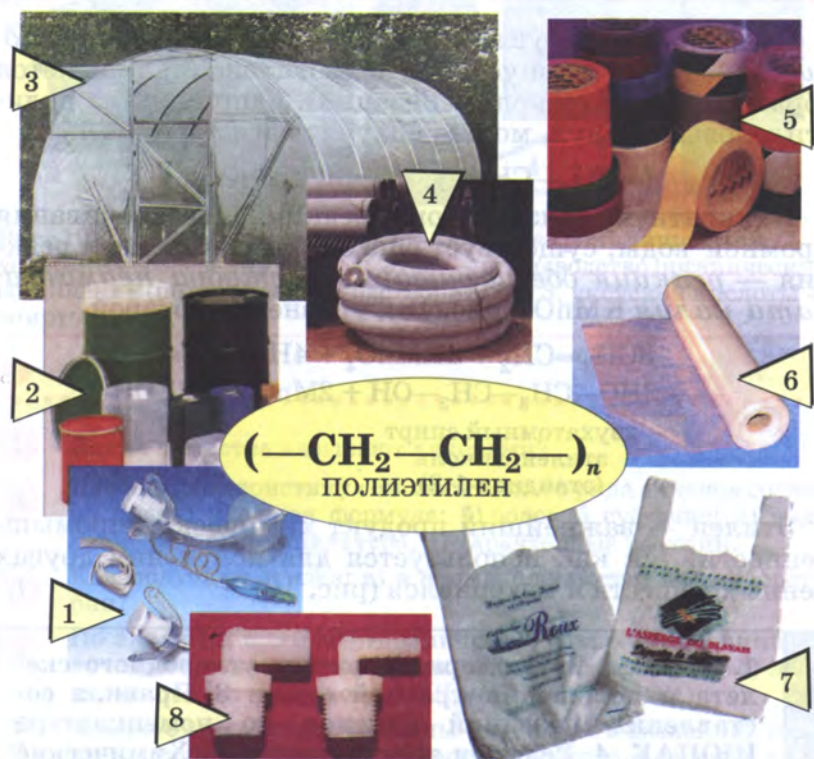


Рис. 16. Применение полиэтилена: 1 — медицинское оборудование; 2 — предметы домашнего обихода; 3 — пленка для парников; 4 — трубы и шланги; 5 — клейкая лента; 6 — упаковочная пленка; 7 — пакеты; 8 — детали



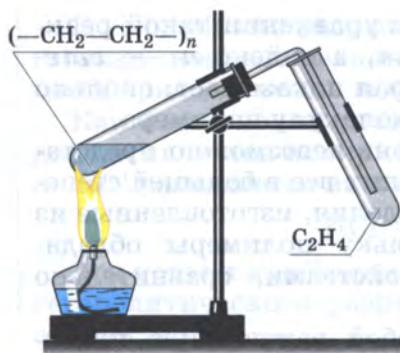


Рис. 17. Получение этилена деполимеризацией полиэтилена

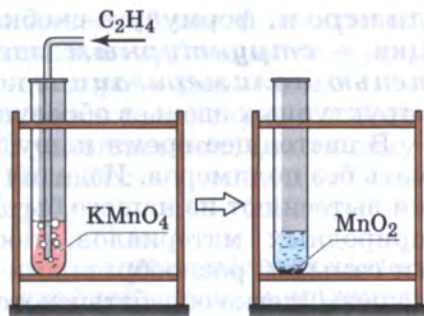
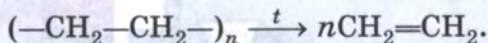
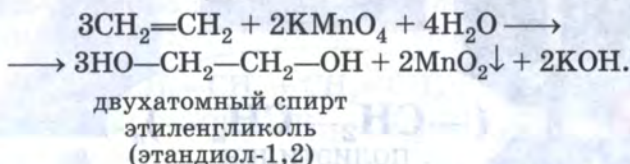


Рис. 18. Обесцвечивание раствора перманганата калия этиленом (качественная реакция на кратную связь)

В лабораторных условиях с помощью *реакции деполимеризации* технического полиэтилена (она является обратной процессу полимеризации), например, из полиэтиленовых гранул, можно получить этилен (рис. 17):



На кратную связь, кроме реакции обесцвечивания бромной воды, существует еще одна качественная реакция — *реакция обесцвечивания раствора перманганата калия*  $\text{KMnO}_4$  (рис. 18), уравнение которой



Этилен — важнейший продукт химической промышленности, так как используется для получения других ценных веществ и материалов (рис. 19).

1. Алкены. 2. Изомерия алкенов: углеродного скелета и положения кратной связи. 3. Правила составления названий алкенов по номенклатуре ИЮПАК. 4. Реакция дегидратации. 5. Химические свойства этилена: взаимодействие с водородом, водой, галогенами, реакция полимеризации. 6. Мономер, полимер, структурное звено, степень полимеризации. 7. Качественные реакции на кратную связь.



Рис. 19. Применение этилена: 1 — в овощехранилищах для ускорения созревания плодов; 2—6 — производство органических соединений (полиэтилена 2, растворителей 3, уксусной кислоты 4, спиртов 5, 6)

## ?

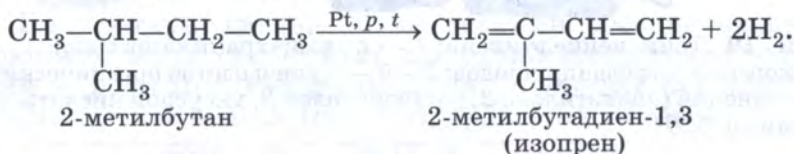
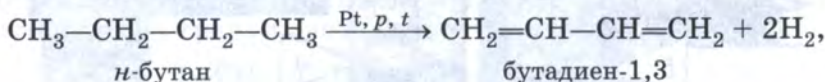
- 1 Какие вещества называют алкенами?
- 2 Дайте характеристику гомологического ряда алкенов согласно плану: а) общая формула; б) родовой суффикс; в) виды изомерии; г) номенклатура; д) характерные реакции.
- 3 Как получают этилен: а) в промышленности; б) в лаборатории?
- 4 По аналогии с этиленом запишите уравнения реакций получения пропена: а) промышленного (из пропана); б) лабораторного (из пропанола-1  $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$ ).
- 5 Найдите химические термины-антонимы в названиях реакций, характеризующих химические свойства и способы получения этилена. Дайте их определения.
- 6 Какими способами можно отличить этилен от этана?
- 7 Найдите массовую долю углерода в молекулах: а) пропана; б) пропилена (пропена).



- 8 Найдите объем этилена (н. у.), полученного реакцией дегидратации 230 мл 95%-го этилового спирта (плотность 0,8 г/мл).
- 9 Этилен горит светящим пламенем в отличие от бесцветного пламени этана. Почему? Ответ подтвердите расчетом массовой доли углерода в молекулах этих веществ. Составьте уравнение реакции горения этилена.

## § 5 Алкадиены. Каучуки

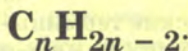
Проанализируйте название нового класса углеводородов — алкадиены. Наличие в названии части *-диен* означает, что в составе молекулы углеводорода содержатся две двойные углерод-углеродные связи (*-ди-* — два, *-ен* — двойная связь). Очевидно, что такие углеводороды могут быть получены из алканов путем их более глубокого дегидрирования. Например:



На приведенных примерах нетрудно проследить способ образования названий диеновых углеводородов (алкадиенов): после основы названия добавляют *-диен*, а через дефис указывают атомы углерода, от которых начинаются двойные связи.



**Алкадиены, или диены,** — это непредельные углеводороды, содержащие в молекуле, кроме одинарных связей, две двойные углерод-углеродные связи. Состав их отражает общая формула



Наибольшее значение имеют алкадиены, в молекулах которых две двойные углерод-углеродные связи разделены одной одинарной.





Процесс получения резины из каучука называют **вулканизацией**. Название этому процессу дало имя греческого бога огня Вулкана, так как процесс превращения каучука в резину заключается в его нагревании с порошком серы. При этом линейные молекулы каучука «сшиваются» атомами серы в пространственную структуру резины за счет разрыва некоторой части двойных связей в полимерной молекуле каучука.

Слово «вулканизация» можно нередко услышать в службах автосервиса. Залатать дырку в автомобильной камере можно с использованием именно этого процесса, когда кусочек смеси каучука с порошком серы («сырая резина») накладывают на покрышку и нагревают под прессом.

Если серу для процесса вулканизации взять в количестве, достаточном для разрыва всех двойных связей в макромолекулах каучука, то при этом образуется твердый неэластичный материал, называемый **эбонитом**. Эбонит — хороший диэлектрик и широко используется в электротехнике в качестве изолятора. С эбонитовыми палочками вы работали на практических занятиях на уроках физики.

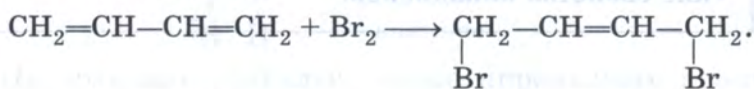
Впервые в промышленных масштабах синтетический каучук был получен выдающимся русским ученым С. В. Лебедевым. Группа химиков под его руководством в 1931 г. предложила способ получения бутадиена-1,3 из этилового спирта и на основе синтезированного алкадиена получила первую партию бутадиенового каучука.



### Лебедев Сергей Васильевич (1874—1934)

Отечественный химик, академик. Основные научные исследования посвящены полимеризации, изомеризации и гидрогенизации непредельных углеводов. Получил (1931) синтетический каучук полимеризацией бутадиена-1,3 под действием натрия.

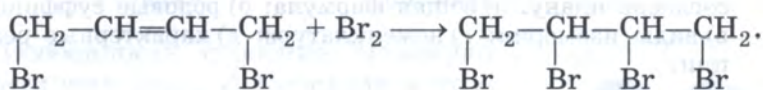
Очевидно, можно ожидать, что алкадиены, подобно алкенам, дадут качественные реакции на двойные связи. Действительно, алкадиены обесцвечивают бромную воду, вступая в реакцию бромирования, которая идет в две стадии. На первой стадии происходит разрыв кратных связей в молекуле бутадиена-1,3 и присоединение атомов брома к крайним атомам углерода при двойных связях (1,4-присоединение). Этот процесс сопровождается образованием двойной связи между центральными атомами углерода:



бутадиен-1,3

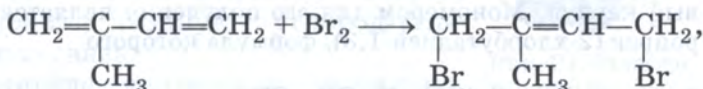
1,4-дибромбутен-2

Образующееся производное бутена способно присоединить еще одну молекулу брома:



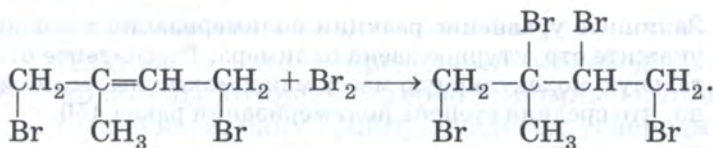
1,2,3,4-тетрабромбутан

Аналогично протекает реакция с бромом и для изопрена:



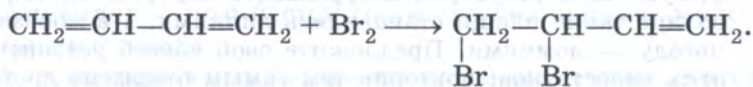
2-метилбутадиен-1,3  
(изопрен)

1,4-дибром-2-метилбутен-2



1,2,3,4-тетрабром-2-метилбутан

У сопряженных алкадиенов кроме 1,4-присоединения протекает также реакция 1,2-присоединения:



бутадиен-1,3



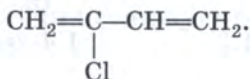
Именно возможность реализации двух направлений этой реакции и является главной особенностью сопряженных алкадиенов, как класса органических соединений.

Кроме алкадиенов, такую же общую формулу  $C_nH_{2n-2}$  имеют углеводороды еще одного класса, которому будет посвящен следующий параграф.

1. Алкадиены (диеновые углеводороды). 2. Синтетические каучуки. 3. Резина, эбонит. 4. Химические свойства алкадиенов.

?

- 1 Какие вещества называют алкадиенами?
- 2 Дайте характеристику гомологического ряда алкадиенов согласно плану: а) общая формула; б) родовые суффиксы; в) виды изомерии; г) номенклатура; д) характерные реакции.
- 3 Напишите уравнение реакции получения бутадиена-1,3 из бутана.
- 4 Для изготовления резиновых изделий, не набухающих в бензине и других нефтепродуктах, используют хлоропреновый каучук. Мономером для его получения является хлоропрен (2-хлорбутадиен-1,3), формула которого



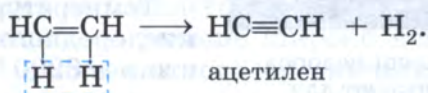
Запишите уравнение реакции полимеризации хлоропрена, укажите структурное звено полимера. Рассчитайте относительную молекулярную массу макромолекулы, если известно, что средняя степень полимеризации равна 450.

- 5 В начале XIX в. в Англии стали модными плащи из водонепроницаемой ткани, называемые макинтошами. Это название они получили в честь английского химика и изобретателя Ч. Макинтоша, предложившего пропитывать плащевую ткань раствором натурального каучука. Однако на солнце такие плащи становились липкими, а в морозную погоду — ломкими. Предложите свой способ устранения этих недостатков, повторив тем самым открытие другого выдающегося англичанина — Ч. Гудьера.

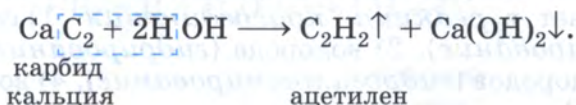
## § 6

# Алкины. Ацетилен

Как вы уже знаете, ацетилен — продукт неполного разложения метана. Этот процесс называют *пиролизом* (от греч. *пир* — огонь, *лизис* — разложение). Теоретически ацетилен можно представить как продукт дегидрирования этилена:



На практике ацетилен, кроме пиролизного способа, очень часто получают из карбида кальция:



Особенность строения молекулы ацетилена (рис. 21) состоит в том, что между атомами углерода имеется тройная связь, т. е. он является еще более неопредельным соединением, чем этилен, молекула которого содержит двойную углерод-углеродную связь.

Ацетилен является родоначальником гомологического ряда алкинов, или ацетиленовых углеводородов.

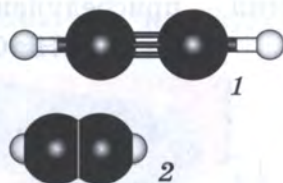
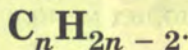


Рис. 21. Модели молекулы ацетилена: 1 — шаростержневая; 2 — масштабная

**Алкины** — это неопредельные углеводороды, молекулы которых содержат, помимо одинарных связей, одну тройную углерод-углеродную связь. Состав их отражает общая формула



Ацетилен — это бесцветный газ без запаха, малорастворимый в воде.

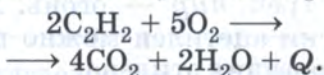
Рассмотрим химические свойства ацетилена, которые лежат в основе его применения.





**Рис. 22.** Ацетиленокислородное пламя используют для резки и сварки металла

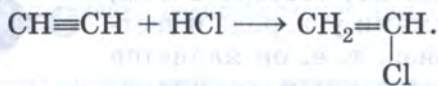
Ацетилен на воздухе горит коптящим пламенем из-за высокого содержания углерода в его молекуле, поэтому для сжигания ацетилена используют кислород:



Температура ацетиленокислородного пламени достигает  $3200^\circ\text{C}$ . Таким пламенем можно резать и сваривать металлы (рис. 22).

Как и все непредельные соединения, ацетилен активно вступает в реакции присоединения: 1) галогенов (галогенирование), 2) водорода (гидрирование), 3) галогеноводородов (гидрогалогенирование), 4) воды (гидратация).

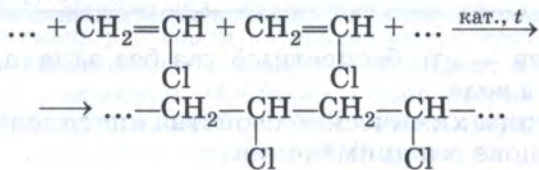
Рассмотрим, например, реакцию гидрохлорирования — присоединения хлороводорода:



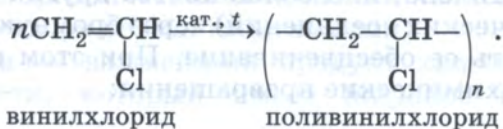
хлорэтен  
(винилхлорид)

Почему продукт гидрохлорирования ацетилена называют хлорэтен, вам понятно. А почему — винилхлоридом? Потому что одновалентный радикал этилена  $\text{CH}_2=\text{CH}-$  называют *винилом*. Винилхлорид — это исходное соединение для получения полимера — поливинилхлорида, который находит широкое применение (рис. 23). В настоящее время винилхлорид получают не гидрохлорированием ацетилена, а другими способами.

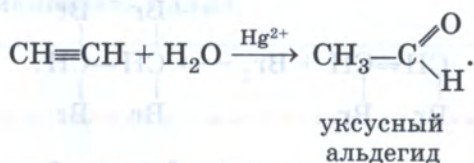
Поливинилхлорид получают с помощью уже знакомой вам реакции полимеризации. Полимеризация винилхлорида в поливинилхлорид может быть описана с помощью следующей схемы:



или уравнения реакции:



Реакция гидратации, протекающая в присутствии солей ртути, содержащих катион  $\text{Hg}^{2+}$ , в качестве катализатора, носит имя выдающегося русского химика-органика М. Г. Кучерова и раньше широко использовалась для получения очень важного органического соединения — уксусного альдегида:



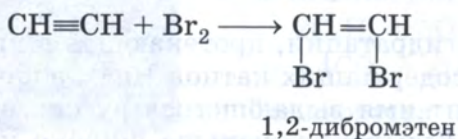
Реакцию присоединения брома — бромирование — используют как качественную реакцию на кратную



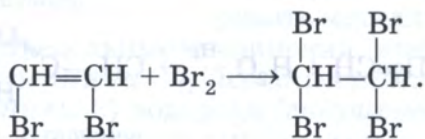
Рис. 23. Применение поливинилхлорида: 1 — искусственная кожа; 2 — изолента; 3 — изоляция проводов; 4 — трубы; 5 — линолеум; 6 — клеенка



(двойную или тройную) связь. При пропускании ацетилена (или этилена, или большинства других непредельных органических соединений) через бромную воду можно наблюдать ее обесцвечивание. При этом происходят следующие химические превращения:



и далее:



1,1,2,2-тетрабромэтан



Рис. 24. Применение ацетилена: 1 — резка и сварка металлов; 2—4 — производство органических соединений (растворителей 2, поливинилхлорида 3, клея 4)

Еще одной качественной реакцией на ацетилен и непредельные органические соединения является обесцвечивание раствора перманганата калия.

Ацетилен — важнейший продукт химической промышленности, который имеет широкое применение (рис. 24).

1. Алкины. 2. Ацетилен. 3. Химические свойства ацетилена: горение, присоединение галогеноводородов, воды (реакция Кучерова), галогенов. 4. Поливинилхлорид. 5. Качественные реакции на кратную связь: обесцвечивание бромной воды и раствора перманганата калия.

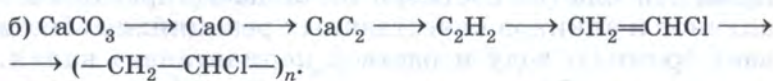
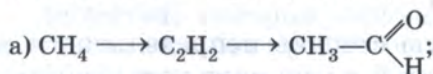


1 Назовите способы получения ацетилена. Запишите уравнения соответствующих реакций.

2 Назовите две качественные реакции, с помощью которых можно обнаружить непредельный характер органического соединения.

3 Рассчитайте объем ацетилена, который может быть получен из 128 г карбида кальция, содержащего 5% примесей, если выход ацетилена составляет 80% от теоретически возможного.

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



5 Рассчитайте массовую долю углерода в молекулах: а) этана; б) этилена; в) ацетилена. Каков характер пламени при горении этих веществ?

6 Запишите формулы возможных изомеров 3-метилпентана-1. Дайте названия всех соединений.

7 Вычислите объем кислорода (н. у.), который потребуется для сжигания 56 м<sup>3</sup> смеси этана и ацетилена, если объемная доля последнего составляет в ней 75%.

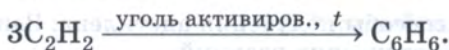


- 8 Назовите область применения реакции горения ацетилена.
- 9 Назовите область применения продукта реакции гидрохлорирования ацетилена.
- 10 Какие свойства ацетилена имеют отношение к строительным профессиям? Почему?
- 11 Рассчитайте количество теплоты, которое выделится при сжигании 30 м<sup>3</sup> ацетилена (н. у.), если термохимическое уравнение реакции его горения



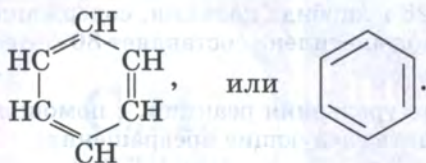
## § 7 Арены. Бензол

Бензол  $\text{C}_6\text{H}_6$  является первым представителем аренов. Его можно получить тримеризацией ацетилена:

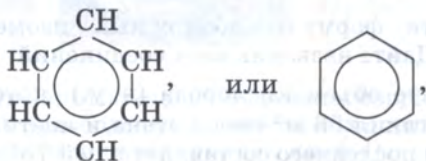


В больших количествах бензол получают переработкой каменного угля.

Ф. Кекуле предложил следующую структурную формулу бензола:



Несмотря на высокую степень неопределенности молекулы бензола (по составу), он не дает характерных для алкенов и алкинов качественных реакций: не обесцвечивает бромную воду и раствор перманганата калия. Это связано с особым строением молекулы бензола, которое в настоящее время показывают следующей структурной формулой:



и подробно изучают в курсе органической химии для школ и классов естественнонаучного профиля. Для вас достаточно иметь общее представление о строении молекулы бензола, которое представлено на рисунке 25.

Бензол — это бесцветная жидкость с резким характерным запахом, легче воды и нерастворима в ней. **Бензол токсичен**, поэтому работа с ним в условиях школы недопустима.

Рассмотрим химические свойства бензола.

Как и все углеводороды, бензол горит:

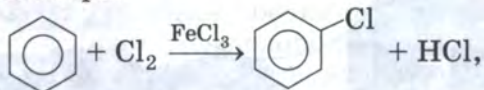


Пламя бензола коптящее из-за высокого содержания углерода в молекуле.

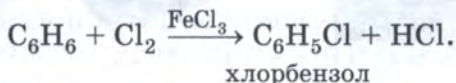
Бензол используют как добавку к моторному топливу, так как он повышает качество бензина. Однако количество добавляемого бензола строго регламентировано из-за его токсичности.

В силу особенностей строения молекулы бензол занимает как бы промежуточное положение между предельными углеводородами (алканами) и непредельными (алкенами), т. е. может вступать как в *реакции замещения*, так и в *реакции присоединения*. Однако, в отличие от алканов, реакции замещения с бензолом протекают легче, а реакции присоединения — труднее, чем у алкенов. Последние мы рассматривать не будем, остановимся лишь на реакциях замещения, так как в результате этих реакций образуются вещества, которые используют для производства практически важных продуктов.

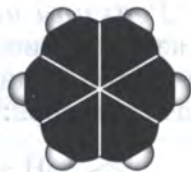
*Реакция хлорирования* бензола протекает в присутствии катализатора:



или



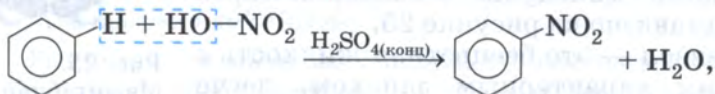
Полученный продукт называют также фенолхлоридом, так как одновалентный радикал  $\text{C}_6\text{H}_5$  — называют *фенилом*.



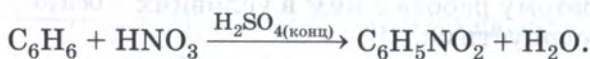
**Рис. 25.**  
Масштабная модель молекулы бензола



**Реакция нитрования** — это взаимодействие бензола с азотной кислотой  $\text{HNO}_3$ . Эта реакция протекает в присутствии концентрированной серной кислоты в качестве катализатора:



или



нитробензол

Полученный продукт называют нитробензолом. Почему нитробензолом? Потому что группу атомов  $-\text{NO}_2$  называют *нитрогруппой*.

Нитробензол — исходное вещество для получения анилина, который будет рассмотрен в § 16.

Области применения бензола показаны на рисунке 26.



**Рис. 26.** Применение бензола: 1 — добавка к бензину; 2 — производство растворителей; 3—7 — производство органических соединений (ацетона 3, анилина 4, пестицидов 5, лекарственных средств 6, фенолоформальдегидных пластмасс 7)

1. Бензол. 2. Получение бензола. 3. Химические свойства бензола: горение, реакции замещения с хлором и азотной кислотой. 4. Применение бензола.



- 1 Как вы думаете, при горении какого углеводорода — бензола или ацетилена — пламя будет более коптящим? Почему? Ответ подтвердите расчетами.
- 2 Перечислите области применения бензола.
- 3 Рассчитайте количество вещества ацетилена, который потребуется для получения 400 мл бензола (плотность 0,8 г/мл).
- 4 Запишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить следующие превращения:  
а) метан  $\rightarrow$  ацетилен  $\rightarrow$  бензол  $\rightarrow$  хлорбензол;  
б) карбонат кальция  $\rightarrow$  оксид кальция  $\rightarrow$  карбид кальция  $\rightarrow$  ацетилен  $\rightarrow$  бензол  $\rightarrow$  нитробензол.
- 5 Бензол является прекрасным растворителем органических веществ и входит в состав многих бытовых препаратов-растворителей, например в состав «Сольвента», где его содержание составляет 25%. Рассчитайте массу бензола, которая необходима для изготовления 300 г «Сольвента».

## § 8 Нефть и способы ее переработки

**Нефть** — природная смесь углеводородов, в основном алканов линейного и разветвленного строения, содержащих в молекулах от 5 и более атомов углерода, с другими органическими соединениями, прежде всего полиароматическими углеводородами (т. е. углеводородами, в молекулах которых содержится несколько соединенных между собой бензольных колец).

Газообразные и твердые компоненты нефти растворены в ее жидких составляющих, что и определяет ее агрегатное состояние.

Нефть — это черная, а иногда темно-коричневая или бурая густая маслянистая (по-английски нефть так и называется *oil* — масло) жидкость со своеобразным



запахом. Нефть нерастворима в воде. Плотность у нее меньше, чем у воды, поэтому, попадая в воду, нефть растекается по поверхности, препятствуя растворению кислорода и других компонентов воздуха в воде. Поэтому в случае аварий перевозящих нефть судов (танкеров) разливы нефти вызывают гибель микроорганизмов и других водных обитателей, приводя к экологическим катастрофам (рис. 27).

Существуют бактерии, способные использовать компоненты нефти в качестве пищи, преобразуя ее в безвредные продукты жизнедеятельности. Применение таких культур бактерий является наиболее экологически безопасным и перспективным путем борьбы с загрязнениями окружающей среды нефтью в процессе ее добычи, транспортировки и переработки.

Представляя собой смесь различных веществ, нефть не имеет постоянной температуры кипения. Каждый ее компонент сохраняет в смеси свои индивидуальные свойства, что и позволяет разделить смесь на составляющие. Для этого нефть очищают от механических примесей, серосодержащих органических соединений и подвергают фракционной перегонке, или ректификации.



**Фракционная перегонка, или ректификация,** — это физический способ разделения смеси компонентов, основанный на различии их температур кипения.



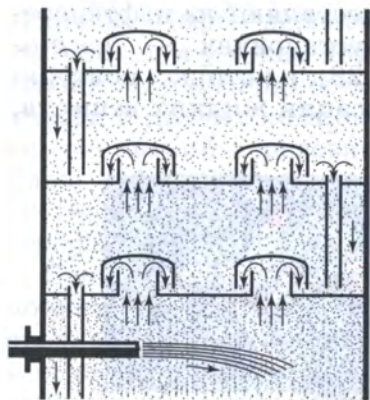
**Рис. 27.** Последствия катастроф, связанных с разливом нефти

Фракционную перегонку осуществляют на нефтеперегонных заводах в специальных установках — *ректификационных колоннах* (рис. 28), в которых повторяются циклы испарения и конденсации жидких веществ, содержащихся в нефти.



Рис. 28. Схема установки (ректификационной колонны) для непрерывной перегонки нефти и области применения нефтепродуктов





**Рис. 29.** Устройство тарелок ректификационной колонны

В ректификационную колонну поступает очищенная нефть, нагретая в трубчатой печи до температуры 320—350 °С.

Ректификационная колонна имеет горизонтальные перегородки с отверстиями — тарелки (рис. 29), на которых происходит конденсация фракций нефти. На высоких тарелках скапливаются более легкокипящие фракции, на нижних — высококипящие. В таком промышленном процессе нефть разделяют на следующие фракции:

- *ректификационные газы* — смесь низкомолекулярных углеводородов, преимущественно пропана и бутана ( $t_{\text{кип}} < 40$  °С);

- *газолиновую фракцию (бензин)* — углеводороды состава от  $C_5H_{12}$  до  $C_{11}H_{24}$  ( $t_{\text{кип}} = 40—200$  °С); при более тонком разделении этой фракции получают *газолин* (петролейный эфир,  $t_{\text{кип}} = 40—70$  °С) и *бензин* ( $t_{\text{кип}} = 70—120$  °С);

- *лигроиновую фракцию* — углеводороды состава от  $C_8H_{18}$  до  $C_{14}H_{30}$  ( $t_{\text{кип}} = 150—250$  °С);

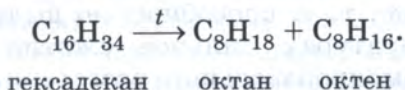
- *керосиновую фракцию (керосин)* — углеводороды состава от  $C_{12}H_{26}$  до  $C_{18}H_{38}$  ( $t_{\text{кип}} = 180—300$  °С);

- *дизельное топливо* — углеводороды состава от  $C_{13}H_{28}$  до  $C_{19}H_{36}$  ( $t_{\text{кип}} = 200—360$  °С).

Остаток перегонки нефти — *мазут* содержит углеводороды состава от  $C_{15}H_{32}$  до  $C_{50}H_{102}$ . Перегонкой при пониженном давлении из мазута получают *соляровое масло* ( $C_{18}H_{38}—C_{25}H_{52}$ ), *смазочные масла* ( $C_{28}H_{58}—C_{38}H_{78}$ ), *вазелин* и *парафин* — легкоплавкие смеси твердых углеводородов. Твердый остаток перегонки мазута — *гудрон* и продукты его переработки — *битум* и *асфальт* используют для изготовления дорожных покрытий.

Наиболее ценная фракция перегонки нефти — это *бензин*, который применяется главным образом как топливо для автомобильных и авиационных двигателей внутреннего сгорания. Однако в процессе ректификации его выход составляет не более 18—20% от массы сырой нефти. Значительно больше получается лигроиновой и керосиновой фракций, в которых содержатся углеводороды, имеющие в среднем в два раза более длинную углеродную цепь, чем в бензине.

Возможно ли из керосина получить бензин? Для этого необходимо разорвать длинные молекулы углеводородов пополам. Способ осуществления такого химического превращения предложил в 1891 г. русский инженер В. Г. Шухов. При нагревании углеводородов керосиновой фракции до температуры 500—600 °С молекула алкана разрывается примерно пополам, образуя два углеводорода с более короткой углеродной цепочкой, например:



Один из продуктов реакции — октан — это углеводород бензиновой фракции.

Второму продукту реакции расщепления до состояния насыщенности не хватает двух атомов водорода. Следовательно, октен относится к непредельным углеводородам.

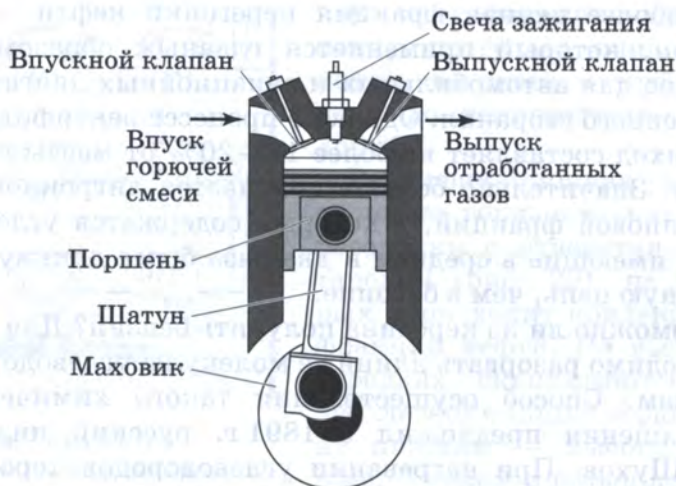
Описанный процесс с конца XIX в. стал широко внедряться в промышленность и получил очень точное название — *крекинг* (от англ. *crack* — расщеплять).



**Крекинг** — процесс термического расщепления углеводородов.

Крекинг, проведенный в присутствии катализаторов, называют каталитическим. Он приводит к получению бензина высокого качества.





**Рис. 30.** Схема двигателя внутреннего сгорания

Качество бензина определяется его *детонационной устойчивостью*, т. е. способностью выдерживать при высоких температурах сильное сжатие в цилиндре двигателя без самопроизвольного возгорания.

В двигателях внутреннего сгорания воспламенение горючего происходит от запальной свечи, дающей искру в момент наибольшего сжатия поршнем смеси газов (рис. 30). Однако при сжатии смеси паров бензина и воздуха углеводороды нормального строения образуют вещества, вызывающие преждевременное воспламенение, что приводит к быстрому износу двигателя. Это явление называют *детонацией*.

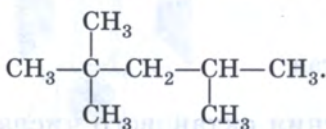
Способность предельных углеводородов к детонации зависит от строения алкана. Так, углеводороды разветвленного и циклического строения способны выдерживать более высокую степень сжатия по сравнению с линейными молекулами.

Количественным показателем качества бензина является его *октановое число*. За начало отсчета в октановой шкале принята детонационная устойчивость гептана нормального строения (октановое число 0), а за 100 — октановое число изооктана. Октановое число бензина, например АИ-92, показывает, что данное горючее имеет





- 3 Как утечки нефти при ее добыче и транспортировке влияют на состояние окружающей среды? Приведите примеры последних сообщений из средств массовой информации о катастрофах, связанных с разливами нефти.
- 4 Каков состав нефти? Какие физические свойства компонентов нефти лежат в основе ее перегонки?
- 5 Что такое бензины; октановое число? Как его повышают?
- 6 Назовите по международной номенклатуре изооктан



- 7 Запишите уравнения реакций крекинга эйкозана  $\text{C}_{20}\text{H}_{42}$  до углеводородов бензиновой фракции.
- 8 Как связана ваша будущая профессия (например, экономист, юрист, эколог, геолог, инженер) с добычей и переработкой углеводородного сырья?
- 9 Как связана повседневная жизнь человека с добычей и переработкой углеводородного сырья и мировыми ценами на нефть?

## Глава вторая

# Кислород- и азотсодержащие органические соединения и их природные источники

### § 9 Единство химической организации живых организмов на Земле. Спирты

В составе веществ, образующих клетки всех живых организмов (бактерий, растений, животных, человека), обнаружено более 70 химических элементов. Их принято делить на две большие группы: макро- и микроэлементы.

*Макроэлементы* содержатся в клетках в больших количествах. Это углерод, водород, кислород и азот, которые в сумме составляют 98% всего содержимого клетки. К макроэлементам также относят магний, калий, кальций, натрий, фосфор, серу и хлор. Суммарное содержание их в клетке составляет 1,9%. Таким образом, на долю всех остальных элементов приходится около 0,1%. Эти элементы называют *микроэлементами*. К ним относятся железо, цинк, марганец, бор, медь, кобальт, иод, бром, фтор и др.

Как можно отметить, в клетках живых организмов, в том числе и человека (рис. 31), нет каких-либо особых химических элементов, характерных только для живой природы, т. е. **на атомном уровне различий между живой и неживой природой нет**. Эти различия начинаются лишь на уровне сложных веществ — **на молекулярном уровне**. Так, наряду с неорганическими веществами (водой и минеральными солями) клетки живых организмов содержат вещества, характерные только для них, — органические вещества (белки, жиры, углеводы, нуклеиновые кислоты, витамины, гормоны и др.).



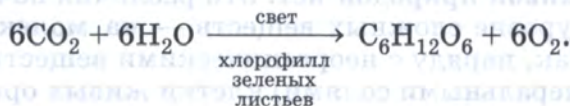


Рис. 31. Элементный состав тела человека

Относительный состав клеток живых организмов обобщенно можно представить так: вода — 70—80%, минеральные соли — 1, белки — 10—20, нуклеиновые кислоты — 1—6, жиры — 1—5, углеводы — 1—2%.

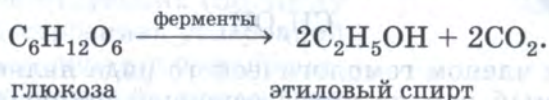
В то время как неорганические вещества встречаются и в неживой природе, органические соединения характерны только для живых организмов, долгое время служивших единственным источником их получения.

Основу цепочки природных взаимопревращений органических веществ, в состав молекул которых входит кислород, т. е. **кислородсодержащих органических соединений**, составляет уже знакомая вам реакция фотосинтеза:



Растворы, содержащие углеводы (например, глюкозу), под действием особых веществ природного проис-

хождения — ферментов — превращаются в этиловый спирт. Такой процесс называют спиртовым брожением:



Получение этилового спирта — одна из древнейших химических реакций, открытых и используемых человечеством.

Со спиртами мы уже встречались не раз. Впервые вы познакомились с ними при изучении алкенов. Этиловый спирт  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  — это продукт реакции гидратации этилена, а также исходное вещество для лабораторного способа получения этилена реакцией дегидратации. При изучении этилена вы познакомились еще с одним представителем спиртов — двухатомным спиртом этиленгликолем  $\text{HOCH}_2\text{—CH}_2\text{OH}$ , образующимся в результате окисления этилена раствором перманганата калия.

Нетрудно заметить, что особенность химического строения спиртов заключается в наличии в составе их молекулы особой *функциональной группы* атомов — *гидроксильной группы* —ОН.

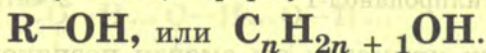


**Функциональной** называют группу атомов, которая определяет наиболее характерные свойства вещества и его принадлежность к определенному классу соединений.

Число гидроксильных групп в молекуле спирта определяет его атомность. Знакомство со спиртами мы начнем с простейших — с предельных одноатомных спиртов, или алканолов.

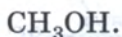


**Предельными одноатомными спиртами** или **алканолами** называют органические соединения, в молекулах которых алкильный радикал (R) связан с гидроксильной группой. Состав их соответствует общей формуле





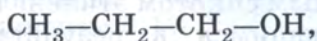
Начинает гомологический ряд предельных одноатомных спиртов метиловый спирт, или метанол,



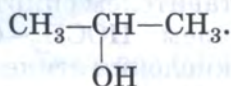
Вторым членом гомологического ряда является хорошо знакомый вам из курса основной школы этиловый спирт, или этанол,



Формуле третьего члена гомологического ряда алканолов  $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$  будут соответствовать уже два пропиловых спирта, или пропанола. Дело в том, что, начиная со спиртов этого состава, появляется еще один вид изомерии, который называют *изомерией положения функциональной группы*. Формулы изомерных пропиловых спиртов:



пропанол-1



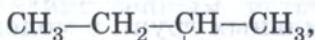
пропанол-2

Как вы помните, пропанол-2 можно получить гидратацией пропена, которая протекает в соответствии с правилом Марковникова.

Спирты состава  $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$  существуют уже в виде четырех изомеров, различающихся не только *положением функциональной группы*:

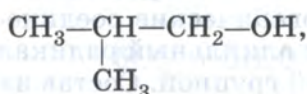


бутанол-1

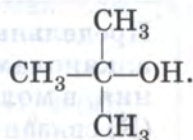


ОН  
бутанол-2

но и строением *углеродного скелета*:



2-метилпропанол-1



2-метилпропанол-2

На этих примерах вы смогли познакомиться со способами образования названий предельных одноатомных

спиртов. Названия одноатомных спиртов образуются от названий соответствующих (по числу атомов и строению углеродной цепи) углеводородов с прибавлением суффикса *-ол*. Положение гидроксильной группы в главной цепи молекулы указывают цифрой после суффикса *-ол*.

Отметим, что для спиртов характерен еще один вид изомерии, с которым вы уже встречались, — *межклассовая изомерия*: предельные одноатомные спирты изомерны простым эфирам. Например, изомерны этиловый спирт  $C_2H_5OH$  и диметиловый эфир  $CH_3-O-CH_3$ . Именно этот пример мы приводили в § 2.

Так как с представителями простых эфиров, как учащиеся непрофильных классов, вы больше не встретитесь, подчеркнем, что их состав может быть отражен общей формулой  $R-O-R'$ .

Уже первые члены гомологического ряда предельных одноатомных спиртов, несмотря на небольшие значения относительных молекулярных масс, представляют собой жидкости. Это объясняется образованием между молекулами особой химической *водородной связи*.

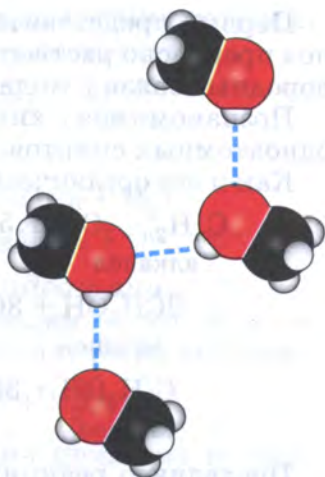
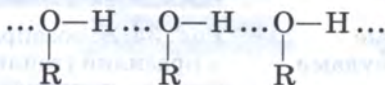


Рис. 32. Водородные связи между молекулами метанола



Связь между атомом водорода одной молекулы (или ее части) и атомом сильно электроотрицательных элементов (фтора, кислорода, азота) другой молекулы (или ее части) называют **водородной**.

За счет водородной связи молекулы низших спиртов ассоциированы в жидкости (рис. 32):

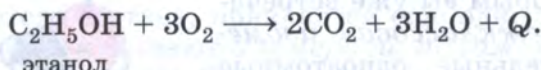
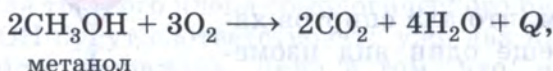
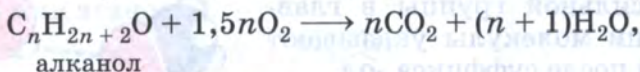




Первые представители гомологического ряда алканолов прекрасно растворяются в воде, так как образуют водородные связи с молекулами воды (рис. 33).

Познакомимся с химическими свойствами предельных одноатомных спиртов.

Как и все органические соединения, спирты горят:



Последнюю реакцию применяют не только в хорошо известных вам спиртовках, но также и в двигателях внутреннего сгорания. На рисунке 34 изображена автозаправочная станция в Бразилии, которая предлагает в качестве топлива на выбор бензин, смесь бензина с этиловым спиртом и просто этиловый спирт с добавкой метанола, чтобы водители его не пили. Машины с двигателями, работающими на этаноле, используются в Бразилии уже более 10 лет.

Наличие в молекулах спиртов гидроксильной группы определяет общие свойства представителей этого класса соединений.



Рис. 33. Водородные связи между молекулами воды и метанола

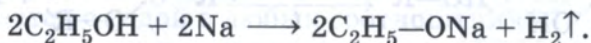


Рис. 34. Автозаправочная станция в Бразилии (топливо — смесь бензина и этанола)

Спирты взаимодействуют с металлическим натрием, образуя соли с общим названием — алкоголяты:



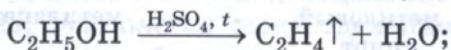
Например,



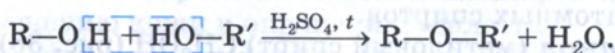
этилат натрия

Спирты вступают в *реакцию дегидратации*:

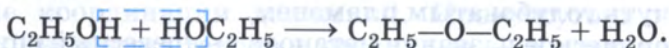
а) внутримолекулярная дегидратация — это хорошо знакомый вам лабораторный способ получения этилена:



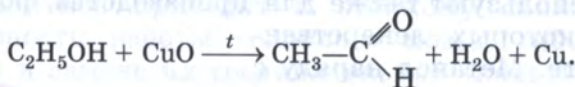
б) межмолекулярная дегидратация приводит к образованию уже знакомых вам простых эфиров:



Например,



Оксидом меди (II) спирты окисляются в соответствующие альдегиды (рис. 35):



этанол

этаналь  
(уксусный альдегид)

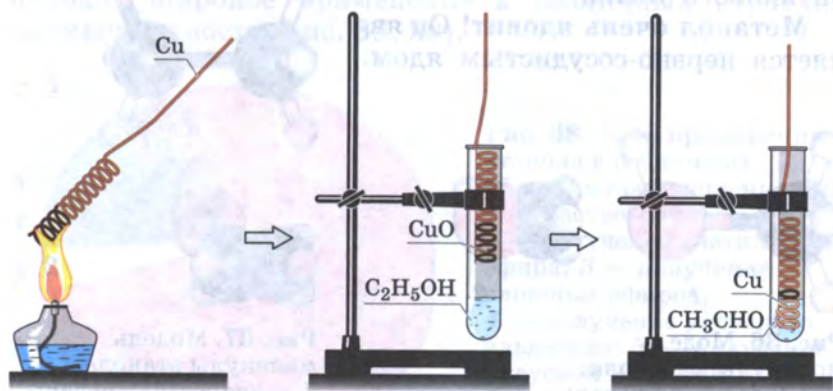
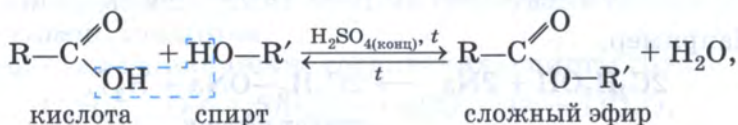


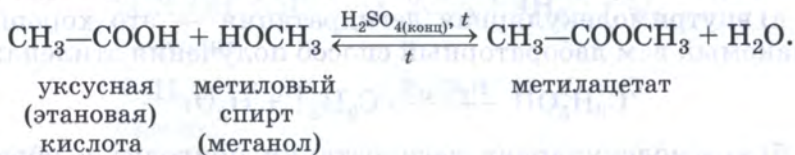
Рис. 35. Окисление этанола до этанала



С карбоновыми кислотами спирты вступают в *реакцию этерификации*, образуя при этом *сложные эфиры*, с которыми вы будете подробно знакомиться в § 13:



например,



Рассмотрим отдельных представителей одноатомных и многоатомных спиртов.

**Метанол** (метиловый спирт)  $\text{CH}_3\text{OH}$  (рис. 36) — бесцветная жидкость с характерным запахом,  $t_{\text{кип}} = 64,7^\circ\text{C}$ , горит чуть голубоватым пламенем.

Историческое название метанола — древесный спирт — объясняется одним из старых способов его получения — перегонкой дерева. Метанол — прекрасный растворитель, его используют также для производства формальдегида, некоторых лекарственных веществ. Метанол наряду с этанолом можно добавлять в моторное топливо для увеличения октанового числа.

**Метанол очень ядовит!** Он является нервно-сосудистым ядом.

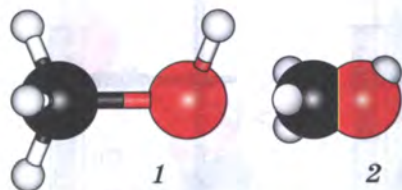


Рис. 36. Модель молекулы метанола:  
1 — шаростержневая;  
2 — масштабная

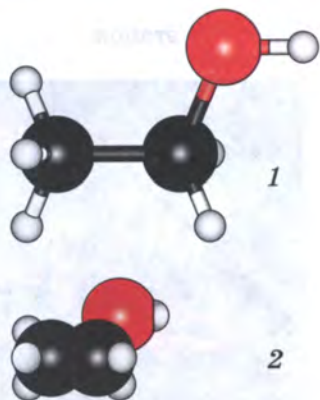


Рис. 37. Модель молекулы этанола:  
1 — шаростержневая;  
2 — масштабная

При попадании в организм от 5 до 10 мл этого вещества наступает паралич зрения вследствие поражения сетчатки глаз, доза в 30 мл и более вызывает смерть.

**Этанол** (этиловый спирт)  $C_2H_5OH$  (рис. 37) — бесцветная жидкость с характерным запахом,  $t_{кип} = 78,3^\circ C$ , смешивается с водой в любых соотношениях.

При попадании в организм человека этилового спирта происходит снижение болевой чувствительности и блокировка процессов торможения в коре головного мозга — наступает состояние опьянения. На этой стадии действия этанола увеличивается водоотделение в клетках и, следовательно, ускоряется мочеотделение, в результате чего происходит обезвоживание организма. Кроме того, этанол вызывает расширение кровеносных сосудов. Усиление потока крови в кожных капиллярах приводит к покраснению кожи и ощущению теплоты.

В больших количествах этанол угнетает деятельность головного мозга (стадия торможения), вызывает нарушение координации движений. Промежуточный продукт окисления этанола в организме — ацетальдегид — ядовит и вызывает тяжелые отравления. Систематическое употребление этилового спирта и содержащих его напитков приводит к стойкому снижению продуктивности работы головного мозга, гибели клеток печени и замене их соединительной тканью — циррозу печени.

Помимо производства алкогольной продукции, этанол находит широкое применение в различных отраслях промышленности (рис. 38, 39).

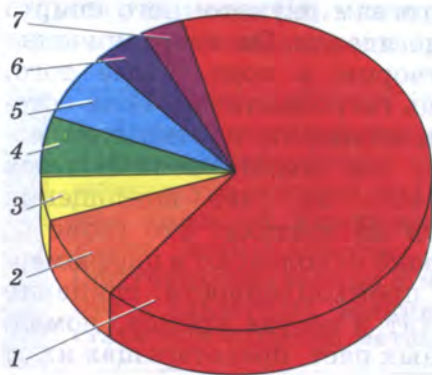


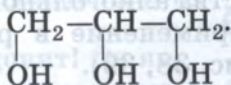
Рис. 38. Доля применения этанола в различных областях промышленности: 1 — растворитель; 2 — получение диэтилового эфира; 3 — получение сложных эфиров; 4 — получение уксусного альдегида; 5 — получение уксусной кислоты; 6 — горючее для двигателей; 7 — прочее





Рис. 39. Применение этанола: 1 — производство уксусной кислоты; 2 — косметика и парфюмерия; 3 — медицинские препараты; 4 — лекарственные средства; 5 — производство сложных эфиров; 6 — лаки; 7, 8 — синтетические каучуки

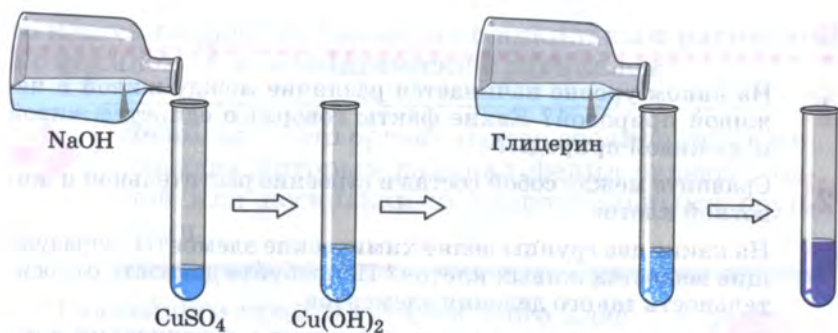
**Глицерин** — это представитель трехатомных спиртов (рис. 40). Его формула



В отличие от уже знакомого вам двухатомного спирта этиленгликоля, глицерин не ядовит. Он неограниченно растворим в воде, более того, очень гигроскопичен. Если оставить глицерин в открытом сосуде, его масса увеличивается до 40% за счет поглощения влаги из воздуха. Это свойство широко используют в парфюмерной промышленности: глицерин входит в состав кремов, помад, зубных паст, предотвращая их от



Рис. 40. Масштабная модель молекулы глицерина



**Рис. 41.** Качественная реакция на многоатомные спирты

высыхания и способствуя увлажнению и смягчению кожи. Глицерин используют как пищевую добавку при изготовлении кондитерских изделий и напитков. При производстве пластмасс глицерин применяют в качестве пластификатора — компонента, придающего материалу гибкость и эластичность. В кожевенном производстве и текстильной промышленности глицерин используют для предохранения кож от высыхания и придания тканям мягкости и шелковистости.

Значительное количество глицерина используют для изготовления взрывчатых веществ, в частности тринитрата глицерина. Несмотря на взрывоопасность этого вещества, в очень малых дозах его применяют в медицине в качестве сосудорасширяющего средства при сердечно-сосудистых заболеваниях.

Качественной реакцией на многоатомные спирты является их взаимодействие со свежеполученным осадком гидроксида меди (II), который растворяется с образованием ярко-синего раствора (рис. 41).

1. Функциональная гидроксильная группа. 2. Предельные одноатомные спирты. 3. Изомерия и номенклатура спиртов. 4. Простые эфиры. 5. Водородная связь. 6. Химические свойства спиртов: горение, взаимодействие с натрием, дегидратация (внутримолекулярная и межмолекулярная), окисление в альдегиды, реакция этерификации. 7. Представители спиртов: метанол, этанол, глицерин.





- 1 На каком уровне начинается различие между живой и неживой природой? Какие факты говорят о единстве живой и неживой природы?
- 2 Сравните между собой состав и строение растительной и животной клеток.
- 3 На какие две группы делят химические элементы, образующие вещества живых клеток? Попробуйте доказать относительность такого деления элементов.
- 4 Какова роль макро- и микроэлементов в организации жизни на нашей планете?
- 5 Какие вещества называют спиртами?
- 6 Как определяют атомность спирта?
- 7 Что такое функциональная группа?
- 8 Какие свойства предельных одноатомных спиртов определяются наличием в их молекуле гидроксильной функциональной группы, а какие — нет?
- 9 Приведите примеры неорганических веществ, между молекулами которых образуется водородная связь.
- 10 Какие свойства метанола и этанола лежат в основе их применения?
- 11 Какие свойства глицерина лежат в основе его применения?
- 12 В трех пробирках находятся бесцветные жидкости: вода, этанол и раствор глицерина. Как их распознать?
- 13 Запишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить следующие превращения:
  - а) этилен  $\longrightarrow$  этанол  $\longrightarrow$  этаналь;
  - б) этанол  $\longrightarrow$  этилен  $\longrightarrow$  этиленгликоль.
- 14 При взаимодействии 3 г предельного одноатомного спирта с необходимым количеством натрия выделилось 0,56 л (н. у.) водорода. Выведите формулу спирта, запишите формулы возможных изомеров и дайте их названия.

## § 10 Фенол

Функциональную гидроксильную группу содержат не только спирты, но и другой класс органических соединений, которые называют *фенолами*. У веществ это-

го класса гидроксил связан не с алкильным радикалом, а с фенолом, т. е. ароматическим радикалом.



**Фенолы** — это органические соединения, в молекулах которых радикал фенил связан с одной или несколькими гидроксильными группами.

Простейшим представителем этого класса органических соединений является фенол  $C_6H_5OH$  (рис. 42).

Фенол раньше получали взаимодействием хлорбензола со щелочью в очень жестких условиях (высокие температура и давление):



В настоящее время одним из важнейших способов получения фенола является прямое окисление бензола.

Одним из основных источников для промышленного получения фенола является каменный уголь.

**Каменный уголь** представляет собой окаменелые останки доисторических растений. Наряду с природным газом и нефтью, он является важнейшим сырьевым источником химических веществ. Запасы каменного угля на планете значительно превышают запасы газа и нефти (рис. 43), поэтому химическое производство, основанное



Рис. 42.  
Масштабная модель молекулы фенола

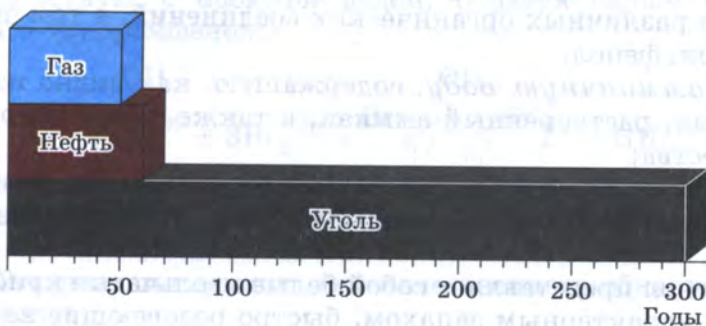


Рис. 43. Расчетное время потребления природных источников углеводородов





**Рис. 44.** Основные продукты коксохимического производства

на переработке угля (коксохимическое производство), имеет большое будущее.

Коксохимическое производство (рис. 44) основано на нагревании каменного угля в специальных установках, называемых коксовыми батареями, без доступа воздуха. В результате коксования, которое проводят при температуре около  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ , получают:

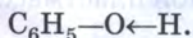
- *кокс* — твердый остаток коксования, практически чистый углерод, используемый в производстве чугуна.
- *каменноугольную смолу*, содержащую несколько сотен различных органических соединений, в том числе бензол, фенол;
- *аммиачную воду*, содержащую, как видно из названия, растворенный аммиак, а также фенол и другие вещества;
- *кокс* — твердый остаток коксования, практически чистый углерод, используемый в производстве чугуна.

Фенол представляет собой белые игольчатые кристаллы с характерным запахом, быстро розовеющие на воздухе в результате окисления. Он малорастворим в холодной воде, но неограниченно — в горячей.

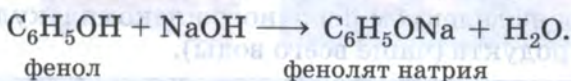
До сих пор используют исторически сложившееся название этого вещества — карболовая кислота.

Химические свойства фенола обусловлены сочетанием двух фрагментов в составе его молекулы: ароматического углеводородного радикала фенила и гидроксильной группы. Свойства фенола являются яркой иллюстрацией положения теории строения органических соединений о взаимном влиянии атомов в молекулах.

Влияние фенила на гидроксил заключается в том, что он еще более поляризует ковалентную связь между атомами кислорода и водорода в гидроксиде. Атом водорода при этом становится более подвижным по сравнению со спиртами, что обуславливает кислотные свойства фенола (отсюда и название — карболовая кислота):



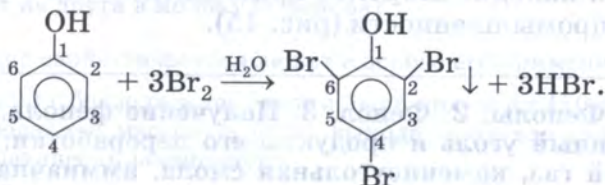
Поэтому, в отличие от спиртов, фенол вступает в реакцию нейтрализации со щелочами, например:



Подобно алкоголям, фенолят натрия может быть получен и при взаимодействии фенола с металлическим натрием:



Влияние гидроксила на фенил состоит в том, что он делает атомы водорода в положениях 2, 4 и 6 более подвижными, и потому фенол, в отличие от бензола, взаимодействует с бромной водой, образуя белый осадок 2,4,6-трибромфенол:

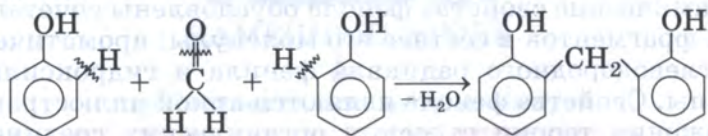


Эта реакция служит для качественного обнаружения фенола.

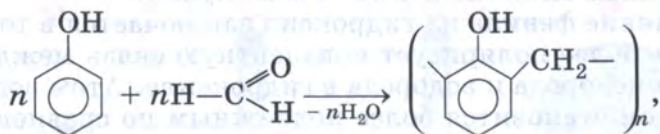
Из-за подвижности атомов водорода в положениях 2 и 6 фенол способен вступать в реакцию поликонденсации



с формальдегидом с образованием фенолоформальдегидной смолы:



или



которая является основой для производства ценнейшей фенолоформальдегидной пластмассы.



**Реакция поликонденсации** — это процесс образования полимера, который сопровождается выделением побочного низкомолекулярного продукта (чаще всего воды).

Фенолоформальдегидную смолу широко используют для производства древесностружечных плит (ДСП), фанеры, электротехнических приборов, бытовых предметов. Мебель, изготовленная из ДСП, выделяет в атмосферу квартир и домов немалое количество фенола, который очень вреден для здоровья, поэтому комнаты с такой мебелью надо проветривать, а лучше — дать отстояться новой мебели в нежилом помещении с открытым окном.

Фенол находит широкое применение в различных отраслях промышленности (рис. 45).

1. Фенолы. 2. Фенол. 3. Получение фенола. 4. Каменный уголь и продукты его переработки: коксовый газ, каменноугольная смола, аммиачная вода и кокс. 5. Коксохимическое производство. 6. Свойства фенола: взаимодействие со щелочами, металлическим натрием, бромной водой, формальдегидом. 7. Реакция поликонденсации. 8. Фенолоформальдегидная смола.



Рис. 45. Применение фенола: 1—5 — фенолоформальдегидная смола (линолеум 1, синтетические волокна 2, ДСП 3, мебель 4, клеи 5); 6, 7 — получение органических соединений (пестициды 6, лекарственные средства 7)

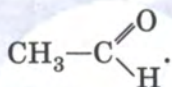
?

- 1 Какие вещества называют фенолами?
- 2 Почему фенол называют также карболовой кислотой?
- 3 В чем проявляется взаимное влияние фенила и гидроксила друг на друга в молекуле фенола?
- 4 Какие свойства фенола лежат в основе его применения?
- 5 Из 390 г бензола в две стадии было получено 410 г фенола. Определите массовую долю выхода продукта реакции от теоретически возможного.
- 6 При взаимодействии фенола с бромной водой образуется нерастворимый в воде 2,4,6-трибромфенол (качественная реакция на фенол). При действии избытка бромной воды на 240 г водного раствора фенола получено 8,45 г осадка. Рассчитайте массовую долю фенола в исходном растворе.

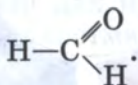


## § 11 Альдегиды и кетоны

С альдегидами вы встречались не раз. Так, при рассмотрении реакции гидратации ацетилена (реакции Кучерова) вы познакомились с уксусным альдегидом, или ацетальдегидом,



При рассмотрении реакции окисления метанола на медном катализаторе вы узнали формулу муравьиного альдегида

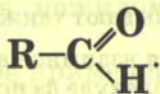


Следовательно, функциональная группа, определяющая принадлежность вещества к классу альдегидов, —

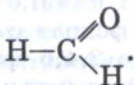
это *альдегидная группа*  $-\text{C} \begin{array}{l} \text{=O} \\ \text{H} \end{array}$ , которая является частным случаем функциональной *карбонильной группы*  $>\text{C}=\text{O}$ .



**Альдегиды** — это органические соединения, молекулы которых содержат карбонильную группу  $>\text{C}=\text{O}$ , связанную с атомом водорода и углеводородным радикалом. Их состав соответствует общей формуле



Под это определение не подпадает родоначальник гомологического ряда альдегидов — формальдегид, или муравьиный альдегид, или метаналь:



В его молекуле карбонильная группа связана с двумя атомами водорода.





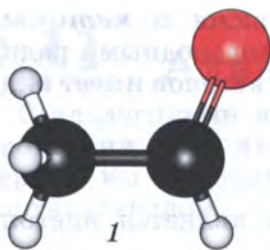
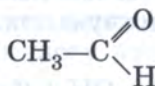


Рис. 48. Модель молекулы уксусного альдегида (этаналь):  
1 — шаростержневая;  
2 — масштабная

в воде, очень ядовит. Метаналь применяют для производства фенолоформальдегидных пластмасс и многих лекарственных препаратов, например уротропина. Иногда спрессованный в виде брикетов уротропин применяют в качестве горючего (сухой спирт).

Раствор формальдегида в воде называют формалином, его используют для хранения биопрепаратов, протравливания семян перед посевом, дубления кож.

**Уксусный альдегид** (этаналь, ацетальдегид)

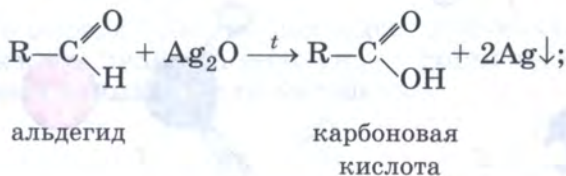


(рис. 48) — летучая жидкость, хорошо растворимая в воде, с характерным запахом. Основное количество получаемого в промышленности ацетальдегида используют для производства уксусной кислоты, а также различных пластмасс и ацетатного волокна. **Уксусный альдегид ядовит!**

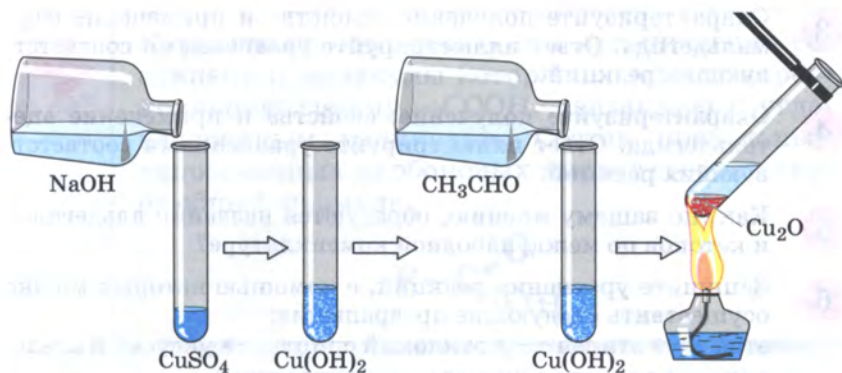
Химические свойства альдегидов обусловлены присутствием в молекуле альдегидной группы.

Альдегиды легко окисляются в соответствующие карбоновые кислоты, на чем основаны две качественные реакции:

1) реакция «серебряного зеркала» — с аммиачным раствором оксида серебра:

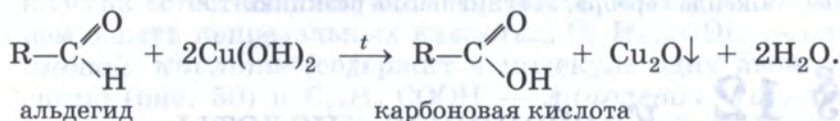


2) реакция со свежеполученным осадком гидроксида меди (II) при нагревании — цвет содержимого пробирки

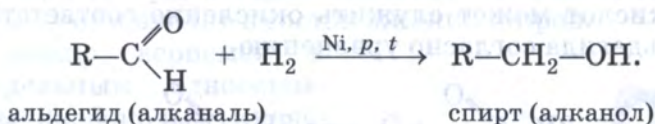


**Рис. 49.** Качественная реакция альдегида с гидроксидом меди (II)

изменяется на кирпично-красный из-за образовавшегося в результате ее оксида меди (I) (рис. 49):



Альдегиды восстанавливаются в соответствующие спирты — гидрируются:



1. Альдегиды и кетоны. 2. Ацетон. 3. Получение альдегидов: окисление спиртов. 4. Формальдегид. 5. Уксусный альдегид. 6. Химические свойства альдегидов: качественные реакции (реакция «серебряного зеркала» и взаимодействие с гидроксидом меди (II) при нагревании), гидрирование.

?

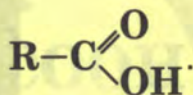
- 1 Какие вещества называют альдегидами, а какие — кетонами? Что общего между этими классами органических соединений?
- 2 Являются ли альдегиды и кетоны межклассовыми изомерами? Аргументируйте свой вывод примерами.





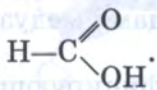


**Карбоновые кислоты** — это органические соединения, молекулы которых содержат карбоксильную группу —COOH, связанную с углеводородным радикалом. Состав предельных одноосновных карбоновых кислот соответствует общей формуле



Класс карбоновых кислот чрезвычайно многообразен. В него входят одно-, двух- и многоосновные кислоты, непредельные и ароматические. Но эти подклассы карбоновых кислот являются предметом изучения в школах и классах естественнонаучного профиля. Мы лишь упомянем о двух непредельных кислотах:  $C_{17}H_{33}COOH$  — *олеиновой кислоте* (содержит в молекуле одну двойную связь) (рис. 50) и  $C_{17}H_{31}COOH$  — *линолевой кислоте* (содержит в молекуле две двойные связи). Эти кислоты называют жирными, и теперь, очевидно, вам стало понятно, почему мы обращаем ваше внимание на эти кислоты — они входят в состав жидких жиров.

Однако вернемся к предельным одноосновным карбоновым кислотам. Начинает гомологический ряд этих кислот соединение, которое не полностью отвечает приведенному выше определению, — *муравьиная*, или *метановая*, *кислота*

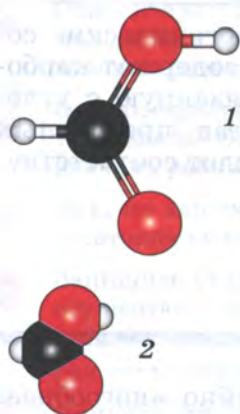


Как видно, карбоксил в ее молекуле связан не с углеводородным радика-



Рис. 50. Масштабная модель молекулы олеиновой кислоты





**Рис. 51.** Модель молекулы муравьиной (метановой) кислоты:  
1 — шаростержневая;  
2 — масштабная



**Рис. 52.** Муравьиную кислоту содержит жалящая жидкость:  
1 — медузы; 2 — крапивы;  
3 — муравьев

лом, а с атомом водорода, как и карбонил в муравьином альдегиде (рис. 51).

Очевидно, что названия кислот и соответствующих им альдегидов идентичны.

То, что строение муравьиной кислоты отличается от строения молекул других одноосновных карбоновых кислот, обуславливает и особенности ее химических свойств. Она вступает в реакцию «серебряного зеркала» подобно альдегидам, так как ее молекула представляет собой синтез двух функциональных групп: карбонильной и карбоксильной.

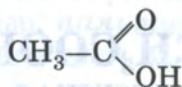
Муравьиная кислота — это жидкость с резким запахом ( $t_{\text{кип}} = 100,8 \text{ }^\circ\text{C}$ ), хорошо растворимая в воде. **Муравьиная кислота ядовита! При попадании на кожу она вызывает ожоги.** Жалящая жидкость, выделяемая муравьями, крапивой, некоторыми видами медуз, содержит эту кислоту (рис. 52).

Муравьиная кислота обладает дезинфицирующим действием и поэтому находит применение в пищевой, кожной и фармацевтической промышленности, а также в медицине. Кроме этого, ее используют при крашении тканей и бумаги (рис. 53).



Рис. 53. Применение муравьиной кислоты: 1 — кожевенная промышленность; 2 — крашение тканей; 3 — медицина

### *Уксусная, или этановая, кислота*



(рис. 54) — это бесцветная жидкость с характерным резким запахом, смешивается с водой в любых отношении-

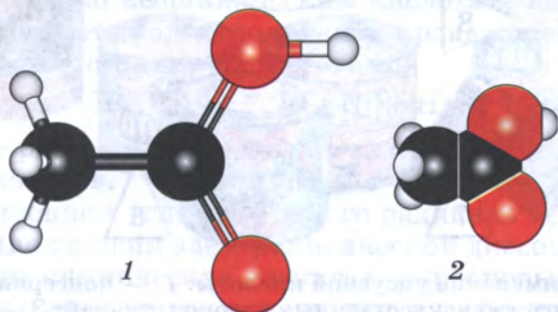


Рис. 54. Модель молекулы уксусной (этановой) кислоты: 1 — шаростержневая; 2 — масштабная



ях. Водные растворы уксусной кислоты поступают в продажу под названием «столовый уксус» (3—5%-й раствор), «уксусная эссенция» (70—80%-й раствор) и широко используются в пищевой промышленности. Уксусная кислота — хороший растворитель многих органических соединений, применяется при крашении, в кожевенном производстве, лакокрасочной промышленности (рис. 55). Кроме этого, уксусная кислота является исходным сырьем для производства многих важных в техническом отношении органических соединений: искусственных волокон, ядохимикатов, кино- и фотопленок и т. д. Уксусная кислота чрезвычайно опасна при попадании на кожу, поэтому необходимо соблюдать меры безопасности при работе с уксусной эссенцией.

С увеличением относительной молекулярной массы в гомологическом ряду предельных одноосновных кар-



**Рис. 55.** Применение уксусной кислоты: 1 — консервирование; 2 — производство искусственных волокон, тканей; 3 — приправа к пище; 4—8 — производство органических соединений (пестицидов 4, лаков 5, красок 6, фотопленки 7, клея 8)

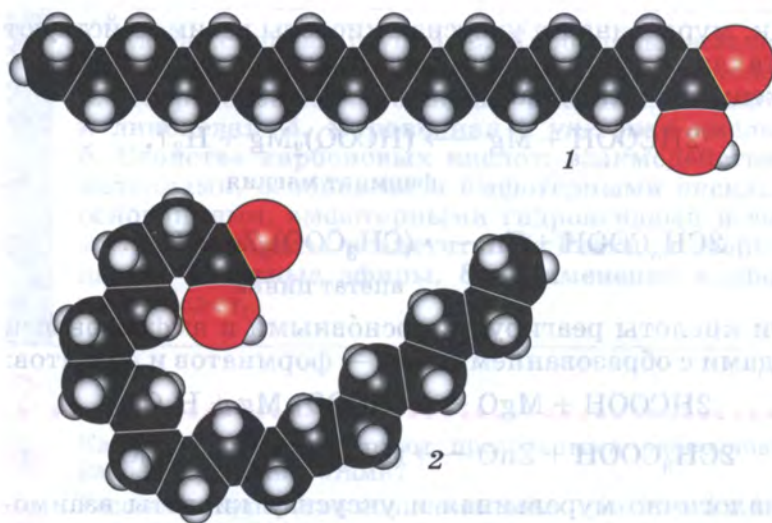


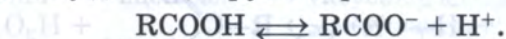
Рис. 56. Масштабные модели молекул:

1 — пальмитиновой кислоты; 2 — стеариновой кислоты

боновых кислот увеличиваются их плотность, температуры кипения и плавления, уменьшается растворимость в воде.

Высшие карбоновые кислоты, также называемые жирными (догадались почему), являются твердыми веществами. Это, например, *пальмитиновая*  $C_{15}H_{31}COOH$  (рис. 56, 1) и *стеариновая*  $C_{17}H_{35}COOH$  кислоты (рис. 56, 2).

Химические свойства карбоновых кислот определяются в первую очередь их принадлежностью к типу кислот вообще. Подобно неорганическим кислотам, карбоновые кислоты являются электролитами, правда очень слабыми, а потому диссоциируют обратимо:



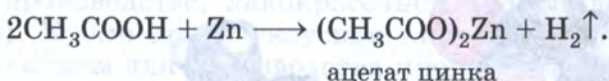
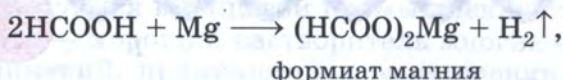
Водные растворы карбоновых кислот изменяют окраску индикаторов.

С увеличением углеводородного радикала происходит уменьшение степени электролитической диссоциации.

Как и неорганические кислоты, карбоновые взаимодействуют с металлами, основными и амфотерными оксидами, основаниями, амфотерными гидроксидами и солями.



Так, муравьиная и уксусная кислоты взаимодействуют с металлами, стоящими в электрохимическом ряду напряжений до водорода:



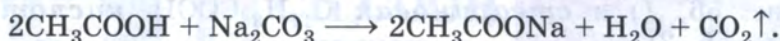
Эти кислоты реагируют с основными и амфотерными оксидами с образованием солей — формиатов и ацетатов:



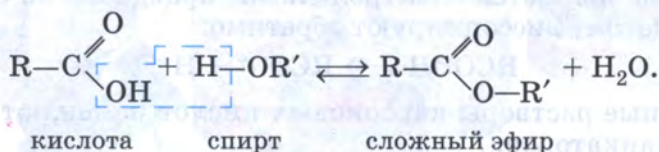
Аналогично муравьиная и уксусная кислоты взаимодействуют с основаниями и амфотерными гидроксидами:



Взаимодействуют эти кислоты с солями более слабых кислот. Реакции идут до конца, если образуется осадок или газ:



Органические кислоты, как вы уже знаете, вступают в реакцию этерификации со спиртами, образуя сложные эфиры, согласно уравнению



Например:



уксусная  
кислота

этиловый  
спирт

этиловый эфир  
уксусной кислоты  
(этилацетат)

1. Карбоксильная группа. 2. Карбоновые кислоты. Предельные одноосновные карбоновые кислоты. 3. Непредельные карбоновые кислоты: олеиновая и линолевая. 4. Муравьиная и уксусная кислоты. 5. Свойства карбоновых кислот: взаимодействие с металлами, основными и амфотерными оксидами, основаниями, амфотерными гидроксидами и солями. 6. Формиаты и ацетаты. 7. Реакция этерификации. Сложные эфиры. 8. Применение карбоновых кислот.

?

1 Какие вещества называют предельными одноосновными карбоновыми кислотами?

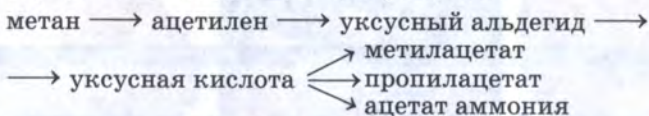
2 Рассмотрите переход количественных изменений в качественные на примере изменения физических свойств карбоновых кислот в гомологическом ряду.

3 Какие свойства являются общими для неорганических и карбоновых кислот? Подтвердите свой ответ уравнениями реакций.

4 В какие реакции могут вступать олеиновая и линолевая кислоты как непредельные органические соединения? Как называют эти реакции? Запишите их уравнения.

5 Структурную формулу муравьиной кислоты можно записать и таким образом  $\text{HO}-\text{C} \begin{array}{l} \text{=O} \\ \text{H} \end{array}$ . Следовательно, эта кислота будет являться веществом с двойственной функцией. Как можно назвать ее? Какую реакцию, нехарактерную для других кислот, даст муравьиная кислота?

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



7 Какое вещество вызывает жалающее действие крапивы и стрекательных клеток медуз? Как снять боль от ожогов, вызванных выделениями этих организмов?

8 В уксусной кислоте растворили 250 г известняка, содержащего 20% примесей, и получили при этом 33,6 л (н. у.) углекислого газа. Какую объемную долю составляет выход углекислого газа от теоретически возможного?

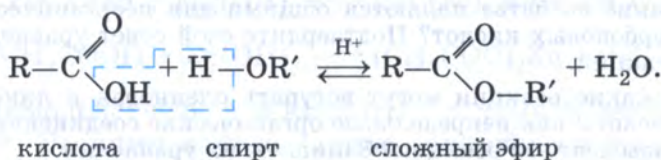


9 Царица Клеопатра по совету придворного медика растворила в уксусе самую крупную из известных ювелирам жемчужину, а затем принимала полученный раствор в течение некоторого времени. Какую реакцию осуществила Клеопатра? Какое соединение она принимала?

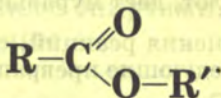
10 На нейтрализацию 10,6 г смеси растворов муравьиной и уксусной кислот затратили 200 г 4% -го раствора гидроксида натрия. Рассчитайте массовые доли кислот в исходной смеси.

## § 13 Сложные эфиры. Жиры. Мыла

Как вы уже знаете, общим способом получения сложных эфиров является процесс, называемый реакцией этерификации. Еще раз напомним, как записывают уравнение этой реакции в общем виде:



➔ Сложными эфирами называют производные карбоновых кислот, в которых атом водорода карбоксильной группы замещен на углеводородный радикал. Их состав соответствует общей формуле



Эта реакция обратима. Продукты реакции могут взаимодействовать друг с другом с образованием исходных веществ — спирта и кислоты. Таким образом, реакция сложных эфиров с водой — гидролиз сложного эфира — обратна реакции этерификации. Химическое равновесие, устанавливающееся при равенстве скоростей прямой (этерификации) и обратной (гидролиз) реакций, мо-

жет быть смещено в сторону образования эфира с помощью водоотнимающих средств, например с помощью концентрированной серной кислоты, а в сторону гидролиза сложного эфира — в присутствии щелочи.

Сложные эфиры широко распространены в природе. Специфический аромат ягод, плодов и фруктов в значительной степени обусловлен представителями этого класса органических соединений (рис. 57).

Сложные эфиры жирных кислот и спиртов с длинными углеводородными радикалами называют **восками**.

Сложные эфиры находят широкое применение в технике и различных отраслях промышленности. Они являются хорошими растворителями органических соединений. Их плотность меньше плотности воды, и они практически не растворяются в ней. Так, сложные эфиры с относительно небольшой молекулярной массой представляют собой легковоспламеняющиеся жидкости с невысокими температурами кипения, имеют запахи различных фруктов. Их применяют как растворители лаков

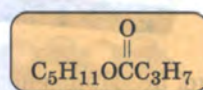
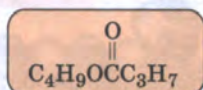
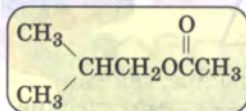
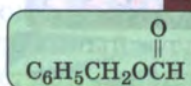


Рис. 57. Сложные эфиры в природе



и красок, ароматизаторы изделий пищевой промышленности (рис. 58).

Важнейшими представителями природных сложных эфиров являются жиры (рис. 59).



**Жиры** — это сложные эфиры трехатомного спирта глицерина и высших карбоновых кислот.

Состав и строение жиров могут быть отражены общей формулой

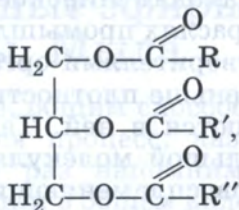


Рис. 58. Применение сложных эфиров: 1 — лекарственные средства; 2, 3 — парфюмерия и косметика; 4 — синтетические и искусственные волокна; 5 — лаки; 6 — производство напитков и кондитерских изделий



Рис. 59. Жиры

где  $R$ ,  $R'$ ,  $R''$  — радикалы, входящие в состав высших карбоновых кислот: масляной ( $-C_3H_7$ ), пальмитиновой ( $-C_{15}H_{31}$ ), стеариновой ( $-C_{17}H_{35}$ ), олеиновой ( $-C_{17}H_{33}$ ), линолевой ( $-C_{17}H_{31}$ ) и др.

В состав жиров могут входить остатки предельных и непредельных кислот, содержащих четное число атомов углерода и неразветвленный углеродный скелет (рис. 60). Природные жиры, как правило, являются смешанными сложными эфирами, т. е. их молекулы образованы различными карбоновыми кислотами. Жиры, образованные предельными кислотами (масляной, пальмити-

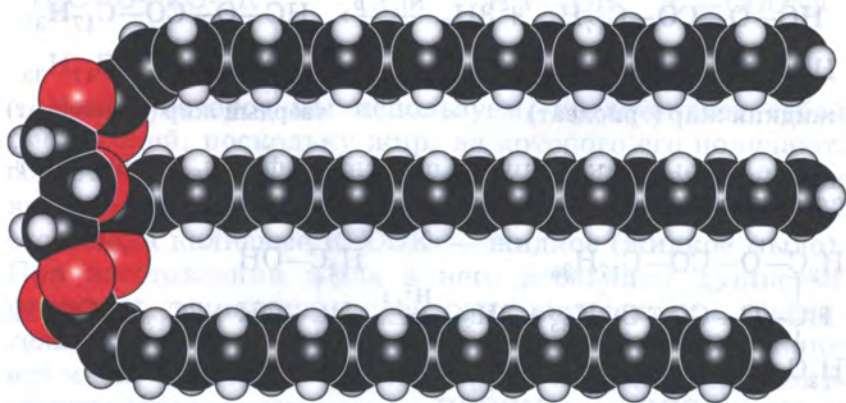


Рис. 60. Масштабная модель молекулы жира (тристеарата)

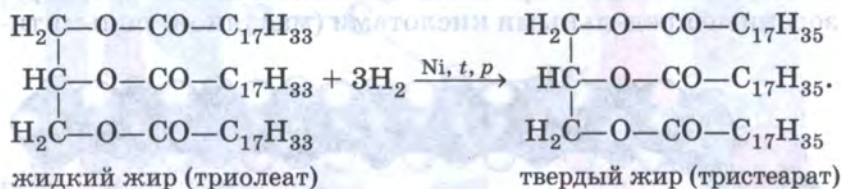


новой, стеариновой и др.), имеют, как правило, твердую консистенцию. Это жиры животного происхождения (исключение составляет жидкий рыбий жир). С увеличением длины углеводородного радикала температура плавления жира увеличивается. Если в составе жира содержатся остатки непредельных кислот (олеиновой и линолевой), они представляют собой вязкие жидкости, которые часто называют маслами. **Масла́** — это жидкие жиры растительного происхождения (исключением является твердое пальмовое масло): льняное, конопляное, подсолнечное, оливковое, соевое, кукурузное и др.

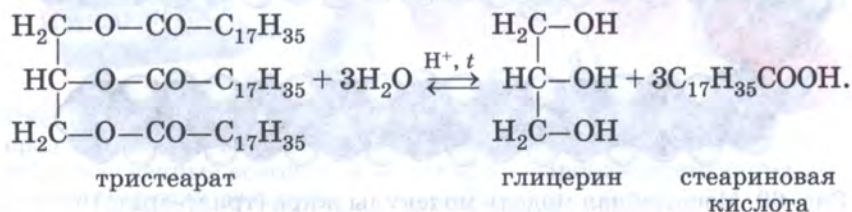
Жиры нерастворимы в воде, но хорошо растворяются в органических растворителях — бензоле, гексане.

Состав жиров определяет их физические и химические свойства. Следует ожидать, что для жиров, содержащих остатки непредельных карбоновых кислот, характерны все реакции этого типа соединений. Они обесцвечивают бромную воду, вступают в другие реакции присоединения. Из них наиболее важная в практическом плане реакция — это гидрирование жиров.

Гидрированием жидких жиров получают твердые сложные эфиры. Именно эта реакция и лежит в основе получения из растительного масла твердого жира — маргарина. Условно этот процесс можно описать уравнением реакции, например:



Все жиры, как и другие сложные эфиры, подвергаются гидролизу. Например:

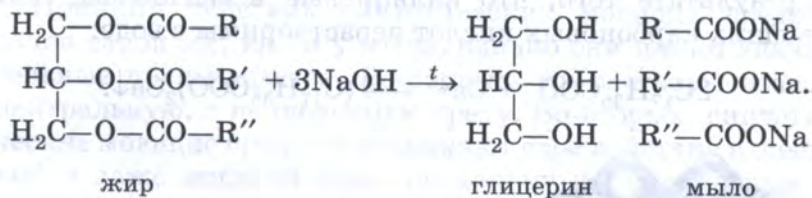


Напомним, что гидролиз сложных эфиров — обратимая реакция. Для смещения равновесия в сторону продуктов гидролиза его проводят в щелочной среде (в присутствии щелочей или карбонатов щелочных металлов, например соды  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). При этом гидролиз протекает необратимо и приводит в результате к образованию не карбоновых кислот, а их солей, которые называют **мылами**.

Поэтому гидролиз жиров в щелочной среде называют **омылением жиров**.

При омылении жиров образуются глицерин и **мыла** — натриевые или калиевые соли высших карбоновых кислот.

Изготовление мыла — один из самых древних химических синтезов. Конечно, этот процесс гораздо «моложе», чем получение этилового спирта. Когда германские племена во времена Цезаря варили козье сало с поташем (техническое название карбоната калия), вымытым из пепла костров, они проводили ту же самую реакцию, которая осуществляется сейчас в грандиозных масштабах современными мыловарами, а именно — щелочной гидролиз жиров (омыление):



Мыло, которое мы используем, представляет собой смесь солей, поскольку жир, из которого его получают, содержит остатки различных кислот. Натриевые соли высших кислот  $\text{RCOONa}$  имеют твердое агрегатное состояние, а калиевые  $\text{RCOOK}$  — жидкое (жидкое мыло). При изготовлении мыла в него добавляют душистые вещества, глицерин, красители, антисептики, растительные экстракты. Однако с химической точки зрения все мыла одинаковы (диссоциируют как сильные электролиты согласно уравнению  $\text{RCOONa} \rightarrow \text{RCOO}^- + \text{Na}^+$ ) и природа их действия во всех случаях одна и та же.



Очищающее действие мыла — сложный процесс. Молекула соли высшей карбоновой кислоты имеет полярную ионную часть ( $-\text{COO}^-\text{Na}^+$ ) и неполярный углеводородный радикал, содержащий 12—18 атомов углерода. Полярная часть молекулы растворима в воде (*гидрофильна*), а неполярная — в жирах и других малополярных веществах (*гидрофобна*) (рис. 61). В обычных условиях частицы жира или масла слипаются между собой, образуя в водной среде отдельную фазу. В присутствии мыла картина резко изменяется. Неполярные концы молекулы мыла погружаются в капли масла, а полярные карбоксилат-анионы остаются в водном растворе. В результате отталкивания одноименных зарядов на поверхности масла оно разбивается на мельчайшие частицы, каждая из которых имеет ионную оболочку из анионов  $-\text{COO}^-$ . Наличие этой оболочки препятствует слиянию частиц, в результате чего образуется устойчивая *эмульсия* масла в воде. Эмульгирование жира, содержащего грязь, обуславливает очищающее действие мыла (рис. 62).

В *жесткой воде*, содержащей ионы  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ , мыло теряет свою мощную способность. Это происходит в результате того, что кальциевые и магниевые соли высших карбоновых кислот нерастворимы в воде:

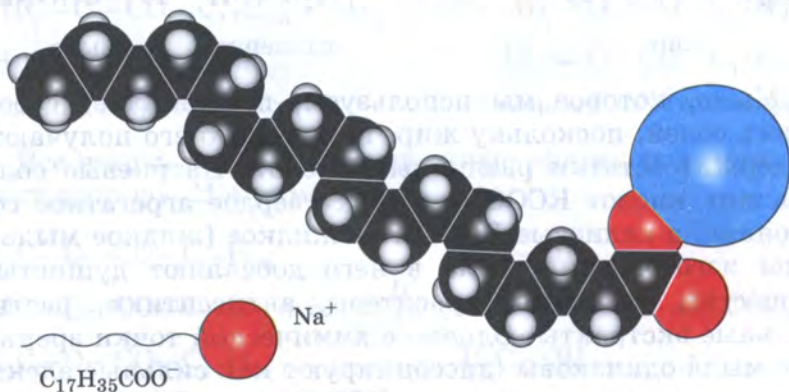
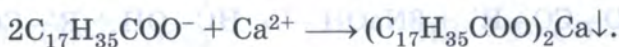
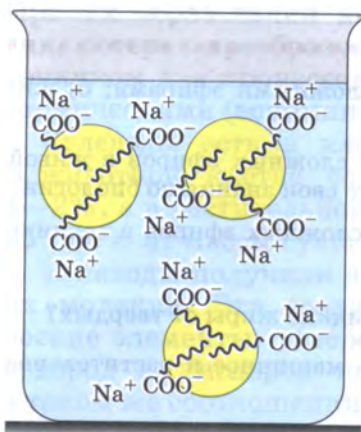


Рис. 61. Модель молекулы стеарата натрия в воде



**Рис. 62.** Эмульгирование масла в воде в присутствии жира



**Рис. 63.** Синтетические моющие средства

Вместо пены в воде образуются хлопья осадка, и мыло расходуется бесполезно.

Этого недостатка лишены *синтетические моющие средства* (рис. 63) — современные стиральные порошки.

Принцип действия синтетических моющих средств точно такой же, как и у мыла, однако они имеют значительные преимущества. Во-первых, их растворы имеют нейтральную, а не щелочную среду. Во-вторых, синтетические моющие средства сохраняют свое действие в жесткой и даже морской воде, поскольку их кальциевые и магниевые соли растворимы. Вместе с тем остатки стиральных порошков в сточных водах очень медленно разлагаются биологическим путем и вызывают загрязнение окружающей среды.

1. Реакция этерификации.
2. Сложные эфиры: нахождение в природе и применение.
3. Жиры.
4. Химические свойства жиров: гидрирование растительных масел, гидролиз, омыление.
5. Мыла.
6. Очищающее действие мыла.
7. Синтетические моющие средства.





- 1 Какие вещества называют: а) сложными эфирами; б) жирами?
- 2 Раскройте биологическую роль сложных эфиров в живой природе. Для ответа используйте свои знания по биологии.
- 3 Назовите области применения сложных эфиров в технике и народном хозяйстве.
- 4 Чем отличаются по строению жидкие жиры от твердых?
- 5 Как опытным путем различить машинное и растительное масла?
- 6 Что такое маргарин? Как его получают?
- 7 Что такое мыла? Как их получают? Почему реакцию щелочного гидролиза жиров называют омылением?
- 8 Чем отличаются натриевые мыла от калиевых?
- 9 Какую воду называют жесткой? Какой вред приносит жесткая вода? Как устранить жесткость воды?
- 10 В чем преимущества синтетических моющих средств (стиральных порошков) перед мылами? В чем их недостатки?
- 11 В результате реакции этерификации из 150 мл безводной уксусной кислоты (плотность 1 г/мл) получили 200 г этилового эфира уксусной кислоты. Рассчитайте массовую долю выхода продукта реакции от теоретически возможного.
- 12 Вычислите массу глицерина, которую можно получить из 17,8 кг природного жира, содержащего 97% тристеарата.

## § 14 Углеводы. Моносахариды

В результате фотосинтеза, как вы знаете, из углекислого газа и воды в зеленых растениях образуется глюкоза  $C_6H_{12}O_6$ . Она относится к классу органических веществ, называемых углеводами.

Углеводы (*сахариды*) представляют собой конечные продукты фотосинтеза и являются исходными веществами для биосинтеза других органических соединений.

При их образовании аккумулируется солнечная энергия, которая преобразуется в химическую и служит источником для процессов биосинтеза, являющихся эндотермическими (вспомните, что это означает).

Углеводы есть в клетках всех живых организмов. В животной клетке содержание углеводов составляет 1—2%, а в растительной достигает в некоторых случаях 85—90% от массы сухого вещества клетки.

Углеводы получили название по элементному составу их молекул. Эти соединения содержат только химические элементы: углерод, водород и кислород, причем водород и кислород находятся в них, как правило, в таком же соотношении, как и в молекуле воды, — 2 : 1. Отсюда и происходит название класса веществ. Состав большинства углеводов соответствует общей формуле  $C_n(H_2O)_m$ .

Много углеводов содержат фрукты и овощи. Так, углеводов является свекловичный или тростниковый сахар. Мед почти целиком состоит из углеводов. К ним относят различные виды крахмала, которые входят в состав картофеля и злаков (пшеница, рис, кукуруза, рожь и др.) (рис. 64). Целлюлоза — углевод, который является основной частью древесины. Широко применяемые в ме-

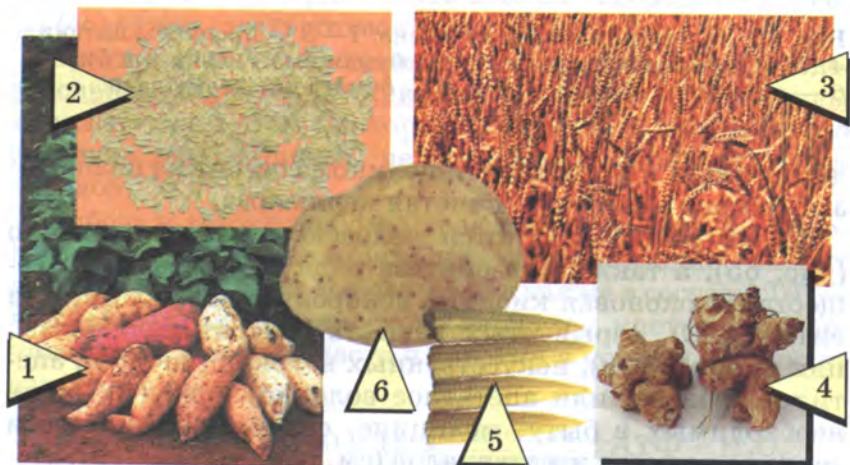


Рис. 64. Растения-крахмалоносы: 1 — батат; 2 — рис; 3 — пшеница; 4 — земляная груша (топинамбур); 5 — кукуруза; 6 — картофель





**Рис. 65.** Углеводы в жизни человека: 1—3 — продукты питания; 4, 5 — волокна и ткани (хлопчатобумажные 4, льняные 5); 6 — изделия из древесины; 7, 8 — бумага и изделия из нее

дицине вата и марля почти целиком состоят из целлюлозы. Бумага — это почти чистая целлюлоза.

Углеводы используются человеком непосредственно (рис. 65), а также для синтеза ряда лекарственных веществ (глюконовая кислота, аскорбиновая кислота, или витамин С), взрывчатых веществ (нитрат целлюлозы, или пироксилин), искусственных волокон (вискоза, ацетилцеллюлоза, или ацетатное волокно) и других столь необходимых в быту, медицине, сельском хозяйстве и технике веществ и материалов (см. рис. 3).

В соответствии с особенностями их строения и свойств углеводы разделяют на три группы: моносахариды, дисахариды и полисахариды (схема 1).



Знакомство с отдельными группами углеводов начнем с моносахаридов.

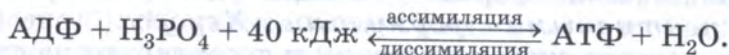


**Моносахариды** — это углеводы, которые не гидролизуются, т. е. не разлагаются водой. В зависимости от числа атомов углерода в молекуле их делят на триозы, тетрозы, пентозы, гексозы и др.

Наибольшее значение имеют пентозы (молекулы этих моносахаридов содержат пять атомов углерода) и гексозы (содержат шесть атомов углерода).

Среди пентоз необходимо назвать рибозу  $C_5H_{10}O_5$  и дезоксирибозу  $C_5H_{10}O_4$  (это рибоза, у которой из молекулы «удален» один атом кислорода). Нетрудно заметить, что формула дезоксирибозы не отвечает общей формуле углеводов.

Рибоза и дезоксирибоза играют важную роль в жизнедеятельности организмов. Они, соответственно, входят в состав РНК и ДНК. Рибоза входит также в состав АТФ — важнейшего энергетического вещества клетки, обеспечивающего обмен веществ и энергии в ней. Он протекает согласно схеме



Глюкоза  $C_6H_{12}O_6$  представляет собой наиболее распространенный и, безусловно, наиболее важный моносахарид — *гексозу*. Она содержится в соке винограда (отсюда

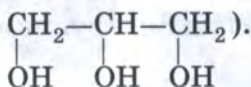


тривиальное название глюкозы — *виноградный сахар*), других ягод и фруктов, является структурным звеном сахарозы, целлюлозы, крахмала. В крови человека (в норме) содержится около 0,1% глюкозы.

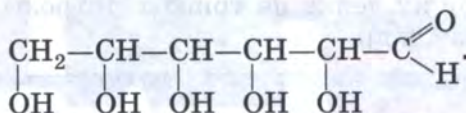
Глюкоза — это белое кристаллическое вещество сладкого вкуса, хорошо растворимое в воде.

Глюкоза может образовывать макромолекулы крахмала, целлюлозы и других полисахаридов.

По химическому строению глюкоза относится к многоатомным спиртам, так как содержит пять гидроксильных групп —ОН (вспомните одноатомный этиловый спирт  $C_2H_5OH$  и трехатомный спирт глицерин



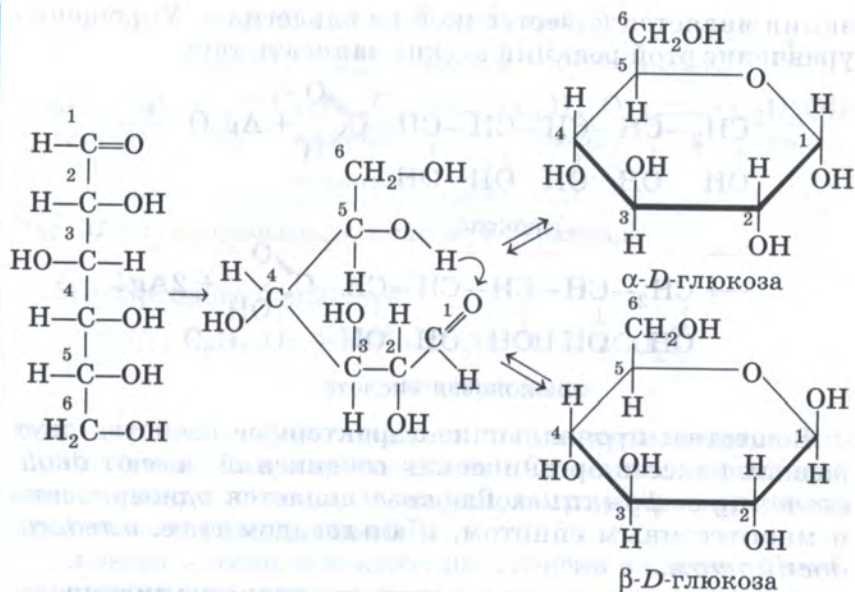
Кроме гидроксильных групп, молекула глюкозы содержит также и карбонильную группу. Структурную формулу глюкозы условно можно записать так:



Предложенная формула не отражает истинного строения молекулы глюкозы. Каково же оно на самом деле?

Благодаря свободному вращению углеродной цепочки относительно простых углерод-углеродных связей, в водном растворе альдегидная группа оказывается сближена с гидроксилом при 5-м атоме углерода. В результате внутримолекулярного присоединения образуются две возможные *циклические формы глюкозы*. Они представляют собой шестичленный цикл, содержащий атом кислорода. В циклических формах глюкозы пять гидроксильных групп, однако гидроксил при С(1), образованный из альдегидной группы цепной формы, имеет особые свойства.

Циклические формы углеводов удобно изображать *перспективными формулами Хеуорса* (рис. 66). Цикл условно считают плоским и проектируют на плоскость листа под некоторым углом, причем атом кислорода изображают на максимальном удалении справа. Ближняя часть кольца изображается снизу и иногда вы-



**Рис. 66.** Взаимопревращения циклической и линейной форм молекул глюкозы

деляется более жирной линией. Атомы или группы атомов в формулах Хеурса располагаются над и под плоскостью цикла.

Циклические формы глюкозы различаются взаимным положением гидроксильной группы при первом и последнем атомах углерода. Если эти группы находятся по разные стороны цикла, такой изомер называют *α-D-глюкоза*, если по одну сторону — *β-D-глюкоза* (или просто *α*- или *β*-глюкоза).

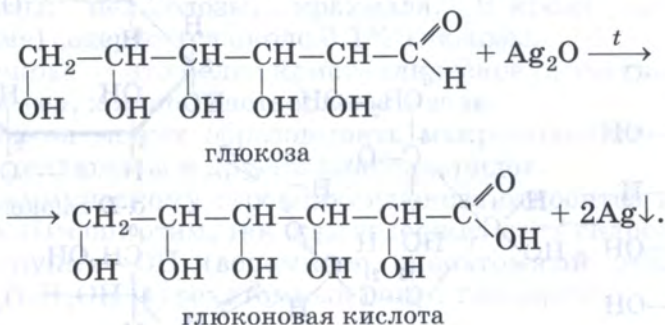
В водном растворе глюкозы присутствуют в равновесии все три формы: цепная и две циклические. В твердом состоянии глюкоза может существовать в одной из двух циклических форм.

Глюкоза, как и многоатомный спирт, как вы знаете, взаимодействует со свежеполученным осадком гидроксида меди (II). При этом осадок растворяется и образуется ярко-синий раствор сахарата меди (II).

Глюкоза также дает одну из красивейших реакций в химии — реакцию «серебряного зеркала» с аммиачным раствором оксида серебра. Как вы знаете из § 11, эта ре-

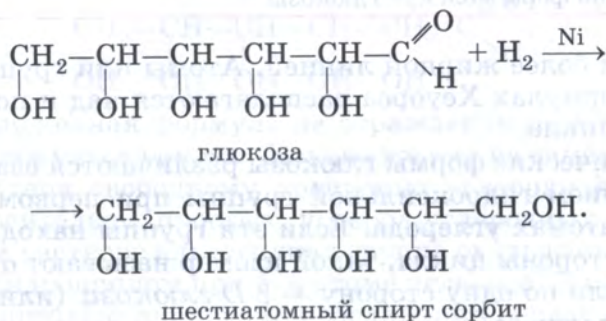


акция является качественной на альдегиды. Упрощенно уравнение этой реакции можно записать так:



Вещества, проявляющие характерные свойства двух разных классов органических соединений, имеют *двойственную функцию*. Глюкоза является одновременно и многоатомным спиртом, и альдегидом, т. е. *альдегидоспиртом*.

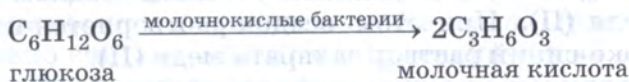
Как альдегид, глюкоза вступает в реакцию гидрирования:



Для глюкозы характерны также *реакции брожения* (превращения одних органических соединений в другие, которые осуществляются под действием ферментов, вырабатываемых микроорганизмами).

Наибольшее значение имеют реакции:

а) молочнокислого брожения:



(эта реакция происходит в процессе квашения капусты, силосования кормов);

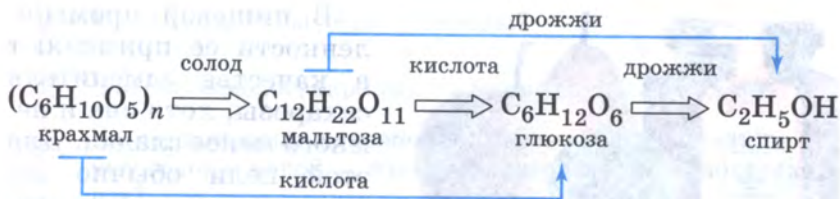
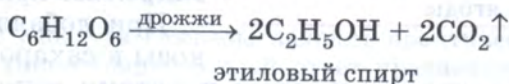


Рис. 67. Схема производства спирта из крахмала

б) спиртового брожения:



(эту реакцию широко применяют для производства этилового спирта и в хлебопечении). Схема получения этилового спирта из глюкозы на основе гидролиза крахмала представлена на рисунке 67.

Глюкоза — основной источник энергии в клетке. Именно поэтому ее широко используют в лечебных целях (применяют внутрь или вводят внутривенно ослабленным больным).

Глюкоза широко используется. Она — исходное вещество для получения различных соединений: этилового спирта, молочной кислоты и др. (рис. 68).



Рис. 68. Применение глюкозы: 1 — производство витамина С (аскорбиновой кислоты); 2, 3 — пищевая промышленность; 4 — получение сорбита





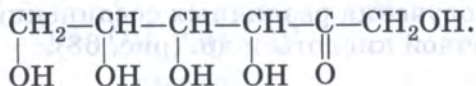
Рис. 69. Фруктоза в природе: мед, фрукты, ягоды

В пищевой промышленности ее применяют в качестве заменителя сахарозы, хотя она и немного менее сладка. Для этой цели обычно используют патоку — сиропообразную массу, получаемую при неполном гидролизе крахмала.

При добавлении глюкозы к сахарозе она препятствует ее кристаллизации и потому используется в кондитерском производстве для получения карамели, мармелада, помадки и т. д.

Как заменитель сахара для людей, страдающих сахарным диабетом, используют продукт восстановления глюкозы — шестиатомный спирт сорбит.

Изомером глюкозы является другой моносахарид — фруктоза  $C_6H_{12}O_6$ , которая также является веществом с двойственной функцией, но уже *кетоспиртом*. Ее формулу можно представить следующим образом:



Фруктозу называют плодовым сахаром. Она наряду с глюкозой встречается в соке ягод и фруктов, составляет основную часть пчелиного меда (рис. 69).

1. Моносахариды. 2. Глюкоза — альдегидоспирт.
3. Химические свойства глюкозы: взаимодействие с гидроксидом меди (II), реакция «серебряного зеркала», гидрирования, реакции брожения.
4. Применение глюкозы. 5. Фруктоза.



1

Какие вещества называют углеводами? Почему? Как этот класс органических соединений иллюстрирует идею взаимосвязи органических и неорганических веществ, т. е. единство химической организации материального мира?


- 2 На какие группы делят углеводы?
- 3 Что такое моносахариды? На какие группы их делят?
- 4 Какие признаки положены в основу классификации всех углеводов и какой — в основу классификации моносахаридов?
- 5 Почему глюкоза относится к веществам с двойственной функцией? Подтвердите этот тезис рассмотрением химических свойств глюкозы.
- 6 Какие свойства глюкозы находят практическое применение? Иллюстрируйте свой ответ уравнениями соответствующих реакций.
- 7 Группу атомов, определяющую наиболее характерные свойства вещества и его принадлежность к определенному классу органических соединений, называют функциональной. В параграфе речь шла о четырех функциональных группах. Каких?
- 8 Кроме глюкозы и фруктозы, имеющих двойственную функцию, в параграфе упоминалось еще одно вещество с такой функцией. Как его называют? Какую формулу оно имеет? Образуйте двойное название, исходя из двойственной функции этого вещества.
- 9 Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить следующие превращения:
- углекислый газ  $\rightarrow$  глюкоза  $\rightarrow$  сорбит;
  - глюкоза  $\rightarrow$  глюконовая кислота  $\rightarrow$  глюконат натрия (натриевая соль глюконовой кислоты);
  - глюкоза  $\rightarrow$  этиловый спирт  $\rightarrow$  этилен
- ↓
- молочная кислота.
- 10 Вычислите объем углекислого газа (н. у.), который может образоваться при спиртовом брожении раствора, содержащего 720 г глюкозы. Рассчитайте массу 96%-го этилового спирта, который можно получить в результате этой реакции с выходом продукта, равным 85% от теоретически возможного.
- 11 К моносахаридам относятся рибоза  $C_5H_{10}O_5$  и дезоксирибоза  $C_5H_{10}O_4$ . Объясните, подчиняется ли формула последнего вещества общей формуле углеводов.



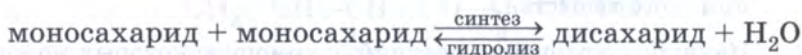
## § 15 Дисахариды и полисахариды

Наряду с моносахаридами в природе широко распространены и *дисахариды*. Это всем хорошо известная *сахароза* (*тростниковый* или *свекловичный сахар*), *лактоза* (*молочный сахар*), *мальтоза* (*солодовый сахар*).

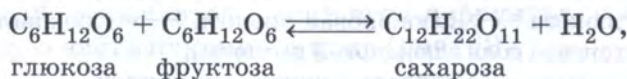
Термин «дисахарид» красноречиво говорит о том, что в молекулах этих органических соединений между собой связаны два остатка моносахаридов, которые можно получить гидролизом (разложением водой) молекулы дисаха­рида.

 **Дисахариды** — это углеводы, которые гидролизуются с образованием двух молекул моносахаридов.

При образовании молекулы дисаха­рида происходит отщепление одной молекулы воды:



или для сахарозы:



поэтому молекулярная формула дисаха­ридов  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ .

Как вы уже знаете, образование наиболее известного дисаха­рида сахарозы происходит в клетках растений под действием ферментов. Однако химики научились осуществлять многие реакции, которые являются частью процессов, происходящих в живой природе. В 1953 г. французским химиком Р. Лемье впервые в лабораторных условиях был осуществлен синтез сахарозы, который современники назвали «покорением Эвереста органической химии».

В промышленности сахарозу получают из сока сахарного тростника (содержание 14—16%), сахарной свеклы

(16—21%) и некоторых других растений, например канадского клена, земляной груши (рис. 70).

Не только сладкоежки, но и любой из вас знает, что сахароза представляет собой кристаллическое хорошо растворимое в воде вещество и имеет сладкий вкус.

*Тростниковый сахар* был известен людям достаточно давно. Родиной сахарного тростника считается Индия. В соке этого растения содержится углевод сахароза, который мы привычно называем *сахаром*. Белые твердые куски, похожие на камни, использовали не только для придания сладкого вкуса пище, но и как лекарственное средство.



Рис. 70. Растения-сахароносы: 1 — земляная груша (топинамбур); 2 — сахарный тростник; 3 — канадский клен; 4 — сахарная свекла




В XII в. сахарный тростник стали возделывать на Сицилии, а в XVI в. он был завезен на Кубу и другие острова Карибского моря.

«Главной сладостью» в европейских государствах с давних времен был мед и продукты на его основе. На первых порах сахар был заморской диковинкой и непозволительной роскошью. Потребность в новом продукте резко возросла, когда в европейских странах в моду вошли чай и кофе. Естественно, стали предприниматься многочисленные попытки получения сахара из растений, произрастающих в более холодных климатических условиях Европы. Таким растением оказалась сахарная свекла.

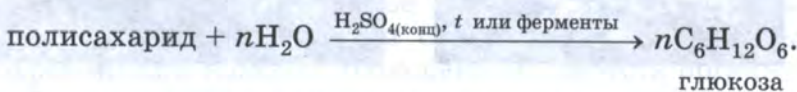
Производство сахара из свеклы связано с именем А. Маргграфта, немецкого химика и металлурга. А. Маргграф был одним из первых исследователей, который применил в химических исследованиях микроскоп, с помощью которого и обнаружил в 1747 г. кристаллы сахара в свекольном соке.

Из молока млекопитающих еще в XVII в. был получен кристаллический *молочный сахар* (лактоза). Лактоза менее сладкий дисахарид, чем сахароза.

А теперь познакомимся с углеводами более сложного строения — полисахаридами. Термин «полисахариды» логично приводит нас к выводу о том, что в молекулах этих углеводов между собой связано множество остатков моносахаридов, в первую очередь глюкозы.

 **Полисахариды** — это углеводы, которые гидролизуются с образованием множества молекул моносахаридов. Их относят к биополимерам.

Общая схема гидролиза полисахаридов упрощенно может быть представлена так:

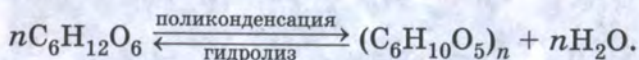


Сравним строение и свойства двух важнейших представителей полисахаридов — крахмала и целлюлозы.

Структурным звеном полимерных цепей этих полисахаридов, формула которых  $(C_6H_{10}O_5)_n$ , являются остатки глюкозы. Чтобы записать состав структурного звена  $(C_6H_{10}O_5)$ , необходимо из формулы глюкозы отнять молекулу воды.

Крахмал и целлюлоза имеют растительное происхождение и образуются из молекул глюкозы в результате реакции *поликонденсации*.

Для полисахаридов уравнение реакции поликонденсации и обратного ей процесса гидролиза условно можно записать так:



Степень полимеризации макромолекул крахмала (число структурных звеньев в макромолекуле полимера, обозначаемое индексом  $n$  в формуле вещества) меньше, чем у целлюлозы.

Молекулы крахмала имеют как линейное, так и разветвленное строение, а целлюлозы — только линейное строение.

В отличие от целлюлозы, крахмал дает синее окрашивание при взаимодействии с иодом (рис. 71). Это качественная реакция на крахмал.

Различны и функции этих полисахаридов в растительной клетке. Крахмал играет роль запасного питательного вещества, а целлюлоза — структурную, строительную. Из целлюлозы построены стенки растительных клеток.



Рис. 71. Качественная реакция на крахмал



Различно также использование целлюлозы (рис. 72) и крахмала (рис. 73) в промышленности. Образующуюся в результате гидролиза крахмала глюкозу применяют для производства медицинского и пищевого этилового спир-



Рис. 72. Применение целлюлозы: 1 — вата, марля и бинты; 2 — пластмасса (целлулоид); 3 — фотопленка; 4 — искусственные волокна и ткани; 5 — клей; 6 — порошок; 7 — эмали и лаки; 8 — бумага и изделия из нее



Рис. 73. Применение крахмала: 1 — получение патоки; 2 — подкрахмаливание белья; 3 — приготовление киселей; 4 — производство этанола; 5 — выпечка кондитерских изделий

та, используемого для приготовления ликероводочных изделий и лекарств. Этиловый спирт, полученный из целлюлозы, называют техническим и используют, например, как растворитель при производстве лакокрасочных материалов или для получения синтетических каучуков.

Технический спирт не предназначен для питья, он опасен для здоровья. Для того чтобы любители спиртного поостереглись применять его вовнутрь, в такой спирт добавляют специальные предупреждающие цветом и запахом добавки. Такой «помеченный» спирт называют денатуратом. *Ежегодно от отравления фальшивой водкой, изготовленной с использованием технического спирта, в стране гибнет 50 000 человек!*

1. Классификация углеводов: моносахариды, дисахариды и полисахариды. 2. Дисахариды: сахароза, лактоза и мальтоза. 3. Полисахариды: крахмал и целлюлоза. 4. Реакция поликонденсации. 5. Качественная реакция на крахмал.





- 1 Какие углеводы называют дисахаридами? Назовите представителей этой группы углеводов. Являются ли они изомерами? Почему?
- 2 Используя дополнительную литературу, подготовьте сообщение о возникновении и развитии производства сахара в России.
- 3 Сравните крахмал и целлюлозу, т. е. назовите признаки общего и отличного в их составе, строении, свойствах и применении.
- 4 Почему гликоген называют животным крахмалом? При ответе на этот вопрос используйте свои знания по курсу биологии.
- 5 Используя знания по курсу биологии, расскажите об углеводном обмене в организме человека.
- 6 Назовите химические термины-антонимы, характеризующие синтез и распад молекул ди- и полисахаридов?
- 7 Гидролизом 250 кг древесных опилок, содержание целлюлозы в которых составляет 45%, было получено 62 кг глюкозы. Определите массовую долю выхода глюкозы от теоретически возможного.

## § 16 Амины. Анилин

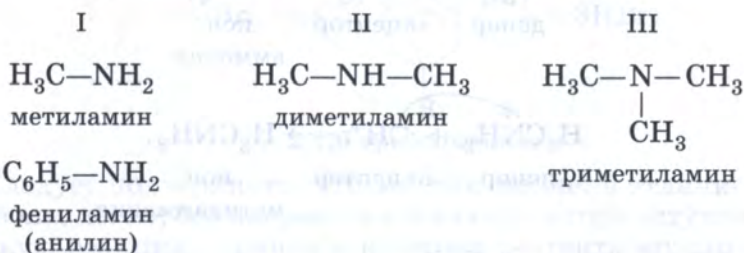
Помимо углерода, водорода и кислорода в состав молекул органических соединений часто входят атомы такого важного биогенного (*био* — жизнь, *геннао* — рождать) элемента, как азот. Именно азотсодержащие органические соединения составляют основу живой природы. Достаточно назвать такие из них, как аминокислоты, белки и нуклеиновые кислоты.

Знакомство с *азотсодержащими органическими соединениями* мы начнем с наиболее простых, а именно — с аминов.



**Амины** — это органические соединения, представляющие собой производные аммиака, в молекуле которого один, два или три атома водорода замещены на углеводородный радикал.

По числу атомов водорода в молекуле аммиака, замещенных на радикалы, различают первичные (I), вторичные (II) и третичные (III) амины, например:



Наибольший интерес представляют первичные амины, в молекуле которых имеется функциональная группа  $-\text{NH}_2$ , называемая **аминогруппой**.

Рассмотрим свойства первичных аминов на примере метиламина и анилина.

**Метиламин**  $\text{CH}_3\text{NH}_2$  (рис. 74) — бесцветный газ с резким аммиачным запахом, хорошо растворим в воде.

В отличие от метиламина, **анилин**  $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$  (рис. 75) представляет собой бесцветную жидкость, быстро темнеющую на воздухе вследствие окисления, в воде малорастворим, имеет неприятный запах и очень ядовит.

Будучи производными аммиака и имея в составе молекулы аминогруппу, амины весьма сходны с ним по своим химическим свойствам. Подобно аммиаку, они способны присоединять катионы водорода по донорно-

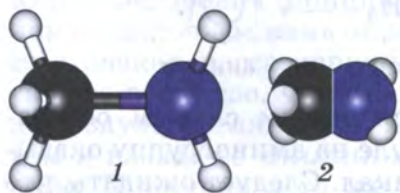


Рис. 74. Модель молекулы метиламина:

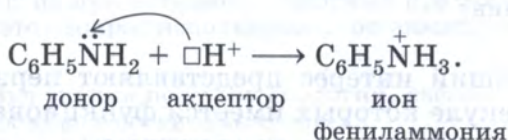
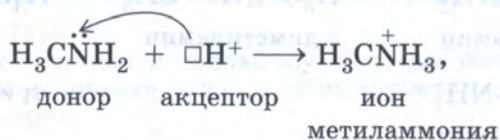
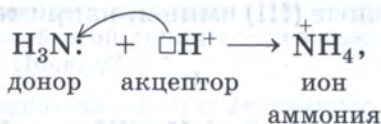
1 — шаростержневая;  
2 — масштабная



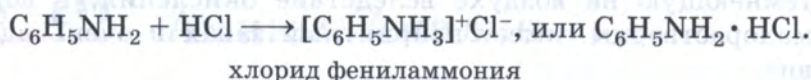
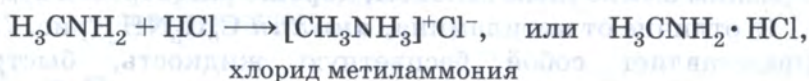
Рис. 75. Масштабная модель молекулы анилина



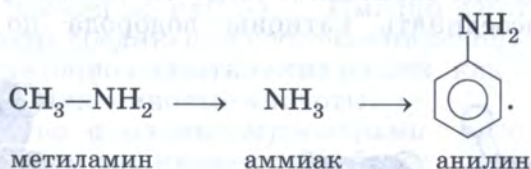
акцепторному механизму за счет свободной электронной пары атома азота:



Таким образом, *амины представляют собой органические основания*. Их характерное химическое свойство заключается во взаимодействии с кислотами с образованием солей:

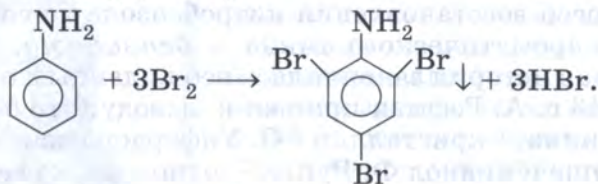


Если сравнить основные свойства аммиака, метиламина и анилина, то их ослабление наблюдается в ряду:



Очевидно, анилин является самым слабым основанием потому, что в его молекуле на аминогруппу оказывает влияние фенильный радикал. Следует ожидать, что и аминогруппа должна оказывать взаимное влияние на фенил в полном соответствии с третьим положением теории химического строения органических соединений. Действительно, анилин, в отличие от бензола, вступает

в реакции бромирования не по одному, а по трем положениям цикла (2, 4 и 6):



2,4,6-триброманилин

Следует подчеркнуть, что анилин также, в отличие от бензола, легко, без нагревания и катализатора вступает в данную реакцию, причем в качестве реагента можно использовать не чистый бром, а бромную воду. Продукт реакции 2,4,6-триброманилин представляет собой белый осадок, поэтому реакция с бромной водой может рассматриваться как *качественная на анилин*, фенол и родственные соединения.

Как и большинство органических веществ, амины горят. При этом образуется не только углекислый газ и вода, но и свободный азот:



Наибольшее практическое значение из первичных аминов имеет **анилин**  $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$ . Познакомимся с ним подробнее.

С древних времен люди использовали природный краситель синего цвета, носящий испанское название *индиго*. Его получали из особых растений, называемых индигоносными. Высокая цена природного красителя побуждала химиков раскрыть тайну строения этого вещества с целью его дальнейшего промышленного синтеза.

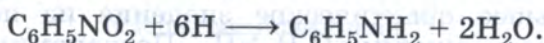
В 1840 г. русский химик немецкого происхождения Юлий Федорович Фрицше обнаружил, что при нагревании со щелочью синяя окраска индиго исчезает и образуется вязкая масса коричневого цвета. Тщательно очистив это вещество, Фрицше получил быстро желтеющую на воздухе маслянистую жидкость с характерным запахом и назвал ее *анилином* (от арабского *an-nil* — синий). Примерно в то же время О. Унфердорбен нагреванием кристаллического индиго получил продукт, названный им *кристаллином*. Незадолго до этого немецкий химик Фридрих Фердинанд Рунге в продуктах перегонки каменноугольной смолы открыл вещество,



описанное им под названием *кианол*. В 1841 г. выдающийся русский химик Николай Николаевич Зинин открыл способ восстановления нитробензола до соответствующего ароматического амина — *бензидама*. Вся эта запутанная история закончилась неожиданным открытием: в 1843 г. А. Гофман пришел к выводу, что бензидам Н. Н. Зинина, кристаллин О. Унфердорбена, анилин Ю. Фрицше и кианол Ф. Рунге — одно и то же вещество. Химики остановились на одном из названий — анилин.

Современное производство многочисленных красителей основано на широком использовании производных анилина, поэтому такие красители называют анилиновыми. Кроме производства красителей, анилин широко используют для получения лекарств (сульфаниламидных препаратов), полимерных материалов (анилиноформальдегидных смол) и другой продукции химических производств (рис. 76).

Получение анилина в промышленных масштабах связано с именем выдающегося русского химика-органика Н. Н. Зинина. В основе этого процесса лежит восстановление нитробензола. Условно *реакцию Зинина* можно записать следующим образом:



Реакция Зинина дала мощный толчок развитию ряда важнейших отраслей органического синтеза, в частности анилинокрасочной и фармацевтической промышленности. Современник Н. Н. Зинина, А. Гофман, сам внесший огромный вклад в химию азотсодержащих соединений,

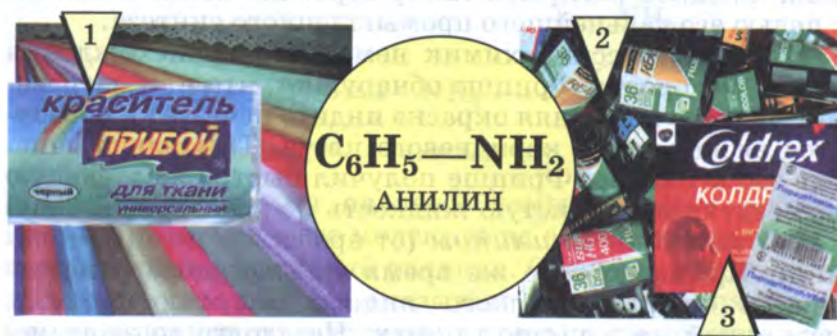


Рис. 76. Анилин применяется в производстве: 1 — анилиновых красителей; 2 — фотоматериалов; 3 — лекарственных средств



## Зинин Николай Николаевич (1812—1880)

Русский химик-органик, академик. Открыл (1842) реакцию восстановления ароматических нитросоединений и получил анилин. Доказал, что амины — основания, способные образовывать соли с различными кислотами. Синтезировал и изучал многие другие органические соединения.

по достоинству оценил открытие русского коллеги: «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».

1. Амины. 2. Метиламин. 3. Анилин. 4. Химические свойства аминов: взаимодействие с кислотами, горение. 5. Качественная реакция на анилин. 6. Реакция Зинина. 7. Применение анилина.



- 1 Какие вещества называют аминами? Какой признак положен в основу классификации аминов?
- 2 Какая группа атомов в молекуле аминов — радикал или аминогруппа — определяет их основные химические функции — является функциональной для них?
- 3 Почему амины называют органическими основаниями?
- 4 Рассмотрите взаимное влияние атомов в молекулах органических веществ на примере анилина. Что общего между взаимным влиянием атомов в молекулах анилина и фенола?
- 5 Запишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить следующие превращения:  
карбонат кальция  $\rightarrow$  оксид кальция  $\rightarrow$   
 $\rightarrow$  карбид кальция  $\rightarrow$  ацетилен  $\rightarrow$  бензол  $\rightarrow$   
 $\rightarrow$  нитробензол  $\rightarrow$  анилин  $\rightarrow$  триброманилин.
- 6 Назовите основные области применения анилина.



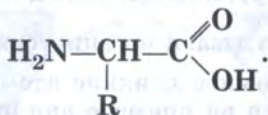
- 7 Смесь газов объемом 6 л (н. у.), содержащую метиламин, сожгли, при этом получили 2,24 л азота (н. у.). Определите объемную долю метиламина в исходной смеси.
- 8 Вычислите массу бромной воды с массовой долей брома 2%, которая потребуется для полного взаимодействия со 186 г 1%-го раствора анилина.

## § 17 Аминокислоты. Белки

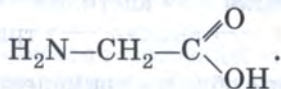
Подобно тому как молекулы глюкозы являются «кирпичиками» природных полимеров — полисахаридов, для молекул другого важнейшего природного биополимера — белков в роли таких «кирпичиков» выступают аминокислоты.

Какие функциональные группы входят в состав молекул аминокислот, исходя из общего названия этих соединений? Конечно, это карбоксильная группа —COOH, определяющая кислотные свойства этих соединений, и аминогруппа —NH<sub>2</sub>, определяющая их основные свойства. Вспомните, как называют вещества, которые проявляют как кислотные, так и основные свойства. Это амфотерные соединения. Следовательно, *аминокислоты — это амфотерные органические соединения.*

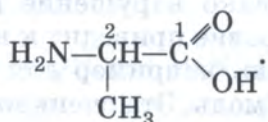
Попробуем вывести общую формулу аминокислот. Разумеется, общая формула должна содержать знак радикала R. Так как в состав молекул аминокислот входят карбоксильная группа, аминогруппа и радикал, которые соединены с одним и тем же атомом углерода, то вывести общую формулу аминокислот не составит большого труда:



*Аминокислоты* можно рассматривать как производные карбоновых кислот, у которых атом водорода в радикале замещен на аминогруппу, например из уксусной кислоты можно произвести аминокислоту (ее также называют глицином):

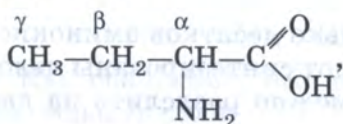


— В качестве еще одного примера аминокислот можно привести формулу аланина (аминопропионовая кислота, или 2-аминопропановая кислота):

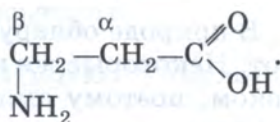


Попробуйте сами определить, как образуются названия аминокислот.

В зависимости от взаимного расположения функциональных групп (карбоксильной и аминогруппы) в углеводородной цепи различают  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ - и т. д. аминокислоты. Обозначение атомов углерода при этом начинают с углерода, ближнего к карбоксильной группе. За основу названия берется название соответствующей карбоновой кислоты:



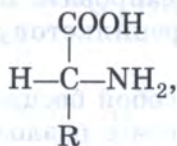
$\alpha$ -аминомасляная кислота



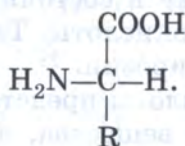
$\beta$ -аминопропионовая кислота

Наибольшее значение имеют  $\alpha$ -аминокислоты, поскольку только они встречаются в природе и служат исходными веществами для синтеза белков в живых организмах.

У всех  $\alpha$ -аминокислот, кроме аминокислоты, или глицина,  $\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{COOH}$ ,  $\alpha$ -углеродный атом имеет четыре различных заместителя, т. е. является асимметрическим, или хиральным. Следовательно, для каждой аминокислоты возможно существование двух оптических изомеров:



*D*-аминокислота



*L*-аминокислота

В природе встречаются только *L*-аминокислоты.



Две конфигурации одной аминокислоты — *L*- и *D*- — обладают по отношению друг к другу зеркальной симметрией, поэтому естественно считать их энергетически равноценными. Однако нарушение идентичности этих форм на атомном уровне приводит к небольшому энергетическому различию, например для *L*- и *D*-аланина — порядка  $10^{-17}$  кДж/моль. Эта очень маленькая разница в энергиях оказывается ощутимой в геологическом масштабе времени. У природы было достаточно времени, чтобы избавиться от термодинамически менее стабильных  $\alpha$ -*D*-аминокислот. Поэтому в природе встречаются  $\alpha$ -аминокислоты *L*-типа. Это очень поучительный пример естественного отбора на молекулярном уровне. Великому физику А. Эйнштейну даже приписывают фразу: «Белки всех существующих организмов состоят из левых  $\alpha$ -аминокислот просто потому, что они выиграли сражение у правых».

В природе обнаружено несколько десятков аминокислот. Некоторые же из аминокислот синтезированы человеком, поэтому аминокислоты можно разделить на две группы:

- природные (обнаруженные в живых организмах);
- синтетические.

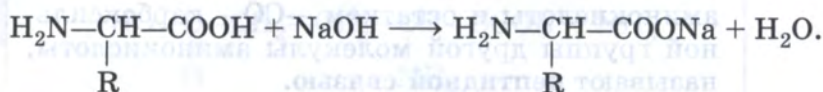
Среди природных аминокислот выделяют протеиногенные, т. е. рождающие белки. Их около 20. Примерно половина из них относится к *незаменимым* аминокислотам, так как они не синтезируются в организме человека. В организм такие аминокислоты поступают с пищей. Если их количество в ней будет недостаточным, то нормальное развитие и функционирование организма человека нарушается.

При отдельных заболеваниях человеческий организм становится не в состоянии синтезировать и некоторые другие аминокислоты. Так, при фенилкетонурии не синтезируется тирозин.

Аминокислоты представляют собой бесцветные кристаллические вещества, плавящиеся с разложением при температуре выше  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Они растворимы в воде и в зависимости от состава радикала могут быть сладкими, горькими или безвкусными.

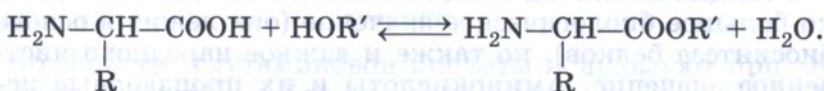
Аминокислоты, как амфотерные соединения, сочетают свойства карбоновых кислот и органических оснований.

Как кислоты, они взаимодействуют с основаниями, образуя соль и воду:



натриевая соль  
аминокислоты

Как карбоновые кислоты, они взаимодействуют со спиртами, образуя сложные эфиры:



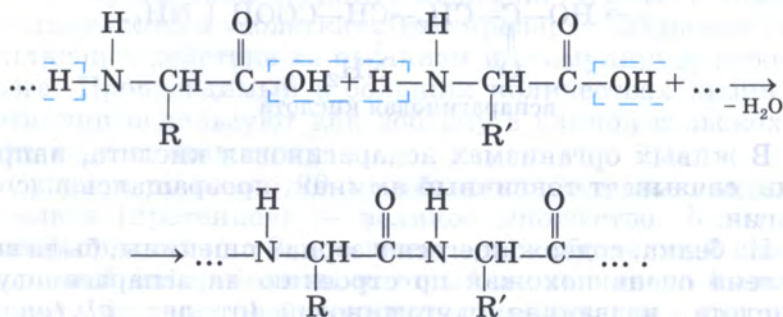
сложный эфир  
аминокислоты

Как основания, аминокислоты реагируют с кислотами, образуя соли:



хлороводородная соль  
аминокислоты

Важнейшим свойством аминокислот является их способность вступать в реакцию поликонденсации друг с другом:





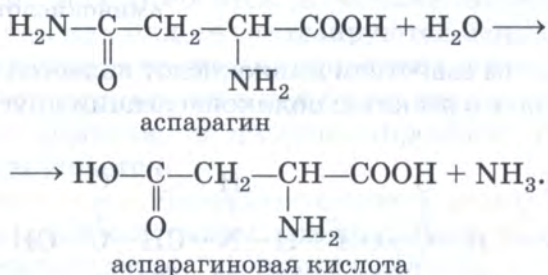


Связь  $\begin{array}{c} \text{O} \quad \text{H} \\ \parallel \quad | \\ -\text{C}-\text{N}- \end{array}$ , образуемую между остатком  $-\text{NH}-$  аминокислоты и остатком  $-\text{CO}-$  карбоксильной группы другой молекулы аминокислоты, называют **пептидной связью**.

Пептидная связь повторяется в полимере много раз, поэтому полимер соответственно называют **полипептидом**.

Реакция поликонденсации аминокислот имеет не только большое биологическое значение (она лежит в основе биосинтеза белков), но также и важное народнохозяйственное значение. Аминокислоты и их производные используют многие отрасли промышленности: пищевая, медицинская, микробиологическая, химическая.

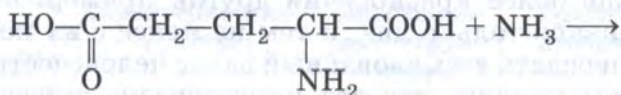
В 1806 г. французские химики Луи Никола Воклен и Пьер Жан Робике исследовали состав сока некоторых растений. Из сока спаржи им удалось выделить белое кристаллическое вещество, названное ими *аспарагином* (от греческого названия спаржи — *asparagus*). Это была первая аминокислота, выделенная химиками из природных объектов. В 1848 г. итальянец Рафаэль Пириа обнаружил, что гидролизом аспарагина можно получить аспарагиновую кислоту:



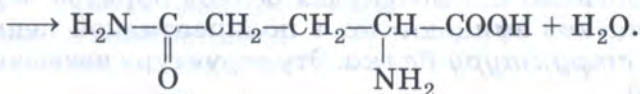
В живых организмах аспарагиновая кислота, напротив, связывает токсичный аммиак, превращаясь в аспарагин.

Из белка, содержащегося в зернах пшеницы, была выделена очень похожая по строению на аспарагиновую кислоту, названная глутаминовой (от лат. *gluten* —

клеяковина). В значительных количествах она содержится в мозге, сердечной мышце и плазме крови. Она также способна взаимодействовать с аммиаком, превращаясь в амид — глутамин:



глутаминовая кислота



глутамин

Это свойство глутаминовой кислоты используют при лечении некоторых заболеваний (шизофрении, эпилепсии).

Еще одно неожиданное свойство аминокислот. Предприимчивые японцы давно заметили, что добавление в пищу приправы из сушеных водорослей усиливает ее вкус и аромат. В 1909 г. японский ученый К. Икеда выяснил, что причина такого действия приправы кроется в содержащихся в водорослях глутаминовой кислоте и ее солях. К. Икеда запатентовал свое открытие, и теперь во всем мире в качестве пищевых добавок, усиливающих вкус и аромат продукта, используют глутаминовую кислоту (Е620), глутаминат натрия (Е621, часто называют глутамат натрия) и глутаминаты других металлов (Е622—Е625). Ссылки на эти вещества легко найти, например, на баночке мясного паштета. Для тех же целей применяют глицин (Е640) и лейцин (Е641).

Аминокислоты и их производные используют в качестве лекарственных средств в медицине. В аптеке можно купить глицин в таблетках. Этот препарат оказывает укрепляющее действие на организм и стимулирует работу мозга. Производимый в больших количествах лизин и метионин используют как добавку в рацион сельскохозяйственных животных.

Существует около 20 протеиногенных аминокислот, а белков (протеинов) — великое множество. Каждый живой организм на Земле имеет свой собственный неповторимый набор белков, который лишь иногда бывает сходен у близких родственников или одинаков у одной-



цевых (идентичных) близнецов. Почему 20 аминокислот образуют бесчисленное белковое разнообразие? Чтобы понять, как это происходит, вспомните, что 33 буквы русского алфавита образуют все огромное многообразие слов. Еще более красноречив другой пример: в азбуке Морзе знаков только два, и тем не менее с их помощью можно передать весь словарный запас человечества. Очевидно, вы поняли, что это многообразие определяется различной комбинацией букв или знаков.

Аналогично и в молекулах белков порядок чередования остатков аминокислот в полипептидной цепи определяет *структуру белка*. Эту структуру называют *первичной*.

Помимо первичной структуры, белковые молекулы имеют *вторичную* и *третичную структуры*, характеристика которых дана в таблице 4.

Большая заслуга в расшифровке структур белковых молекул принадлежит немецкому химику-органику Э. Г. Фишеру и русскому биохимику А. Я. Данилевскому.

Рассмотрим химические свойства белков.

При нагревании, под действием сильных кислот или оснований, солей тяжелых металлов и некоторых других реагентов происходит необратимое осаждение (свертывание) белков, называемое *денатурацией*. Легкость денатурации многих белков очень затрудняет их изучение. При денатурации происходят изменения во вторичной и третичной структурах белка, а первичная структура сохраняется. При этом их биологические функции полностью теряются.



**Фишер Эмиль Герман**  
(1852—1919)

Немецкий химик-органик и биохимик. Лауреат Нобелевской премии (1902). Научные работы посвящены химии углеводов, белков. Синтезировал ряд физиологически активных веществ. Внедрил в синтез химических соединений биокатализаторы — ферменты. Заслугой его является создание научной школы химиков-органиков.

Структура белковой молекулы	Характеристика структуры	Тип связи, определяющий структуру	Графическое изображение
Первичная — линейная	Порядок чередования аминокислот в полипептидной цепи — линейная структура	Пептидная связь —NH—CO—	
Вторичная — спиралевидная	Закручивание полипептидной линейной цепи в спираль — спиралевидная структура	Внутримолекулярные водородные связи	CO...HN CO...HN 
Третичная — глобулярная	Упаковка вторичной спирали в клубок — клубочковидная структура	Дисульфидные и ионные связи	

Денатурация имеет не только отрицательные стороны. Вспомните хотя бы сваренные вкрутую яйца (свертывание белка). Похожим образом сворачивается белок



**Данилевский  
Александр Яковлевич  
(1838—1923)**

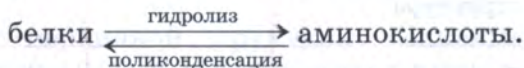
Русский биохимик. Один из основоположников отечественной биохимии. Работал в области химии ферментов и белков. В 1888 г. предложил теорию строения белковой молекулы. Экспериментально доказал, что под действием сока поджелудочной железы белки подвергаются гидролизу.



молока — казеин (так получают творог, богатый белком пищевой продукт).

Большинство белков свертывается при температуре до  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Именно поэтому все живое гибнет в огне, практически все — при кипячении в воде. В привычной для нас форме невозможна жизнь на «горячих» планетах Солнечной системы — Меркурии и Венере.

Под действием ферментов, а также водных растворов кислот или щелочей происходит разрушение первичной структуры белка в результате его гидролиза по пептидным связям. Гидролиз приводит к образованию более простых белков и аминокислот.



Гидролиз — основа процесса пищеварения. В организм человека ежедневно должно поступать с пищей  $60\text{--}80\text{ г}$  белка. В желудке под действием ферментов (из группы пептидаз) и соляной кислоты белковые молекулы распадаются на «кирпичики»-аминокислоты. Попадая в кровь, они разносятся по всем клеткам организма, где участвуют в строительстве собственных белковых молекул, свойственных только данному виду.

Белки дают две качественные реакции.

**Биуретовая реакция.** При действии на белки свежеполученного осадка гидроксида меди (II) в щелочной среде возникает фиолетовое окрашивание (рис. 77).

**Ксантопротеиновая реакция.** При действии на белки концентрированной азотной кислотой образуется белый осадок, который при нагревании желтеет, а при

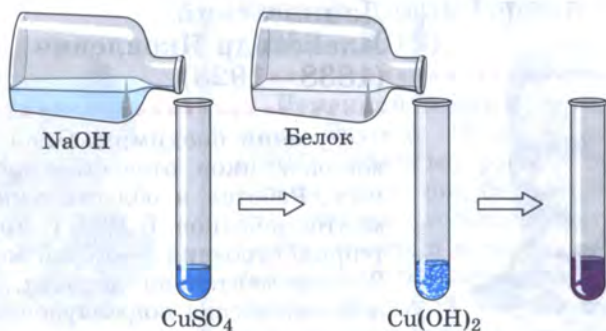


Рис. 77. Биуретовая реакция

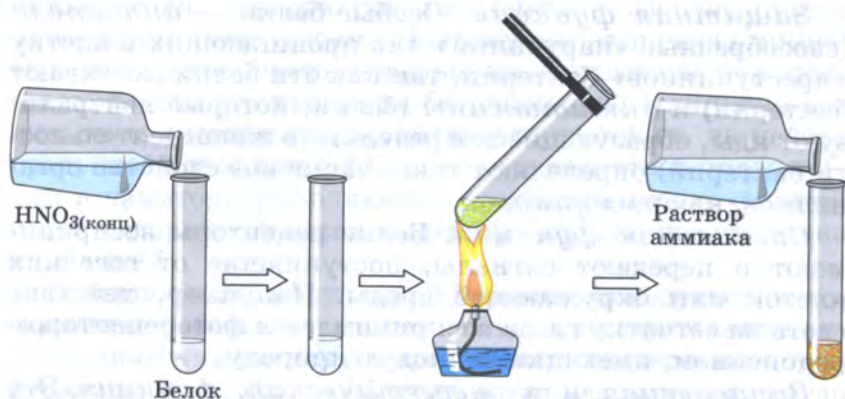


Рис. 78. Ксантопротеиновая реакция

добавлении водного раствора аммиака становится оранжевым (рис. 78).

*Качественное определение серы в белках.* При горении белков ощущается характерный запах «жженого рога». В этом легко убедиться, если подожечь шерстяную нитку или пучок волос. В значительной степени этот запах определяется содержанием в белках серы.

Рассмотрим биологическое значение белков.

*Ферментативная функция.* Большинство химических реакций в организме протекают в присутствии биологических катализаторов — **ферментов**, имеющих белковую природу. По сравнению с химическими катализаторами ферменты обладают уникальной **активностью** (увеличивают скорости реакций в миллиарды раз) и **селективностью** (каждый фермент катализирует одну реакцию или один тип превращений). В организме человека обнаружено более 2000 ферментов. Этим биологически активным веществам будет посвящен отдельный параграф учебника.

*Транспортная функция.* Белковые молекулы осуществляют перенос других молекул или ионов по тканям и органам. Важнейшим транспортным белком является гемоглобин крови, который переносит кислород.

*Структурная функция.* Белки — это строительный материал почти всех тканей: мышечных, опорных, кровных.



**Защитная функция.** Особые белки — *антитела* (своеобразные «наручники» для проникающих в клетку «преступников»-бактерий, так как эти белки склеивают бактерии) и *антитоксины* (белки, которые нейтрализуют яды, образующиеся в результате жизнедеятельности бактерий) определяют такое защитное свойство организмов, как *иммунитет*.

**Сигнальная функция.** Белки-рецепторы воспринимают и передают сигналы, поступившие от соседних клеток или окружающей среды. Например, действие света на сетчатку глаза воспринимается фоторецептором родопсином, имеющим белковую природу.

**Запасающая, или энергетическая, функция.** Эту функцию в клетках живых организмов выполняют особые белки, например белки семян бобовых растений и яйцеклетки животных организмов. Они служат строительным материалом и обеспечивают энергией развитие новых организмов.

Белки могут превращаться в жиры и углеводы, но те, в свою очередь, превращаться в белки не могут (подумайте почему). Поэтому белковое голодание особенно опасно для живого организма.

Поскольку физиологическая роль белков столь велика, они являются необходимой составной частью пищи.

При переваривании в желудочно-кишечном тракте органических соединений, входящих в состав пищевых продуктов, выделяется энергия. Энергетическая ценность белковой пищи невелика и уступает жирам и углеводам. Однако белки единственный источник незаменимых аминокислот в организме.

Недостаток белка в пище вызывает тяжелые заболевания. Результат несбалансированного питания — плохое самочувствие, истощение, быстрая утомляемость. Самые лучшие сорта пшеницы, и новые, которыми гордятся наши селекционеры, и старые, создавшие славу русскому хлебу, отличаются как раз высоким содержанием и уникальным составом белков.

Наиболее богаты белком мясо, рыба, молочные продукты, яйца и некоторые зернобобовые продукты.

В сутки человеку необходимо потреблять такое количество пищи, которое дает 1500—2000 килокалорий энергии. В настоящее время контроль за этой цифрой установили для себя многие: спортсмены, артисты, мод-

ницы, люди, страдающие различными заболеваниями или избыточным весом. Поэтому на этикетках пищевых продуктов часто указана их энергетическая ценность. А если это продукты без упаковки? Или наши кулинарные способности позволяют приготовить из набора продуктов новое блюдо? Существует несметное число таблиц и памяток, позволяющих рассчитать число «съеденных» калорий. Краткая выдержка из них представлена в таблице 5.

Большая часть полученной энергии расходуется на совершение работы, остальная часть — на протекание эндотермических реакций в организме и поддержание температуры тела. Около 55 ккал в час расходуется, когда мы спим, 75 — когда сидим, 200 — когда ходим, 500 — когда поднимаемся или спускаемся по лестнице.

Мы уже говорили о том, что белки в живом организме «собираются» из аминокислот. «Инструкция по сборке» зашифрована еще в одном виде природных биополимеров — молекулах ДНК, о которых и пойдет речь в следующем параграфе.

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ  
НЕКОТОРЫХ ПРОДУКТОВ**

*Таблица 5*

Продукт	Энергетическая ценность 100 г продукта, ккал
Салат «Оливье»	300
Судак	80
Селедка	200
Ножка курицы	130
Ножка гуся	340
Филе телятины	90
Филе свинины	600
Торт «Наполеон»	540
Шоколадная конфета, 1 шт.	80



1. Аминокислоты. 2. Химические свойства аминокислот: взаимодействие с кислотами, основаниями, спиртами, реакция поликонденсации. 3. Пептидная связь. 4. Применение аминокислот. 5. Белки, их структура. 6. Химические свойства белков: денатурация, гидролиз, качественные реакции (ксантопротеиновая и биуретовая, качественное определение серы в белках). 7. Биологические функции белков.

?

1. Какие вещества называют аминокислотами, а какие — белками? Что общего между этими классами органических соединений?
2. Почему аминокислоты — амфотерные органические соединения?
3. На основе примеров, приведенных в параграфе, попробуйте предложить способ образования названий аминокислот.
4. Какими свойствами обладают аминокислоты? Напишите уравнения реакций, характеризующих химические свойства аланина.
5. Назовите области применения аминокислот.
6. Охарактеризуйте три структуры белка.
7. Какие химические свойства характерны для белков?
8. Что такое денатурация? Какие внешние факторы могут вызвать ее?
9. Как с помощью одного и того же реактива распознать растворы трех веществ: белка, глюкозы и глицерина?
10. Запишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить следующие превращения:  
этан  $\rightarrow$  этилен  $\rightarrow$  этиловый спирт  $\rightarrow$  уксусный альдегид  $\rightarrow$  уксусная кислота  $\rightarrow$  хлоруксусная кислота  $\rightarrow$   $\rightarrow$  аминоксусная кислота  $\rightarrow$  полипептид.
11. Вычислите массу соли, которую можно получить при взаимодействии 150 г 5%-го раствора аминоксусной кислоты с необходимым количеством гидроксида натрия. Сколько граммов 12%-го раствора щелочи потребуется для реакции?

## § 18

# Нуклеиновые кислоты

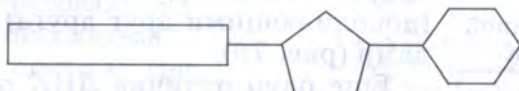
Важнейшими природными полимерами, обеспечивающими передачу наследственных свойств организмов, являются нуклеиновые кислоты. Своё название они получили от слова *nucleus* — «ядро», т. е. их можно назвать «ядерными кислотами».

Различают два типа нуклеиновых кислот: *дезоксирибонуклеиновые (ДНК)* и *рибонуклеиновые (РНК)*.



**ДНК и РНК — это природные биополимеры, построенные остатками нуклеотидов, т. е. полинуклеотиды.**

Что представляет собой нуклеотид? Это трехзвенное соединение, состоящее из азотистого основания, связанного с углеводом (пентозой) и остатком фосфорной кислоты. Схематично строение нуклеотида можно представить так:

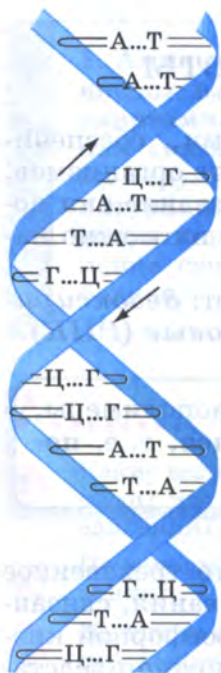


фосфорная кислота    пентоза    азотистое основание

Подобно белкам, нуклеиновые кислоты имеют различные структуры. *Первичная структура* РНК и ДНК определяется порядком чередования нуклеотидов в полимерной цепи.

В полимерной цепи каждой нуклеиновой кислоты этот порядок определяется всего лишь четырьмя видами нуклеотидов, которые, в свою очередь, отличаются друг от друга природой азотистого основания. Так, в состав ДНК входят нуклеотиды, имеющие в своем составе следующие четыре азотистых основания: аденин (А), гуанин (Г), тимин (Т) и цитозин (Ц). В состав нуклеотидов РНК входят также четыре азотистых основания: аденин (А), гуанин (Г), урацил (У) и цитозин (Ц). (Найдите отличие РНК и ДНК по входящим в их состав азотистым основаниям.)





**Рис. 79.**  
Участок двойной  
спирали ДНК

Второе отличие ДНК от РНК вы также без труда назовете сами: в качестве углевода пентозы нуклеотид ДНК содержит дезоксирибозу, а РНК — рибозу.

Кроме разного строения нуклеотидов, ДНК и РНК отличаются также и вторичной структурой. За исследования в определении этой структуры два американских биохимика Дж. Уотсон и Ф. Крик были удостоены Нобелевской премии.

РНК представляет собой одинарную цепь полимера, а ДНК — двойную. Двойная спираль ДНК построена в строгом соответствии с *принципом комплементарности*: против аденинового нуклеотида одной цепи всегда располагается тиминовый другой полимерной цепи, против гуанинового — всегда цитозиновый. Этот порядок обусловлен возникновением водородных связей между комплементарными (дополняющими друг друга) нуклеотидами (рис. 79).

Еще одно отличие ДНК от РНК состоит в их локализации в частях клетки. Так, ДНК находится преимущественно в хромосомах клеточного ядра (99% всей ДНК клетки), а также митохондриях и хлоропластах. РНК же входит в состав ядрышек, рибосом, митохондрий, пластид и цитоплазмы.

Нуклеиновые кислоты различаются также числом нуклеотидов: от 80 нуклеотидов в молекулах транспортных РНК до нескольких десятков тысяч в ДНК.

ДНК — главная молекула в живом организме. Она хранит генетическую информацию, которая передается от одного поколения к другому. В молекулах ДНК в закодированном виде записан состав всех белков организма. Каждой аминокислоте, входящей в состав белка, соответствует свой код в ДНК — определенная последовательность из трех азотистых оснований (*кодон*).

ДНК содержит всю генетическую информацию, но непосредственно в синтезе белка не участвует. Роль посред-

ника между ДНК и местом синтеза белка выполняет иРНК. Процесс синтеза белка на основе генетической информации схематично можно разбить на две основные стадии: считывание информации (*транскрипция*) и синтез белка (*трансляция*):



Замечательным свойством молекулы ДНК является возможность ее самоудвоения, называемого *репликацией*. Под действием внешних факторов водородные связи между комплементарными основаниями разрываются, и спираль начинает раскручиваться. Параллельно этому каждая «обзаводится» второй комплементарной нитью, синтезируемой из подходящих нуклеотидов (рис. 80).

В результате репликации образуются две абсолютно одинаковые молекулы ДНК. В каждой из них одна полинуклеотидная цепочка взята от исходной ДНК, а вторая образовалась в результате биосинтеза.

Клетки содержат три типа РНК, выполняющие различные функции.

*Рибосомные РНК (рРНК)* составляют до 85% всей РНК клетки. Они входят в состав рибосом и выполняют структурную функцию. Кроме этого, рРНК участвуют в формировании активного центра рибосомы, где происходит образование пептидных связей между молекулами аминокислот в процессе биосинтеза белка.



Рис. 80. Схема репликации ДНК. Верхняя часть спирали — старая ДНК, нижняя часть — две новые молекулы



*Информационные, или матричные, РНК (иРНК)* программируют синтез белков молекулы. Несмотря на относительно низкое процентное содержание (около 5%) в общей массе РНК клетки, иРНК по значению стоят на первом месте. Они осуществляют непосредственную передачу кода ДНК к месту синтеза белков. При этом каждый белок клетки кодируется своей специфической иРНК. Это обусловлено тем, что иРНК получает во время своего синтеза информацию о структуре белка от ДНК в форме скопированной последовательности нуклеотидов и переносит ее на рибосомы, где эта информация реализуется.

Символом тРНК обозначают *транспортную РНК*. Низкомолекулярные транспортные РНК (тРНК) составляют примерно 10% от всех клеточных РНК. Каждая тРНК присоединяет и переносит определенную аминокислоту к рибосомам — месту синтеза белка. Следовательно, в соответствии с 20 видами аминокислот существует и 20 различных тРНК.

Таким образом, значение всех видов РНК определяется тем, что они представляют собой функционально объединенную систему, направленную на осуществление в клетке синтеза специфических для нее белков.

Генетический код иРНК был расшифрован в 60-х гг. XX в. Его особенность состоит в том, что он универсален для всех живых организмов от вирусов до человека. Одинаковым тройкам оснований в различных РНК соответствуют одинаковые аминокислоты. Эта универсальность служит одним из доказательств единого происхождения всего живого на Земле.

Существует мнение, что процесс биологического старения вызывается тем, что генетическая информация при воспроизведении ДНК и белковом синтезе во все возрастающей мере передается с ошибками.

Расшифровка генетического кода позволит в перспективе управлять биохимическими процессами в живых организмах, поскольку уже разработаны химические методы синтеза нуклеиновых кислот с заданной последовательностью нуклеотидов.

Знание механизма биосинтеза белка в живой клетке и принципа передачи наследственных свойств организмов привело к возникновению и бурному развитию таких на-

правлений современной биоорганической химии, как генная инженерия и биотехнология.

Каждая клетка в организме человека содержит полный набор генов. В ДНК, например, имеется ген, который отвечает за синтез инсулина. Однако «включается» этот ген только в особых клетках поджелудочной железы, которые продуцируют этот гормон.

Инсулин — важнейший препарат, используемый для лечения сахарного диабета. Задача искусственного получения этого гормона белковой природы была решена в 80-х гг. XX в.

Первым из предложенных путей получения инсулина был следующий. Предлагалось взять клетки поджелудочной железы, вырастить колонию таких клеток, обеспечить их необходимыми аминокислотами в качестве «строительного материала» для построения цепочки инсулина, а затем выделить готовый продукт. К сожалению, в настоящее время этот путь реализовать сложно в отношении человеческих клеток.

Однако технология выращивания других, более грубых типов клеток, в особенности клеток бактерий и дрожжей, хорошо разработана. Бактерии применяют при получении таких веществ, как молочная и лимонная кислоты. Пивовары на протяжении тысячелетий используют дрожжи для превращения сахаров в этанол. Относительно недавно стали производить в биореакторах такие лекарственные вещества, как пенициллин и окситетрациклин, используя плесневые грибки.



Процесс получения различных веществ и продуктов с применением ферментов клеточных структур называют биотехнологией.

В последние годы ученые научились встраивать гены высших организмов, в том числе человека, в клетки бактерий или дрожжей. Эти клетки можно использовать затем для синтеза белков. Подобным образом удалось заставить «работать» ген инсулина. Человеческий инсулин был впервые получен с помощью бактерий *E. coli* и стал доступен в 1982 г. Позднее для этой цели были использованы клетки дрожжей, которые больше похожи на клетки человека.





Извлечение генов из клеток организмов одного типа и вживление их в клетки организмов другого типа называют **генной инженерией** или **технологией рекомбинантных ДНК**.

Такие белки, как инсулин, человеческий гормон роста соматотропин и фактор VIII (или коагулирующий фактор — вызывает свертывание крови, применяют при гемофилии), — это продукты генной инженерии. Важнейшее преимущество этих препаратов состоит в том, что они дешевле и чище, чем вещества, полученные традиционным путем. Например, произведенный методом генной инженерии фактор VIII исключает риск заболевания СПИДом, который существует, когда препарат готовят из донорской крови.

Применение и тем более потенциальные возможности генной инженерии простираются гораздо дальше получения медицинских препаратов.

Иммунная система человека защищает его от вирусной инфекции, распознавая слой белка в оболочке вируса. Если методом генной инженерии произвести только этот белок (без опасного содержимого — вируса) и сделать инъекцию, то препарат будет работать как вакцина. Вакцина против гепатита В получена и действует именно таким образом.

Предприятия и организации по защите окружающей среды могут широко использовать модифицированные бактерии и грибы, которые преобразуют потенциально вредные соединения в безвредные. Составив генетический набор из нескольких бактерий, можно получить, например, новые «нефтепожирающие супермикробы». Бактерии выбраны для этой цели потому, что в их обмене веществ используются разные компоненты сырой нефти. Если приготовить комбинацию из соответствующих генов всех бактерий, то бактерия — носитель этой комбинации — сможет разлагать все соединения, содержащиеся в сырой нефти.

Для борьбы с сорняками и вредителями растений методами генной инженерии используют два подхода. Во-первых, гены, определяющие устойчивость растений к действию пестицидов и гербицидов, транспланти-

руют в штаммы сельскохозяйственных культур. При обработке полей соответствующими препаратами вредители и сорняки уничтожаются без ущерба для культурных растений. Во-вторых, некоторые растения производят свои собственные пестициды. Гены, отвечающие за продуцирование токсичных для вредных насекомых белков, вводят в клетки томатов или зерновых. Это уменьшает потребность в искусственных пестицидах.

С помощью генной инженерии проводят селекцию сельскохозяйственных культур. Гены, ускоряющие фотосинтез или увеличивающие устойчивость к засухе, могут быть встроены в клетки растений с целью сделать эти растения пригодными для выращивания в менее солнечных или более засушливых местностях. Дальнейшее развитие этой технологии может расширить область ее применения, распространив ее на гены, отвечающие, например, за связывание атмосферного азота, что позволит уменьшить потребность в минеральных удобрениях.

**1. Рибонуклеиновые кислоты РНК и дезоксирибонуклеиновые кислоты ДНК. 2. Нуклеотиды, полинуклеотиды. 3. Функции РНК и ДНК. 4. Биотехнология. 5. Генная инженерия.**

?

1. Какие соединения называют нуклеиновыми кислотами? Какие типы нуклеиновых кислот вы знаете?
2. Как устроен нуклеотид? Сравните строение нуклеотидов ДНК и РНК.
3. Сравните строение, локализацию в клетках и функции РНК и ДНК.
4. Какие разновидности РНК вы знаете? Какую роль играет каждый вид РНК в биосинтезе белка?
5. Приведите доказательства единства организации всего живого на Земле, начиная с рассмотрения химического состава клеток до высших биополимеров — нуклеиновых кислот.



- 6 Дана последовательность нуклеотидов на участке одной из полимерных цепей ДНК:

А—Ц—Г—Г—Т—А—А—Ц—Г—Т.

Определите последовательность нуклеотидов на комплементарном участке второй цепи.

- 7 Что такое биотехнология? Приготовьте сообщение о возникновении и развитии этого направления в современной науке.
- 8 Что такое генная инженерия? Приготовьте сообщение об успехах современной генной инженерии.
- 9 Что такое трансгенные формы организмов? Как вы считаете, безопасно ли использование в пищу трансгенных или генетически модифицированных продуктов? Умеете ли вы различать трансгенную пищевую продукцию по информации на упаковках?
- 10 Выдающимся достижением науки последних лет считается расшифровка генома человека. Что вы знаете об этом? Приготовьте сообщение на эту тему.

## § 19 Ферменты

С этими биологически активными веществами вы встречались не раз: и в курсе химии 8 класса, когда познакомились с ферментативным катализом, и в курсе биологии 9 класса, изучая пищеварительные ферменты. Поэтому определение понятия «ферменты» вам уже известно. Итак, повторим.



**Ферменты, или энзимы,** — это органические катализаторы белковой природы, которые ускоряют реакции, необходимые для функционирования живых организмов.

Сейчас химикам известно более 2000 ферментов. Все они обладают рядом специфических свойств, отличающих их от неорганических катализаторов.

Понятно, что, будучи по своей природе белками, ферменты должны иметь *большие значения относительной молекулярной массы*. Действительно, она может колебаться в пределах от  $10^5$  до  $10^7$ .

Каждый фермент ускоряет только одну какую-либо реакцию или группу однотипных реакций. Эту их особенность называют *селективностью* (избирательностью действия). Она позволяет организму быстро и точно выполнить четкую программу синтеза нужных ему соединений на основе молекул, содержащихся в пище, или продуктов их превращений. Располагая большим набором ферментов, клетка разлагает молекулы белков, жиров и углеводов до небольших фрагментов (аминокислот, глицерина и жирных кислот, моносахаридов соответственно) и из них заново строит белковые и иные молекулы, которые будут точно соответствовать потребностям данного организма. Недаром великий русский физиолог, нобелевский лауреат И. П. Павлов назвал ферменты носителями жизни.

Специфичность, или избирательность, ферментов столь велика, что их сравнивают с ключом, который подходит только к одному замку. Ферменты, как правило, ускоряют однотипные реакции, и лишь немногие из них действуют только на одну-единственную реакцию.

В процессах обмена веществ, протекающих в живых организмах с помощью ферментов, большое значение имеет оптическая изомерия. Как вам известно из курса биологии, эти процессы идут при помощи белков-ферментов, молекулы которых хиральны. И так же, как нельзя натянуть левую перчатку на правую руку, так же невозможно заставить работать ферменты, если конфигурация катализируемого им оптического изомера не соответствует конфигурации активного центра фермента, а потому контакт между ними невозможен.

Этим и объясняется тот факт, что в живой природе хиральные соединения представлены, как правило, одной формой. На основании такого рода наблюдений Луи Пастер еще в 1860 г. подчеркивал: «Асимметрия молекулярного строения, быть может, образует единственную четкую границу, разделяющую химию живой и неживой природы».

Большинство ферментов обладает очень высокой *эффективностью*. Скорость некоторых ферментативных реакций может быть в  $10^{15}$  раз больше скорости реакций, протекающих в их отсутствие. Такая высокая эффективность ферментов объясняется тем, что их молекулы в процессе «работы» очень быстро восстанавливаются



(регенерируют). Типичная молекула фермента может регенерировать миллионы раз за минуту, например широко используемый в сыроделии фермент реннин способен вызывать коагуляцию (свертывание) белков молока в количествах, в миллионы раз превышающих его собственную массу. Этот фермент вырабатывается слизистой оболочкой особого отдела желудка жвачных животных — сычуга.

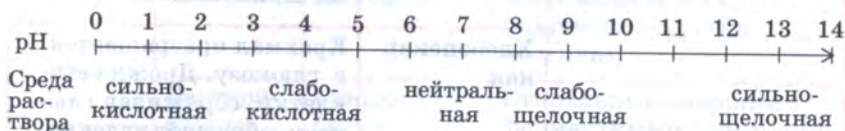
Многие ферменты обладают наибольшей эффективностью при температуре человеческого тела, т. е. приблизительно при 37 °С. Человек погибает, когда его температура ниже 35 °С и выше 42 °С, не столько из-за того, что его убила болезнь, а в первую очередь из-за того, что перестают действовать ферменты, а следовательно, прекращаются обменные процессы, которые и определяют сам процесс жизни.

#### ЗНАЧЕНИЯ pH ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ

Таблица 6

Среда	Значение pH	Возможные отклонения
Желудочный сок	1,7	0,9—2,0
Желчь печеночная	7,4	6,2—8,5
Желчь пузырная	6,8	5,6—8,0
Кровь (плазма)	7,4	7,25—7,44
Моча	5,8	5,0—6,5
Пот	7,4	4,2—7,8
Слезная жидкость	7,7	7,6—7,8
Слюна	6,8	5,6—7,9
Спинально-мозговая жидкость	7,6	7,4—7,8
Сок верхнего отдела толстого кишечника	6,1	—
Сок поджелудочной железы	8,8	8,6—9,0
Сок тонкого кишечника	6,5	5,1—7,1

Ферменты наиболее эффективно действуют на биохимическую реакцию при строго определенной среде раствора, при определенных значениях так называемого водородного показателя рН. Величина рН, как показано на схеме, характеризует кислотность и основность растворов и может принимать значения от 1,0 до 14,0.



Фермент желудочного сока пепсин наиболее активен при рН от 1,5 до 2,0 (сильнокислотная среда), каталаза крови — при рН, равном 7,0 (нейтральная среда), и т. д.

Кислотность или основность среды физиологических жидкостей определяет биологическую активность клеток организма, которая, в свою очередь, зависит от «работы» действующих в них ферментов (табл. 6). Каждая из физиологических жидкостей имеет определенное значение рН, и отклонение от нормы может быть причиной тяжелых заболеваний.

Ферменты играют важную роль и в проведении многих технологических процессов. Их используют, например, в процессах приготовления пищи, в производстве пищевых продуктов и напитков (рис. 81), фармацевтических препаратов, моющих средств, текстиля, кожи и бумаги (табл. 7).



Рис. 81. Продукты питания, в процессе приготовления которых используют ферменты

#### НЕКОТОРЫЕ ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФЕРМЕНТОВ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Таблица 7

Фермент	Промышленность	Использование
Амилазы (расщепляют крахмал)	Пивоваренная	Осахаривание содержащегося в солоде крахмала



Фермент	Промышленность	Использование	
	Текстильная	Удаление крахмала, наносимого на нити во время шлихтования	
	Хлебопекарная	Крахмал превращается в глюкозу. Дрожжевые клетки, сбраживая глюкозу, образуют углекислый газ, пузырьки которого разрыхляют тесто и придают хлебу пористую структуру. Хлеб лучше подрумянивается и дольше не черствеет	
Протеазы (расщепляют белки)	Папаин	Пивоваренная	Этапы процесса пивоварения, регулирующие качество пены
		Мясная	Умягчение мяса. Этот фермент довольно устойчив к повышению температуры и при нагревании мяса какое-то время продолжает действовать. Потом он, конечно, инактивируется
	Фицин	Фармацевтическая	Добавки к зубным пастам для удаления зубного налета
		Фотография	Смывание желатина с использованной пленки для того, чтобы извлечь находящееся в нем серебро
	Пепсин	Пищевая	Производство готовых к употреблению каш
		Фармацевтическая	Препараты, способствующие пищеварению (в дополнение к обычному действию пепсина в желудке)

Фермент		Промышленность	Использование
	Трипсин	Пищевая	Производство продуктов для детского питания
	Реннин	Сыроделие	Свертывание молока (получение сгустка казеина)
	Бактериальные протеазы	Стирка белья	Стиральные порошки с ферментными добавками
		Кожевенная	Отделение волоса — способ, при котором не повреждается ни волос, ни шкура
		Текстильная	Извлечение шерсти из обрывков овечьих шкур
		Пищевая	Получение белковых гидролизатов (в частности, для производства кормов)
Глюкозооксидаза		Пищевая	Удаление глюкозы или кислорода
Каталаза	Пищевая	Удаление пероксида водорода	
	Резиновая	Получение (из пероксида водорода) кислорода, необходимого для превращения латекса в губчатую резину	
Целлюлазы	Пищевая	Осветление фруктовых соков	
Пектиназы			

1. Ферменты, или энзимы. 2. Специфические свойства ферментов: большие значения относительной молекулярной массы, селективность, действие в определенном температурном интервале и при определенном значении рН среды. 3. Использование ферментов в промышленности.





- 1 Какие вещества называют ферментами?
- 2 Каков механизм действия ферментов?
- 3 Сравните «работу» ферментов с действием неорганических катализаторов. В чем их особенности?
- 4 Почему при повышении температуры до 42 °С ферменты перестают «работать»? Что с ними при этом происходит?
- 5 Вспомните из курса биологии известные вам пищеварительные ферменты и расскажите об их «работе».
- 6 На основании информации таблицы 7, приведенной в параграфе, подготовьте сообщение об использовании ферментов на производстве.
- 7 Попросите у учителя полоску индикаторной бумаги и исследуйте значения рН слюны и мочи. В случае обнаружения отклонений от нормы немедленно обратитесь к врачу.
- 8 Прodelайте дома такой опыт. Попробуйте поджечь в ложечке кусочек сахара. У вас ничего не получится: сахар будет плавиться, дымить, обугливаться, но не загорится. Если же на кусочек сахара поместить немного свежего сигаретного пепла (не вздумайте курить сами — пусть за вас это сделают заядлые курильщики) и поджечь, кусочек сахара загорится ровным синеватым пламенем. Дайте объяснение наблюдаемого явления. Как этот опыт связан с темой «Ферменты»?

## § 20 Витамины, гормоны, лекарства

### Витамины

У Джека Лондона есть замечательный рассказ, написанный им в 1911 г., «Ошибка господ бога», в котором автор рисует яркую картину того, как от истощения, вызванного цингой, гибнут люди, несмотря на то что у них имеется достаточный запас пищи.

«Вместо ответа человек показал на свой рот, с усилием растянул вспухшие, почерневшие губы, и Смок невольно отшатнулся.


— Цинга, — негромко сказал он Малышу, и больной кивком подтвердил диагноз.

— Еды хватает? — спросил Малыш.

— Ага, — отозвался человек с другой койки. — Может взять. Еды полно».

В этом маленьком отрывке из рассказа ясно показана причина заболевания — отсутствие в консервированных продуктах веществ, известных сейчас даже малым детям, — витаминов. А вот Джек Лондон этот термин использовать не мог, и это совершенно понятно, поскольку только в следующем, 1912 г. была опубликована статья польского ученого Казимира Функа, в которой впервые было введено это понятие. Оно произошло от латинского слова *vita* — «жизнь», т. е. «амин жизни», хотя большинство витаминов к аминам не относится.

Мы с гордостью должны констатировать, что основоположником учения о витаминах является наш соотечественник врач Н. И. Лунин, который еще в 1880 г. защитил диссертацию в Юрьевском (Тартуском) университете. В диссертации и последующих статьях Н. И. Лунин показал, что мыши быстро гибнут, если их кормить пищей, составленной из казеина, молочного жира, сахарозы и дистиллированной воды, однако продолжают здравствовать, если добавлять в рацион натуральное молоко. Из этого наблюдения ученый сделал вывод, что в молоке содержатся еще какие-то другие вещества, необходимые для жизни, — витамины, как мы их сейчас называем.



**Витамины** — это низкомолекулярные органические соединения различной химической природы, выполняющие важнейшие биохимические и физиологические функции в живых организмах.

В настоящее время известно свыше тридцати соединений, относящихся к этой группе биологически активных веществ.

Полное отсутствие в организме какого-либо витамина служит причиной **авитаминоза** — тяжелого заболевания организма. Названия болезней, вызванных авитаминозами, пугают: цинга, рахит, куриная слепота, пеллагра, бери-бери.



Чаще встречаются случаи частичной недостаточности витамина — *гиповитаминозы*, которые проявляются легким недомоганием, быстрой утомляемостью, снижением работоспособности, повышенной раздражимостью, снижением сопротивляемости организма к инфекциям.

Снабжение организма витаминами приобретает особое значение в конце зимы и весной, когда организм истощает свои ресурсы витаминов и значительно снижена «витаминная кладовая» продуктов питания.

Причинами гиповитаминозов могут быть:

- однообразное и, как правило, неполноценное питание;
- ограниченное питание в период религиозных постов;
- повышенная потребность в витаминах в период беременности и кормления, роста организма и т. д.;



Рис. 82. Витамины в продуктах питания

• различные заболевания, разрушающие всасывание или усвоение витаминов, и др.

Помимо авитаминоза вредна другая крайность — избыток витаминов. При избыточном их потреблении развивается отравление (интоксикация) организма, получившее название *гипервитаминоза*. Оно очень часто наблюдается у ребят, которые занимаются столь модным сейчас культуризмом — бодибилдингом и нередко неумеренно потребляют пищевые добавки и витамины.

Витамины обычно поступают в организм с пищей (рис. 82).

Так как химическая природа витаминов была открыта после установления их биологической роли, их условно обозначили буквами латинского алфавита (А, В, С, D и т. д.), что сохранилось до настоящего времени.

В качестве единицы измерения витаминов пользуются мг, мкг или мг% (миллиграммы витамина на 100 г продукта). Потребность человека в витаминах зависит от его возраста, состояния здоровья, условий жизни, характера его деятельности, времени года, содержания в пище основных компонентов питания. Сведения о потребности взрослого человека в витаминах приведены в таблице 8.

СУТОЧНАЯ ПОТРЕБНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА  
В ВИТАМИНАХ И ИХ ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИИ

Таблица 8

Витамин	Суточная потребность	Функции
Аскорбиновая кислота (витамин С)	50—100 мг (в среднем 70 мг)	Участвует в окислительно-восстановительных реакциях, повышает сопротивляемость организма экстремальным воздействиям
Тиамин (аневрин, витамин В <sub>1</sub> )	1,4—2,4 мг (в среднем 1,7 мг)	Необходим для нормальной деятельности центральной и периферической нервной системы. Регулятор жирового и углеводного обмена
Рибофлавин (витамин В <sub>2</sub> )	1,5—3,0 мг (в среднем 2,0 мг)	Участвует в окислительно-восстановительных реакциях



Витамин	Суточная потребность	Функции
Пиридоксин (витамин В <sub>6</sub> )	2,0—2,2 мг (в среднем 2,0 мг)	Участвует в синтезе и метаболизме аминокислот, метаболизме жирных кислот и ненасыщенных липидов
Ниацин (витамин РР)	15,0—25,0 мг (в среднем 19,0 мг)	Участвует в окислительно-восстановительных реакциях в клетках. Недостаток вызывает пеллагру
Фолиевая кислота (фолацин, витамин В <sub>9</sub> )	200 мкг	Кроветворный фактор, переносчик одноуглеродных радикалов, участвует в синтезе аминокислот, нуклеиновых кислот, холина
Цианкобаламин (витамин В <sub>12</sub> )	2—5 мкг (в среднем 3 мкг)	Участвует в биосинтезе нуклеиновых кислот, холина, лецитина. Фактор кроветворения, обладает липотворным действием
Биотин (витамин Н)	50—300 мкг (в среднем 150 мкг)	Участвует в реакциях карбоксилирования, обмена аминокислот, липидов, углеводов, нуклеиновых кислот
Пантотеновая кислота (витамин В <sub>5</sub> )	5—10 мг	Участвует в реакциях биохимического ацилирования, обмена белков, липидов, углеводов
Холин (холин-хлорид)	250—600 мг	Участвует в синтезе биологически важных соединений
Ретинол (витамин А)	0,5—2,5 мг (в среднем 1,0 мг)	Участвует в деятельности мембран клеток. Необходим для роста и развития организма, для функционирования слизистых оболочек. Участвует в процессе фоторецепции (в восприятии света)
Кальциферол (витамин D)	2,5—10 мкг	Регулирует содержание кальция и фосфора в крови, минерализацию костей, зубов

## Гормоны

У людей, знакомых с биологией, функция гормонов в живых организмах ассоциируется с ролью дирижера-виртуоза в большом симфоническом оркестре. Дирижер координирует работу оркестровых групп, всего большого коллектива музыкантов, каждый из которых хорошо знает свою партию, мастерски владеет инструментом. Однако очевидно, что без дирижера исполнение музыкального произведения очень быстро превратится в бессмысленное чередование звуков, а гениальная музыка — в ужасную какофонию.

Любой живой организм — сложнейшая и уникальная система органов и тканей, каждая из которых выполняет свою неотъемлемую и специфическую функцию. Как же осуществляется координация и согласование работы всех органов и систем живого организма? Что выполняет роль того самого дирижера, который подчиняет единой цели и синхронизирует ювелирную биологическую работу каждого органа и их систем? Эту важнейшую функцию и выполняют вещества, вырабатываемые железами внутренней секреции (или эндокринными), они называются гормонами (от греч. *hormáo* — приводить в движение, побуждать).



**Гормоны** — это биологически активные органические вещества, которые вырабатываются железами внутренней секреции и регулируют деятельность органов и тканей живого организма.

Как вы уже знаете из курса анатомии и физиологии, жизнедеятельность любого организма регулируется с помощью двух систем — нервной и гуморальной.

**Гуморальная регуляция** (от лат. *humor* — жидкость) — один из механизмов координации процессов жизнедеятельности организма, который осуществляется через его жидкие среды (прежде всего кровь) с помощью химических веществ (в первую очередь гормонов).

В крови высших животных и человека циркулирует около 50 гормонов.



Понятно, что, выполняя многочисленные и разнообразные функции, гормоны обладают соответствующим набором характерных свойств, среди которых важнейшими являются:

- *чрезвычайно высокая физиологическая активность* — очень малые количества гормонов вызывают весьма значительные изменения в работе органов и тканей; например, 1 г экдизона может вызвать линьку у  $2 \cdot 10^8$  особей насекомых;

- *дистанционное действие* — способность регулировать работу органов, удаленных от железы, вырабатывающей гормон; это становится возможным, потому что гормоны доставляются к этим органам через кровь;

- *быстрое разрушение в тканях*, так как, оказывая очень сильное влияние на работу органов и тканей, гормоны не должны накапливаться в них;

- *непрерывное продуцирование* (секреция) соответствующей железой вызвано необходимостью постоянного регулирования, более или менее сильного воздействия на работу соответствующего органа в каждый момент времени.

Из анализа характерных свойств гормонов, как мощного средства гуморальной регуляции, ясно, что их образование эндокринными железами должно в каждый момент времени точно соответствовать состоянию организма. Обеспечение этого соответствия осуществляется по принципу *обратной связи*: не только гормон влияет на контролируемую систему органов и процессы в ней, но и состояние самой системы определяет производительность соответствующей железы, скорость образования и количество вырабатываемого гормона. Например, снижение концентрации глюкозы в крови тормозит секрецию инсулина (гормона, вызывающего уменьшение содержания глюкозы) и ускоряет секрецию глюкагона (гормона, стимулирующего рост концентрации глюкозы в крови). Таким образом, благодаря принципу обратной связи именно гормоны обеспечивают *гомеостаз* — постоянство состава внутренней среды организма, контроль и регулирование содержания воды, углеводов, электролитов в ней.

## Лекарства

Лекарства известны человеку с глубокой древности. В одном из египетских папирусов (XVII в. до н. э.) описываются лекарственные средства растительного происхождения, некоторые из которых (например, касторовое масло) используются и в наши дни.

Великий древнегреческий врач Гиппократ (460—377 до н. э.) искал причины болезней уже не в злых духах, а в окружающей среде, климате, образе жизни и питания. Именно он «приземлил» медицину, призывая лечить не болезнь, а больного. Он создал учение о четырех жизненных жидкостях — крови, слизи, черной и желтой желчи, преобладание одной из которых в организме и определяет темперамент человека. Так, *сангвиник* (от лат. *sanguinis* — кровь) — человек общительный, быстрый, легко меняющийся, подвижный, «текучий», с богатой мимикой и жестами; *флегматик* (от лат. *phlegma* — слизь) — медлительный, «вязкий», невозмутимый, спокойный, не проявляющий чувств; *холерик* (от лат. *chole* — желчь) — неуравновешенный, вспыльчивый, несдержанный; *меланхолик* (от лат. *melanos* — черные, сгоревшие и *chole* — желчь) — сдержанный и медлительный, быстро утомляющийся и ранимый, замкнутый в себе.

Кроме профилактических мер, причин болезней и их диагностики, Гиппократ описал более двухсот лекарственных растений и способов их употребления. Недаром его называют отцом медицины.

Кроме Гиппократа, огромное влияние на развитие медицины оказал римский врач Клавдий Гален (129—201), положивший основу «аптекарской науке» — фармакологии. Он широко применял различные извлечения (вытяжки) из лекарственных растений, настаивая их на воде, вине или уксусе. Спиртовые вытяжки — экстракты и настойки находят широкое применение и в современной медицине. До сих пор фармацевты называют их «галеновыми препаратами».

Большое количество лекарственных препаратов растительного и минерального происхождения и способов их приготовления описано в сочинениях великого среднеазиатского медика эпохи Средневековья Абу Али Ибн Сины — Авиценны (980—1037). Многие из этих средств:



камфора, препараты белены, ревеня и др. — с успехом используются до сих пор.

Труды Авиценны заложили основу возникновения иатрохимии (от греч. *iatros* — врач) — врачебной, медицинской химии, основоположником которой является швейцарский естествоиспытатель Теофраст Парацельс (1493—1541), удивительным образом сочетавший в себе талантливое врача и алхимика.

Всецело полагаясь на свои знания химии, Парацельс отказался от классических взглядов на медицину Галена и Авиценны. Он считал, что в основе жизни лежат химические процессы, а заболевания — это результат нарушения их протекания в организме, который Парацельс сравнивал с большой ретортой. Считая организм химическим «реактором», он начал использовать для лечения болезней минеральные воды и многочисленные химические препараты: соединения сурьмы, мышьяка, меди, свинца, ртути и других элементов.

Парацельс заложил основы медицинской химии, открыл новое направление в науке. Актуально до сих пор утверждение Парацельса об огромной важности количества применяемого препарата: «Все есть яд, ничто не лишено ядовитости, и все есть лекарство. Лишь только доза делает вещество ядом или лекарством».

А что у нас, в России? Из древних рукописей известно, что в 1547 г. царь Иван Грозный направляет посла в «немецкую землю» для привоза «мастера для изготовления квасцов», применявшихся для лечения огнестрельных ран, различных болезней и опухолей. При царе Михаиле Федоровиче (1613—1645) врачебный персонал царского двора составляли 7 докторов, 13 лекарей, 4 аптекаря и 3 алхимиста. Доктора и лекари определяли болезнь и способ ее лечения, аптекари продавали простые лекарства и по указанию лекарей изготавливали сложные. Алхимики готовили обычные лекарства в химической лаборатории по указанию аптекарей, принимали участие в «надкушивании» — своеобразной экспертизе и проверке новых лекарств. Через 100 лет название «алхимист» заменили на «химик».

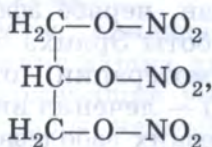
К XIX в. значительно усовершенствовались методы получения, очистки и анализа химических веществ. Все новыми фактами подтверждались идеи Парацельса о химической природе биологических процессов. Так, Гэмф-

ри Дэви, изучая оксид азота (I)  $N_2O$ , обнаружил, что вдыхание небольших количеств этого газообразного вещества вызывает опьянение, беспричинное веселье и судорожный смех, вдыхание больших количеств (вспомните идеи Парацельса о важности дозы!) снимает зубную боль. Еще большие количества оксида азота (I) вводят человека в состояние *наркоза* — полной потери чувствительности и сознания. Открытие Г. Дэви *анестезирующих*, т. е. *обезболивающих*, свойств этого вещества позволило применить его в хирургической практике. Химики же до сих пор называют оксид азота (I) «веселящим газом».

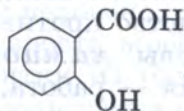
Развитие идей Галена и поиск «действующих начал» — активных компонентов лекарственных растений, отвечающих за их целебные свойства, — увенчались успехом. В начале XIX в. были открыты первые *алкалоиды* — биологически активные азотсодержащие органические соединения растительного происхождения. Например, к ним относят эффективное средство для борьбы с малярией — алкалоид хинин, полученный из коры хинного дерева.

Выделенные алкалоиды стали все шире применять в качестве лекарственных, в том числе обезболивающих средств. Работы химиков-органиков позволили установить строение алкалоидов и разработать способы их получения.

Были синтезированы и применены для врачебной практики хлороформ (трихлорметан)  $CHCl_3$ , серный (диэтиловый) эфир  $C_2H_5OC_2H_5$ , нитроглицерин (тринитрат глицерина), облегчающий страдания при «грудной жабе» — стенокардии, и салициловая (*o*-гидроксibenзойная) кислота, обладающая противовоспалительным действием:



нитроглицерин



салициловая кислота

Во второй половине XIX в. в работах выдающегося французского ученого Луи Пастера (1822—1895) нашли блестящее подтверждение идеи Авиценны о «мельчайших животных», вызывающих и переносящих заболева-



ния. В наши дни даже ребенку знакомы слова «бактерия», «микроб», «вирус».

Учитель химии и физики по образованию, Пастер существенно продвинул вперед науку — он, изучая симметрию молекул органических соединений (мы бы сказали, пространственную изомерию и стереохимию) и брожение, открыл анаэробные (не нуждающиеся в кислороде) бактерии и способ обеззараживания и сохранения пищевых продуктов, названный в его честь *пастеризацией*, и разработал пути формирования *иммунитета*, создал необходимые для этого лекарственные средства — *вакцины*.

Французские врачи пренебрежительно относились к открытиям «какого-то химика Пастера», пока он на практике не доказал, что заражение неизлечимой в то время сибирской язвой и смерть от нее могут быть предотвращены с помощью созданной человеком вакцины. Триумфом лекарственных препаратов — вакцин и вакцинации как способа предупреждения заболеваний и их последствий стало спасение в марте 1885 г. мальчика, искусанного бешеной собакой. Других способов избежать смерти при заражении бешенством медицина не знает до сих пор. Вакцинация позволяет избежать кори, оспы, полиомиелита, других болезней и их осложнений. Однако, к сожалению, далеко не всегда организм способен самостоятельно справиться с заболеванием или инфекцией даже с помощью вакцин. Медицина нуждалась не только в средствах, мобилизующих защитные силы организма, но и в препаратах, способных самостоятельно справиться с болезнью.

В 1909 г. немецкий ученый Пауль Эрлих получил соединение мышьяка — сальварсан, первое эффективное средство против сифилиса. Работы Эрлиха заложили основы *химиотерапии* (хемотерапии, от греч. *терапия* — работа, уход, лечение) — лечения инфекционных, паразитарных и онкологических заболеваний лекарствами, подавляющими жизнедеятельность возбудителя болезни или опухолевых клеток. В отличие от *фармакотерапии* — лечения препаратами, влияющими на функции организма или симптомы болезней, химиотерапия является *причинной терапией*, т. е. воздействие направлено на причину, возбудителя болезни. Поэтому

химиотерапевтические препараты характеризуются направленностью, специфичностью и избирательностью своего действия.

Идеи Эрлиха получили развитие в работах крупного химика-органика А. Е. Чичибабина (1871—1945) и английского бактериолога А. Флеминга (1881—1955).

А. Е. Чичибабин в годы Первой мировой войны, когда в госпиталях тысячи людей страдали от отсутствия или нехватки болеутоляющих, антисептических и противовоспалительных препаратов, разработал методы получения обезболивающих препаратов из отечественного сырья, создал в России технологии производства аспирина, фенацетина и салола.

Открытие А. Флемингом в 1928 г. *пенициллина* — группы антибиотиков грибка *Penicillium* стало триумфом учения об *антибио́зе* — явлении антагонизма и смертельной борьбы микроорганизмов друг с другом: одни виды бактерий, грибов подавляют (в прямом смысле слова — травят!) жизнедеятельность других с помощью выделяемых микроорганизмами в окружающую среду специфических веществ — *антибиотиков*.

Антибиотики — мощное оружие. Попадая в организм, они уничтожают не только патогенные, но и полезные микроорганизмы, например микрофлору кишечника. Кроме того, болезнетворные микробы, в свою очередь, приобретают устойчивость к «знакомым» им антибиотикам, а они, активно помогая организму бороться с болезнью, позволяют ему «расслабиться», постепенно снижая уровень иммунитета, ослабляя его собственные защитные реакции.

Очевидно, что **нельзя заниматься самолечением антибиотиками.**

Вещества, влияющие на психику человека, вовсе не изобретение наших дней. Уже в древности жрецы готовили дурманящие ритуальные напитки из различных трав и грибов, некоторые из них используются шаманами и сейчас, например настойка мухомора, а рецепты других вошли в обиходную речь: вспомните характерное выражение «белены объелся». Издревле известны и опиум, и гашиш.

С незапамятных времен опий, а затем и морфин врачи использовали как обезболивающее, снотворное и успокаи-



ивающее средство, но с тех же пор было хорошо известно, что применять его надо с большой осмотрительностью. Морфин не только снимает боль, но и вызывает чувство особого наслаждения, приятные (поначалу) галлюцинации. У человека, несколько раз принимавшего морфин, возникает привыкание к нему, он уже не может обходиться без наркотика. Это привыкание носит двойственный характер: различают привыкание психологическое — тяга наркомана к ощущениям, вызываемым морфином, и физическое — следствие патологических изменений в организме наркомана, и прежде всего в нервной системе, при которых неполучение в срок очередной дозы наркотика ведет к мучительным страданиям. Постепенно организм адаптируется к наротику, для достижения желаемого эффекта дозы приходится увеличивать... Недавно еще цветущий молодой человек превращается в беспомощную и страшную в своей жажде наркотика развалину.

В последнее время все чаще внедряют в сознание заблуждение, легенду о существовании «легких» наркотиков. Любой (!) наркотик формирует физиологическую и психическую зависимость от него. «Легкие» наркотики лишь более коварны, они медленнее и незаметнее (но также необратимо!) подчиняют себе сознание человека.

**1. Витамины. 2. Авитаминоз, гиповитаминоз, гипервитаминоз. 3. Функции витаминов. 4. Гормоны. 5. Свойства гормонов: высокая физиологическая активность, дистанционное действие, быстрое разрушение в тканях, непрерывное продуцирование. 6. Лекарства. 7. Химиотерапия и фармакология.**



- 1** Какие вещества называют витаминами?
- 2** Что такое авитаминоз, гиповитаминоз и гипервитаминозы?
- 3** Как сохранить витамины в выращенной на дачном участке плодовоовощной продукции при ее длительном хранении?

- 4 Как сохранить витамины при приготовлении овощных блюд в условиях термической обработки пищи?
- 5 Какие витаминные препараты вы знаете и как их следует применять? При подготовке ответа на этот вопрос проконсультируйтесь с медицинскими работниками.
- 6 Подготовьте небольшое сообщение об основных средствах лечения и методах профилактики и лечения сахарного диабета. Используйте консультацию школьного учителя биологии и медицинского работника.
- 7 Какие гормоны вы знаете из курса биологии? Какими железами внутренней секреции они вырабатываются? Как они влияют на жизнедеятельность органов и систем органов?
- 8 К каким негативным последствиям может привести непрерывное продолжительное повышение содержания адреналина в крови?
- 9 Подготовьте небольшое сообщение об иатрохимии. При его подготовке используйте консультацию учителей химии, истории и биологии.
- 10 Проанализируйте содержимое вашей домашней аптечки. Какие лекарственные препараты необходимо выбросить? Какие необходимо приобрести? Подготовьте сообщение «Моя домашняя аптечка». Используйте консультацию медработника.
- 11 Что обязательно должно входить в состав автомобильной аптечки? Почему? Какие взыскания может наложить инспектор за отсутствие аптечки или ее несоответствие российскому стандарту?



## Искусственные и синтетические полимеры

### § 21 Искусственные полимеры

Как вы смогли убедиться на примере рассмотрения органических соединений живой природы, многие из них имеют полимерную природу.

Полимерные вещества и материалы на их основе прочно вошли в повседневную жизнь человека. Разнообразие областей их применения требует придания этим веществам свойств, которыми не обладают природные полимеры. Химики нашли способы химической модификации природных полимеров. При этом основная цепь макромолекул не претерпевает изменений, но в составе вещества появляются новые группы атомов, придающие ему новые физические и химические свойства.



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

Схематично получение искусственных полимеров можно изобразить следующим образом:



Искусственные полимеры используют для изготовления пластмасс, волокон и других материалов.



**Пластмассы** — это материалы, полученные на основе полимеров, способные приобретать заданную форму при изготовлении изделия и сохранять ее в процессе эксплуатации.

Полимер и пластмасса — это не одно и то же. Любая пластмасса содержит полимер, но кроме него в ее состав могут входить и другие компоненты: красители (придают материалу цвет), наполнители (обеспечивают жесткость пластмассы), пластификаторы (делают материал более эластичным, гибким) и др.

Пожалуй, самым удобным природным полимером для химической реконструкции его молекул является целлюлоза.

Первая пластмасса была получена в конце XIX в. в Америке. При обработке целлюлозы концентрированной азотной кислотой в присутствии концентрированной серной кислоты две гидроксильные группы в структурном звене замещаются на нитрогруппы. Полученное вещество называют динитратом целлюлозы:



При добавлении к динитрату целлюлозы камфоры (в качестве пластификатора) получают пластмассу молочно-белого цвета, похожую на слоновую кость. Эта пластмасса получила название *целлулоид*.

Первыми изделиями, которые были изготовлены из целлулоида, стали бильярдные шары, затем мелкие бытовые предметы: расчески, игрушки, линейки. Из нитратов целлюлозы изготавливали кино- и фото пленку.

Большим недостатком целлулоида является его горючесть. Ввиду повышенной пожароопасности область применения целлулоида теперь ограничена. В настоящее время из этого материала изготавливают теннисные шары и красивую, блестящую облицовку музыкальных инструментов. На основе нитратов целлюлозы изготавливают клей и лаки.



Люди научились многие недостатки веществ обращать в достоинства. Сделать динитрат целлюлозы еще более горючим можно, превратив его в тринитрат. Тринитрат целлюлозы используют в качестве пороха и называют *пироксилином*.

На основе искусственных полимеров получают не только пластмассы, но и волокна.



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

Сама целлюлоза — это волокнистый материал. В этом легко убедиться, рассмотрев кусочек медицинской ваты. Из целлюлозных волокон состоят хлопчатобумажные и льняные ткани. Наряду с неоспоримыми преимуществами изделия из хлопка и льна обладают существенными недостатками. Они недостаточно прочны (особенно при намокании), легко мнутся, не имеют блеска, повреждаются грибом.

Этих недостатков лишены изделия из самого распространенного искусственного волокна — ацетатного шелка.

Процесс получения полимера для изготовления ацетатных нитей очень напоминает получение динитрата целлюлозы. Только в этом случае целлюлозу обрабатывают не азотной, а уксусной кислотой. Все три гидроксильные группы структурного звена целлюлозы вступают в реакцию этерификации. В результате образуется полимер с тремя сложноэфирными группами — триацетат целлюлозы:

целлюлоза +  $\text{CH}_3\text{COOH}$   $\longrightarrow$  триацетат целлюлозы + вода.

Триацетат целлюлозы, в отличие от исходного природного полимера, волокнистой структурой не обладает. Как же изготовить из него нити? Для этого был придуман специальный технологический процесс.

Триацетат целлюлозы растворяют в органическом растворителе до образования вязкого раствора и под большим давлением продавливают его через колпачки со множеством мельчайших отверстий — так называемые *фильеры*. Струйки раствора обдуваются теплым воз-

духом, растворитель испаряется, полимер затвердевает в тончайшие нити (рис. 83).

Ткани из *ацетатного волокна (ацетатного шелка)* очень красивы, легко окрашиваются и многофункциональны: из них с одинаковым успехом изготавливают и подкладочный материал, и нарядные балльные платья.

Помимо ацетатного шелка, к искусственным волокнам относятся также *вискоза, медно-аммиачное волокно*.

Вискозу также получают на основе целлюлозы путем последовательной обработки раствором щелочи, сероуглеродом  $CS_2$ , раствором кислоты. Вискозное волокно по красоте почти не уступает натуральному, оно также гигиенично (пропускает наружу влагу) и, что немаловажно, намного дешевле натурального.

Можно ли совсем отказаться от природного полимерного сырья при производстве пластмасс и волокон? Для современной химии нет ничего невозможного! О синтетических полимерах пойдет речь в следующем параграфе.

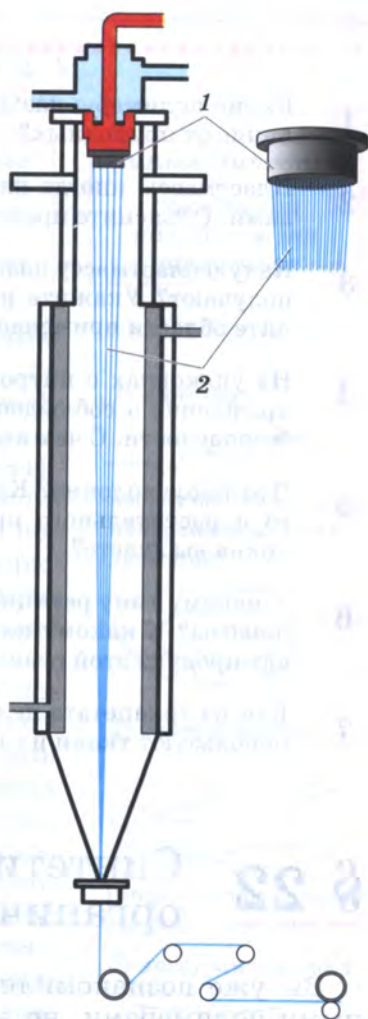


Рис. 83. Схема формирования волокон:  
1 — фильера; 2 — пучок волокон

1. Искусственные полимеры. 2. Пластмассы. 3. Целлулоид. 4. Волокна. 5. Ацетатное волокно, вискоза, медно-аммиачное волокно.





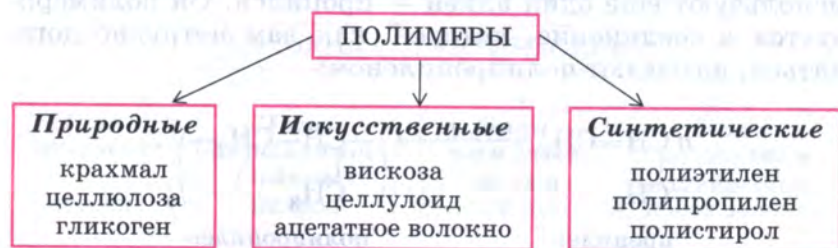
- 1 Какие полимеры называют искусственными? В чем их отличие от природных?
- 2 Пластмассы иногда называют композиционными материалами. Объясните происхождение этого термина.
- 3 Какую пластмассу называют целлулоидом? Как и из чего ее получают? Укажите недостаток этого полимера. Перечислите области применения целлулоида.
- 4 На упаковках с нитроцеллюлозным клеем имеется предупреждение о соблюдении при работе с ним мер пожарной безопасности. С чем это связано?
- 5 Что такое волокна? Какие натуральные волокна (животного и растительного происхождения) и искусственные волокна вы знаете?
- 6 К какому типу реакций относят получение триацетата целлюлозы? К какому классу органических соединений относят продукт этой реакции?
- 7 Как из триацетата целлюлозы формируют волокно? Для чего используют ткани из ацетатного шелка?

## § 22 Синтетические органические соединения

Вы уже познакомились с природными и искусственными полимерами, но все чаще и чаще в повседневной жизни вам приходится сталкиваться с полимерами, которые созданы не природой и не на основе природного полимерного сырья, а являются результатом работы химиков. Это так называемые **синтетические полимеры**.

Следовательно, по происхождению все полимеры можно разделить на три группы (схема 2):

- природные;
- искусственные;
- синтетические.



Как и первые два класса полимеров, синтетические полимеры по форме макромолекул бывают линейными, разветвленными и пространственными (трехмерными) (рис. 84).

К *линейным синтетическим полимерам* может быть отнесен полиэтилен, однако следует подчеркнуть, что речь идет не о полиэтилене вообще, а лишь о полиэтилене низкого давления.

Полиэтилен низкого давления получают из этилена с использованием особых катализаторов, которые способствуют увеличению линейных макромолекул и не требуют использования высокого давления в производственном процессе. Такой полиэтилен благодаря более компактной упаковке полимерных цепей имеет высокую плотность, большую механическую прочность. Он идет главным образом на изготовление труб, бытовой и химической посуды.

Макромолекулы полиэтилена высокого давления имеют *разветвленную структуру*. Его плотность ниже, а эластичность выше, чем у полиэтилена низкого давления. Это незаменимый материал для изготовления упаковки пищевых и непищевых продуктов, пакетов.

1) *линейная*



изогнутая (волокна, полиэтилен низкого давления)



2) *разветвленная*



(крахмал, полиэтилен высокого давления)

3) *пространственная*

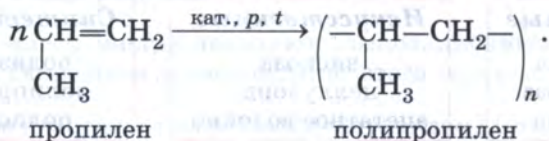


(резина, фенолформальдегидные смолы)

Рис. 84. Структура полимеров



Для получения синтетического аналога полиэтилена используют еще один алкен — пропилен. Он полимеризуется в соединение, которое, как вам нетрудно догадаться, называют полипропиленом:



Полипропилен обладает большей механической прочностью, чем полиэтилен. Из него изготавливают канаты, тросы, веревки. Вам знакомы белые полипропиленовые мешки для сахара, круп и других продуктов — чрезвычайно прочные, очень легкие и абсолютно безопасные для человека. Вы, очевидно, нередко видели торговцев («челноков»), которые транспортируют свой товар в больших сумках из полипропилена. Однако полипропилен — это еще и материал для изготовления ковров, детских игрушек, химических реакторов, посуды, корпусов компьютерной техники и многого другого.

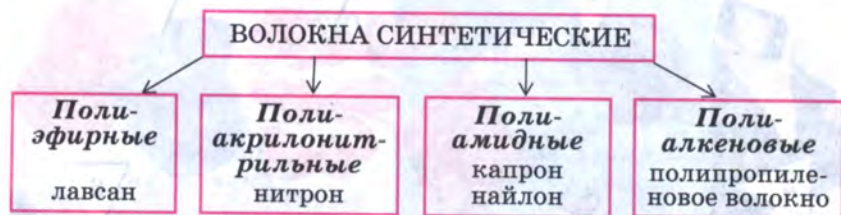
При изучении свойств ацетилена вы познакомились еще с одним синтетическим полимером *линейного строения* — поливинилхлоридом (вспомните основные области его применения).

*Линейную структуру* имеют также *синтетические волокна*, которые вместе с искусственными относят к химическим волокнам, в отличие от природных (схема 3).

#### КЛАССИФИКАЦИЯ ВОЛОКОН

Схема 3





С природными и искусственными химическими волокнами вы уже подробно ознакомились, поэтому остановимся на волокнах синтетических.

Их, в свою очередь, также можно разделить на отдельные группы (схема 4).

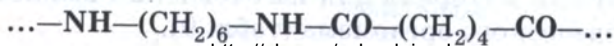
О полипропиленовом волокне мы уже говорили выше.

Капроновое волокно отличается высокой прочностью, устойчивостью к истиранию, не впитывает влагу. Поэтому его применяют для получения капроновых тканей, из которых изготавливают ковры, искусственный мех, кордную ткань, одежду. Из капроновой смолы получают пластмассы для изготовления деталей машин и других конструкционных материалов.

Почему капрон относят к полиамидным волокнам? А потому, что в макромолекуле капрона много раз повторяется знакомая вам пептидная связь  $-\text{CO}-\text{NH}-$ , которую по-другому называют амидной:



К амидным волокнам относят также хорошо знакомое вам из жизненной практики волокно нейлон. Интересна история открытия этого материала. Автор этого открытия, американский химик У. Карозерс, работал над созданием этого волокна в Нью-Йорке и Лондоне. Из названий этих городов сложилось название нового синтетического полимера. В том, что это полиамидное волокно, вы сможете убедиться, если посмотрите на формулу фрагмента его макромолекулы:





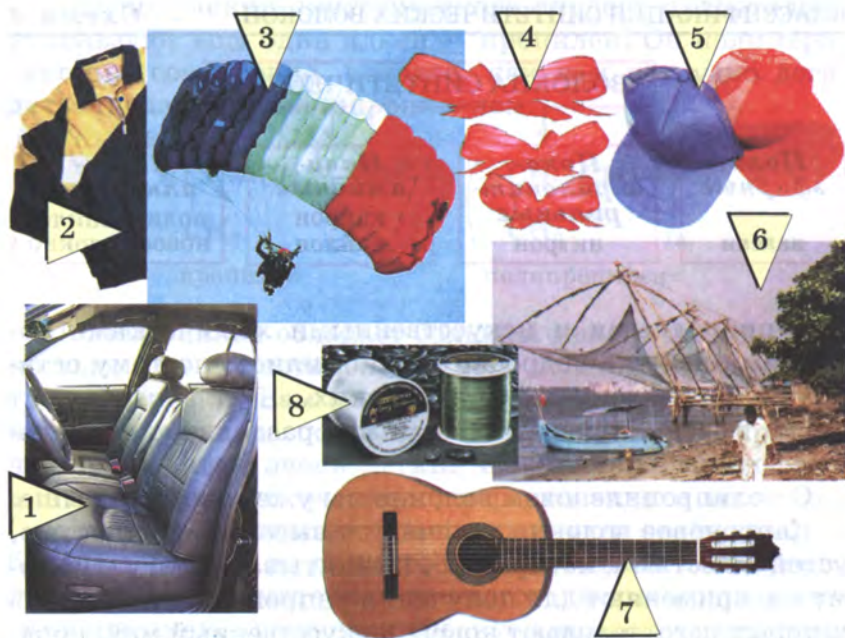


Рис. 85. Применение синтетических волокон: 1 — искусственная кожа; 2—5 — синтетические волокна и ткани; 6—8 — леска

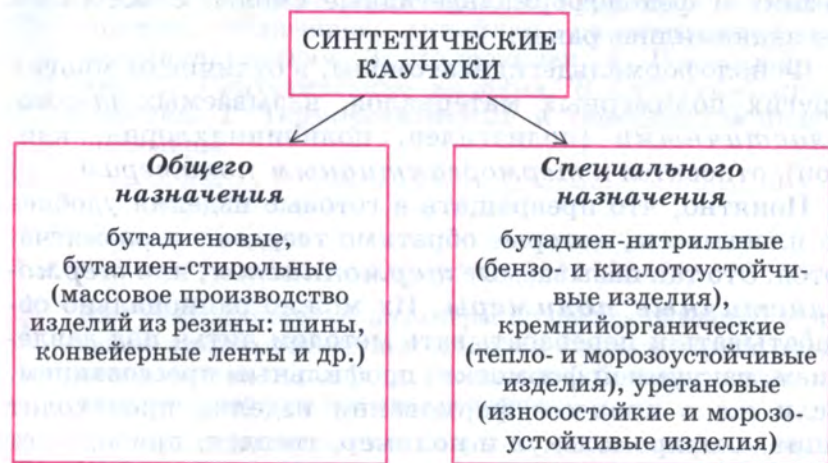
Полиэфирное волокно лавсан используют для изготовления в первую очередь костюмных тканей, поскольку он обеспечивает им несминаемость и элегантную фактуру.

Удивительно похожи на натуральную шерсть изделия из волокна нитрон. Ткани из нитрона используют для изготовления спортивных костюмов, трикотажа, пальто.

Применение полиамидных и полиэфирных волокон представлено на рисунке 85.

*Разветвленную структуру* имеют такие синтетические полимеры, как каучуки. Синтетические каучуки делят на каучуки общего и специального назначения (схема 5).

Будущим технологам и медикам будет интересно знать, что многие синтетические полимеры широко используют как материал для изготовления имплантантов для человеческого организма (табл. 9).



**ВАЖНЕЙШИЕ ИМПЛАНТАНТЫ  
И ПОЛИМЕРЫ ДЛЯ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ**

Таблица 9

Имплантант	Полимеры
Трахея	Полиакрилаты, полисилоксаны, полиамиды
Сердце, его части	Полиуретаны, полиэтилентерефталат, полисилоксаны
Части легкого, почки и печени	Полиэтилентерефталат, поливинилхлорид
Части пищевода	Полиэтилен, полипропилен
Части желудочно-кишечного тракта	Полисилоксаны, поливинилхлорид, полиамиды
Кровеносные сосуды	Полиэтилентерефталат, политетрафторэтилен, полипропилен
Кости и суставы	Полиакрилаты, полиамиды, полиэтилен, полиуретаны, полипропилен
Суставы пальцев рук	Полисилоксаны, полиэтилен (сверхмолекулярный)
Связки, сухожилия	Полиэтилентерефталат, полиамиды



К полимерам с *трехмерной структурой* относят резину и фенолоформальдегидные смолы, с которыми вы знакомились ранее.

Фенолоформальдегидные смолы, в отличие от многих других полимерных материалов, называемых *термопластичными* (полиэтилен, поливинилхлорид, капрон), относятся к *терморезактивным полимерам*.

Понятно, что превращать в готовые изделия удобнее те пластмассы, которые обратимо твердеют и размягчаются. Это так называемые *термопласты*, или *термопластичные полимеры*. Их можно рационально обрабатывать и перерабатывать методом литья под давлением, вакуумной формовки, профильным прессованием. Если же в процессе формирования изделия происходит сшивка макромолекул и полимер, твердея, приобретает сетчатое строение, то это вещество уже нельзя возвратить в вязкотекучее состояние нагреванием или растворением. Такие полимеры называют *терморезактивными*. Кроме фенолоформальдегидных, к ним относят карбамидные и полиэфирные смолы.

И в заключение остановимся еще на одной классификации синтетических полимеров по признаку «вид протекания химического процесса при их получении». Вы, очевидно, сами сможете указать, что по этому признаку можно выделить две группы синтетических полимеров: *полимеризационные*, т. е. полученные в результате реакции полимеризации, и *поликонденсационные*, т. е. полученные путем поликонденсации.

Нам же останется только подчеркнуть, что полимеризационные полимеры получают из мономеров с кратными связями, а поликонденсационные — из мономеров, которые содержат в молекулах функциональные группы.

Такой подробный очерк о синтетических полимерах мы привели для того, чтобы показать, как конструктивно работает человеческая мысль. Смеем надеяться, что некоторые из вас смогут внести заметный вклад в решение нестандартных ситуаций в сфере будущей профессиональной деятельности, и необязательно химической.

**1. Синтетические полимеры. 2. Структура макромолекул полимеров: линейная, разветвленная и пространственная. 3. Полиэтилен. 4. Полипропилен. 5. Синтетические волокна. 6. Синтетические каучуки. 7. Терморезистивные и термопластичные полимеры.**



- 1 Как классифицируют полимеры по происхождению? Приведите примеры известных вам представителей групп полимеров по этому признаку. Расскажите о значении этих полимеров в природе и жизни человека.
- 2 Как классифицируют полимеры по форме макромолекул? Приведите примеры известных вам представителей групп полимеров по этому признаку. Расскажите о значении этих полимеров в природе и жизни человека.
- 3 Как классифицируют полимеры по отношению к нагреванию? Приведите примеры известных вам представителей групп полимеров по этому признаку. Расскажите о значении этих полимеров в природе и жизни человека.
- 4 Как классифицируют полимеры по способу получения? Приведите примеры известных вам представителей групп полимеров по этому признаку. Расскажите о значении этих полимеров в природе и жизни человека.
- 5 Приготовьте сообщение на тему «Роль полимеров в моей будущей профессии».
- 6 Приготовьте сообщение об истории открытия какого-нибудь синтетического полимера, используя дополнительную литературу.
- 7 Приготовьте сообщение на тему «Пластмассы — современные конструкционные материалы».
- 8 Приготовьте сообщение на тему «Роль полимеров в современном самолетостроении (автомобилестроении, строительной индустрии, медицине, нефте- и газодобыче и т. д.)».



## 1. Определение элементного состава органических соединений

---

В широкий химический стакан поместите небольшой кусочек парафиновой свечи и подожгите его с помощью горящей лучинки. Обратите внимание на стенки стакана — на них появляются капельки воды. О наличии какого химического элемента в составе парафина они свидетельствуют? Погасите свечу и выньте ее из стакана. Затем налейте в стакан немного прозрачной известковой воды и осторожно взболтайте. Что наблюдаете? О наличии какого химического элемента свидетельствуют изменения, произошедшие с известковой водой? Запишите уравнения проведенных реакций.

## 2. Изготовление моделей молекул углеводородов

---

**Модель молекулы метана.** Соберите модель молекулы метана, используя для этого заводской набор моделей атомов. Если он в школе отсутствует, соберите ее из пластилиновых шариков. Для этого из пластилина светлых тонов изготовьте четыре небольших шарика, а из пластилина темных тонов — один шарик, который примерно в два раза больше предыдущих. В качестве стержней можно использовать спички. Учтите, что в молекуле метана угол между химическими связями С—Н составляет  $109^\circ$ , т. е. молекула имеет тетраэдрическое строение (см. рис. 11 на с. 25).

**Модели молекул бутана и изобутана.** Соберите модель молекулы *n*-бутана, используя для этого заводской набор моделей атомов или пластилин. Аналогично соберите модель молекулы изобутана. Учтите, что в бутане атомы углерода расположены по отношению друг к другу под углом  $109^\circ$ , т. е. углеродная цепь должна

иметь зигзагообразное строение. В молекуле изобутана все связи центрального атома углерода направлены к вершинам правильного тетраэдра. Сравните строение этих углеводородов.

### **3. Обнаружение непредельных соединений в жидких нефтепродуктах**

Выданные вещества разделите на две части и исследуйте их отношение к растворам иода и перманганата калия. Наблюдайте за изменением окраски растворов. Внесите наблюдения в таблицу и сделайте выводы.

Номер пробирки	Реагенты для распознавания веществ		Наблюдения	Выводы
	Раствор перманганата калия	Раствор иода		

### **4. Получение и свойства ацетилена**

В пробирку налейте около 1 мл воды и поместите в нее кусочек карбида кальция величиной со спичечную головку. Быстро закройте пробирку пробкой с газоотводной трубкой и выделяющийся газ пропустите в другую пробирку с раствором перманганата калия. Что наблюдаете? О чем свидетельствует изменение окраски раствора? Запишите уравнения проведенных реакций.

### **5. Ознакомление с коллекцией «Нефть и продукты ее переработки»**

1. Рассмотрите выданную вам коллекцию. Объясните, почему все нефтепродукты (кроме мазута) называют светлыми. Запишите формулы углеводородов, образуя-



щих фракции светлых нефтепродуктов. Какие физические процессы лежат в основе их получения?

2. Познакомьтесь со смазочными маслами, получаемыми перегонкой мазута. Какие процессы лежат в основе их получения?

## 6. Свойства этилового спирта

1. Рассмотрите выданный вам в пробирке образец этилового спирта. Понюхайте его. Что ощущаете? В другую пробирку прилейте несколько капель выданного вам спирта с помощью пипетки, добавьте 2 мл дистиллированной воды и содержимое взболтайте. Что можно сказать о растворимости этилового спирта в воде?

2. В одну пробирку налейте 1—2 мл дистиллированной воды, а во вторую — 2 мл этилового спирта и добавьте в каждую по 2—3 капли подсолнечного масла. Перемешайте содержимое обеих пробирок. Что можно сказать о свойствах этилового спирта как растворителя?

3. На фильтровальную бумагу капните одну каплю воды и чуть поодаль одну каплю этилового спирта. Какая капля быстрее испарится? Сделайте вывод о свойствах спирта на основе этого опыта.

4. Накалите на пламени спиртовки свернутую в спираль медную проволоку до появления черного налета оксида меди (II) и внесите ее в этиловый спирт, находящийся в выданной вам пробирке. Что наблюдаете? Повторите операцию 4—5 раз. Понюхайте содержимое пробирки. Что ощущаете? Запишите уравнение проведенной реакции.

## 7. Свойства глицерина

1. К 1 мл дистиллированной воды в пробирке прилейте 1 мл глицерина и смесь взболтайте. Затем добавьте еще 1 мл глицерина и еще раз перемешайте смесь. Что можно сказать о растворимости глицерина в воде?

2. К 2 мл раствора щелочи в пробирке прилейте несколько капель раствора медного купороса (сульфата меди (II)). Что наблюдаете? К полученному осадку прибавьте по каплям глицерин и смесь взболтайте. Что наблюдаете?

## 8. Свойства формальдегида

1. В тщательно вымытую пробирку налейте 1 мл аммиачного раствора оксида серебра и добавьте по стенке 4—5 капель формалина. Поместите пробирку в стакан с горячей водой. Что наблюдаете? Запишите уравнение проведенной реакции.

2. Налейте в пробирку 2 мл щелочи и добавьте 2—3 капли раствора медного купороса (сульфата меди (II)). К образовавшемуся осадку прилейте 1 мл разбавленного водой формалина и смесь нагрейте. Что наблюдаете? Запишите уравнение проведенной реакции.

## 9. Свойства уксусной кислоты

1. Налейте в четыре пробирки по 2 мл раствора уксусной кислоты. Осторожно понюхайте этот раствор. Что ощущаете? Вспомните, где вы применяете уксусную кислоту дома.

2. В одну пробирку с раствором уксусной кислоты добавьте несколько капель раствора лакмуса. Что наблюдаете? Затем нейтрализуйте кислоту избытком щелочи. Что наблюдаете? Запишите уравнение проведенной реакции.

3. В три оставшиеся пробирки с раствором уксусной кислоты добавьте: в одну — гранулу цинка, в другую — несколько крупинок оксида меди (II) и подогрейте ее, в третью — кусочек мела или соды (на кончике шпателя). Что наблюдаете? Запишите уравнения проведенных реакций.

## 10. Свойства жиров

1. В три пробирки налейте по 1 мл дистиллированной воды, спирта и бензина и добавьте в них по 2—3 капли подсолнечного масла. Встряхните содержимое пробирок. В какой жидкости жиры растворяются лучше?

2. Несколько капель раствора жира в этиловом спирте и бензине нанесите на фильтровальную бумагу. Что наблюдаете после испарения растворителя?



3. Практически докажите, что в состав выданного вам растительного жира входят остатки непредельных кислот. Объясните свои действия.

## **11. Сравнение свойств растворов мыла и стирального порошка**

1. К 1—2 мл растворов мыла и стирального порошка в отдельных пробирках добавьте по 2—3 капли раствора фенолфталеина. Отметьте окраску раствора. Сделайте вывод, какое из моющих средств лучше использовать для стирки тканей, чувствительных к щелочи (например, шерстяных).

2. В две пробирки налейте по 3—4 мл жесткой воды (раствора солей кальция, например хлорида кальция  $\text{CaCl}_2$ ). В одну пробирку добавьте по каплям раствор мыла, а в другую — раствор стирального порошка. После внесения каждой капли содержимое пробирок взбалтывайте.

В каком случае приходится прибавлять больше раствора для образования устойчивой пены? Какой препарат не утрачивает своей моющей способности в жесткой воде? Почему?

## **12. Свойства глюкозы**

1. В пробирку с 2—3 каплями раствора медного купороса (сульфата меди (II)) прилейте 2—3 мл раствора щелочи. Что наблюдаете? Затем добавьте в пробирку 2 мл раствора глюкозы и смесь перемешайте. Что наблюдаете? О чем свидетельствует этот опыт?

2. Нагрейте содержимое пробирки. Что наблюдаете? О чем свидетельствует этот опыт? Запишите уравнение проведенной реакции.

3. К 2 мл аммиачного раствора оксида серебра добавьте 1—2 мл раствора глюкозы и нагрейте смесь на пламени спиртовки. Старайтесь нагревать содержимое пробирки равномерно и медленно. Что наблюдаете? О чем свидетельствует этот опыт? Запишите уравнение проведенной реакции.

### **13. Свойства крахмала**

---

1. В пробирку насыпьте немного порошка крахмала. Прилейте воды и взболтайте смесь. Что можно сказать о растворимости крахмала в воде?

2. Вылейте взвесь крахмала в воде в химический стакан с горячей водой и прокипятите ее. Что наблюдаете?

3. В пробирку с 2—3 мл полученного во втором опыте крахмального клейстера добавьте каплю спиртового раствора иода. Что наблюдаете?

### **14. Свойства белков**

---

1. В пробирку налейте 2 мл раствора белка и добавьте 2 мл раствора щелочи, а затем несколько капель раствора медного купороса (сульфата меди (II)). Что наблюдаете?

2. В пробирку с 2 мл раствора белка добавьте несколько капель азотной кислоты. Что наблюдаете? Нагрейте содержимое пробирки. Что наблюдаете? Охладите смесь и добавьте к ней по каплям 2—3 мл нашатырного спирта. Что наблюдаете?

3. Подожгите несколько шерстяных нитей. Охарактеризуйте запах горящей шерсти.

4. К 3—4 мл раствора белка в воде добавьте несколько капель раствора медного купороса (сульфата меди (II)). Что наблюдаете?

### **15. Знакомство с образцами пластмасс, волокон и каучуков**

---

Рассмотрите предложенные образцы пластмасс, волокон и каучуков. Распределите их на три группы: природные, искусственные и синтетические. Какие из выданных веществ получают (образуются) в результате реакции: а) полимеризации; б) поликонденсации?



# Практические работы

---

## Практическая работа №1

---

### Идентификация органических соединений

#### Задание 1

В двух пробирках без этикеток содержатся следующие вещества:

*1 вариант:* этиловый спирт и муравьиная кислота;

*2 вариант:* растворы глюкозы и глицерина;

*3 вариант:* растворы формальдегида и белка;

*4 вариант:* растительное и машинное масла;

*5 вариант:* крахмальный клейстер и глицерин;

*6 вариант:* растворы глюкозы и этанола;

*7 вариант:* растворы сахарозы и глюкозы.

Получите у учителя две пробирки в соответствии с номером вашего варианта. Предложите способ экспериментального определения содержимого каждой пробирки. После одобрения вашего предложения учителем приступите к практическому распознаванию веществ.

#### Задание 2

С помощью одного реактива докажите, что глюкоза является веществом с двойственной функцией.

#### Задание 3

Вам выданы пробирки с растворами, в одной из которых содержится глицерин, в другой — формальдегид, в третьей — глюкоза. С помощью одних и тех же реактивов определите каждое вещество.

## Задание 4

Докажите опытным путем, что картофель и белый хлеб содержат крахмал, а спелое яблоко — глюкозу.

### Практическая работа №2

## Распознавание пластмасс и волокон

### Задание 1

Вам предложены образцы двух пластмасс из следующего перечня: полиэтилен, поливинилхлорид, фенопласт. Используя таблицу 10, определите, какие именно пластмассы вам выданы. Напишите формулы структурных звеньев выданных вам пластмасс.

#### СВОЙСТВА ПЛАСТМАСС

Таблица 10

Название пластмассы	Физические свойства, определяемые органолептически	Отношение к нагреванию	Характер горения
Полиэтилен	Жирный на ощупь. В виде пленки, прозрачный, эластичный	Размягчается, в размягченном состоянии легко меняет форму, вытягивается в нити	Горит ярким пламенем с запахом расплавленного парафина. Продолжает гореть вне пламени
Поливинилхлорид	Эластичный, в толстых слоях жесткий. Прозрачный или непрозрачный	Размягчается и разлагается с выделением хлороводорода	Горит коптящим пламенем. Вне пламени гаснет
Фенолоформальдегидная смола	Непрозрачная, неэластичная, хрупкая	Не размягчается, разлагается	Загорается, при длительном пребывании смолы в пламени ощущается характерный запах фенола



## Задание 2

Вам предлагаются образцы — нити или ткани — трех волокон из следующего перечня: хлопок, шерсть, натуральный шелк, вискозное волокно, ацетатное волокно, капрон. Используя таблицу 11, определите, какие именно волокна вам выданы.


СВОЙСТВА ВОЛОКОН

Таблица 11

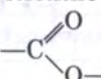
Название волокна	Характеристика горения и его результат	Отношение к концентрированным кислотам и щелочам		
		$\text{HNO}_3$	$\text{H}_2\text{SO}_4$	$\text{NaOH}$
Хлопок	Быстро сгорает, ощущается запах жженой бумаги. После сгорания остается серый пепел	Растворяется, раствор бесцветный	Растворяется	Набухает, но не растворяется
Вискозное	То же	Растворяется, раствор бесцветный	Растворяется. Раствор красно-коричневый	Растворяется
Шерсть и шелк натуральный	Горит, ощущается запах палевого пера. Образуется хрупкий черный шарик	Желтое окрашивание	Разрушается	Растворяется
Ацетатное	Горит в пламени, вне его гаснет. Спекается в темный нехрупкий шарик	Растворяется, раствор бесцветный	Растворяется	Желтеет и растворяется
Капрон	При нагревании размягчается, плавится, образуя твердый нехрупкий блестящий шарик. Из расплава вытягиваются нити. В пламени горит с неприятным запахом	Растворяется, раствор бесцветный	Растворяется. Раствор бесцветный	Не растворяется

# Приложения

## 1. Основные классы углеводов

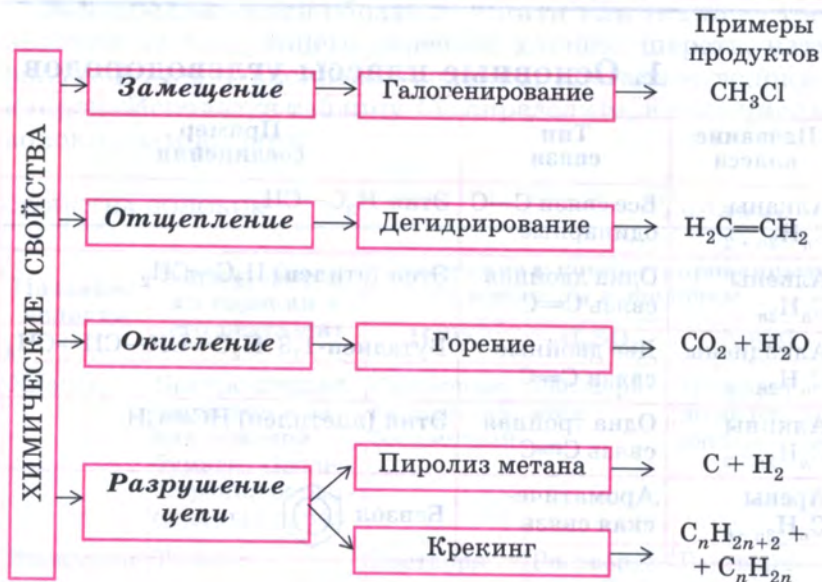
Название класса	Тип связи	Пример соединения
Алканы $C_nH_{2n+2}$	Все связи С—С одинарные	Этан $H_3C-CH_3$
Алкены $C_nH_{2n}$	Одна двойная связь С=C	Этен (этилен) $H_2C=CH_2$
Алкадиены $C_nH_{2n-2}$	Две двойные связи С=C	Бутадиен-1,3 $H_2C=CH-CH=CH_2$
Алкины $C_nH_{2n-2}$	Одна тройная связь С≡С	Этин (ацетилен) $HC\equiv CH$
Арены $C_nH_{2n-6}$	Ароматическая связь	Бензол 

## 2. Производные углеводов

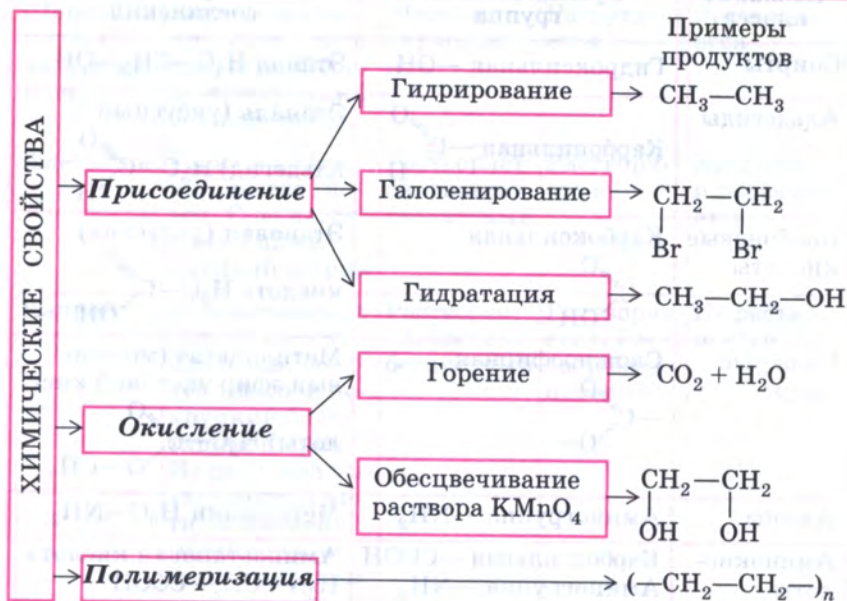
Название класса	Функциональная группа	Пример соединения
Спирты	Гидроксильная —ОН	Этанол $H_3C-CH_2-OH$
Альдегиды	Карбонильная 	Этаналь (уксусный альдегид) $H_3C-C(=O)H$
Карбоновые кислоты	Карбоксильная 	Этановая (уксусная) кислота $H_3C-C(=O)OH$
Сложные эфиры	Сложноэфирная 	Метилацетат (метиловый эфир уксусной кислоты) $H_3C-C(=O)O-CH_3$
Амины	Аминогруппа —NH <sub>2</sub>	Метиламин $H_3C-NH_2$
Аминокислоты	Карбоксильная —COOH Аминогруппа —NH <sub>2</sub>	Аминоэтановая кислота $H_2N-CH_2-COOH$



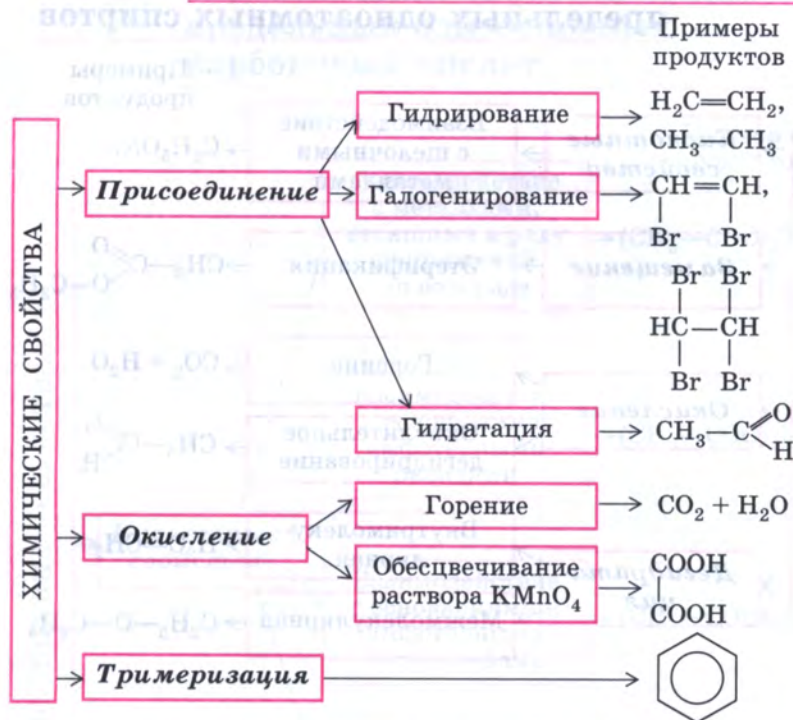
### 3. Химические свойства алканов



### 4. Химические свойства алкенов



## 5. Химические свойства алкинов

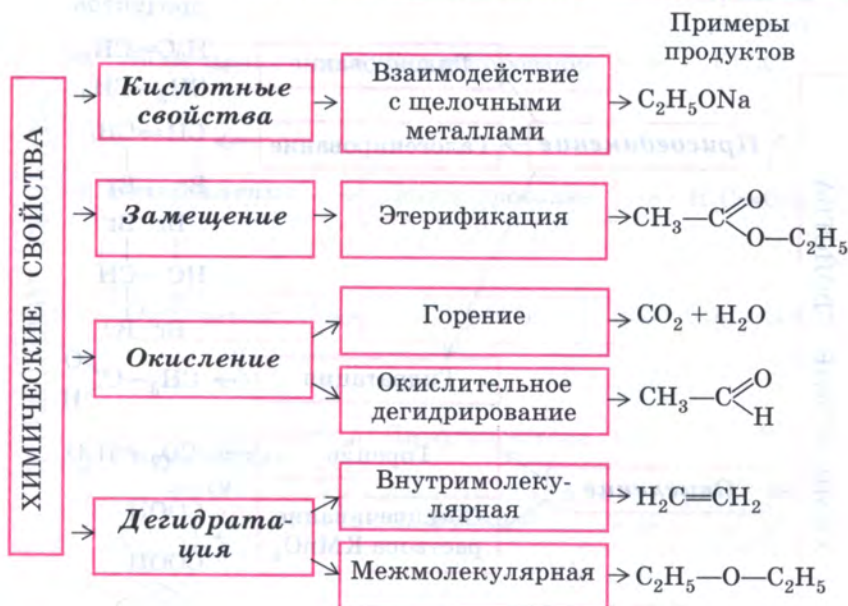


## 6. Химические свойства аренов





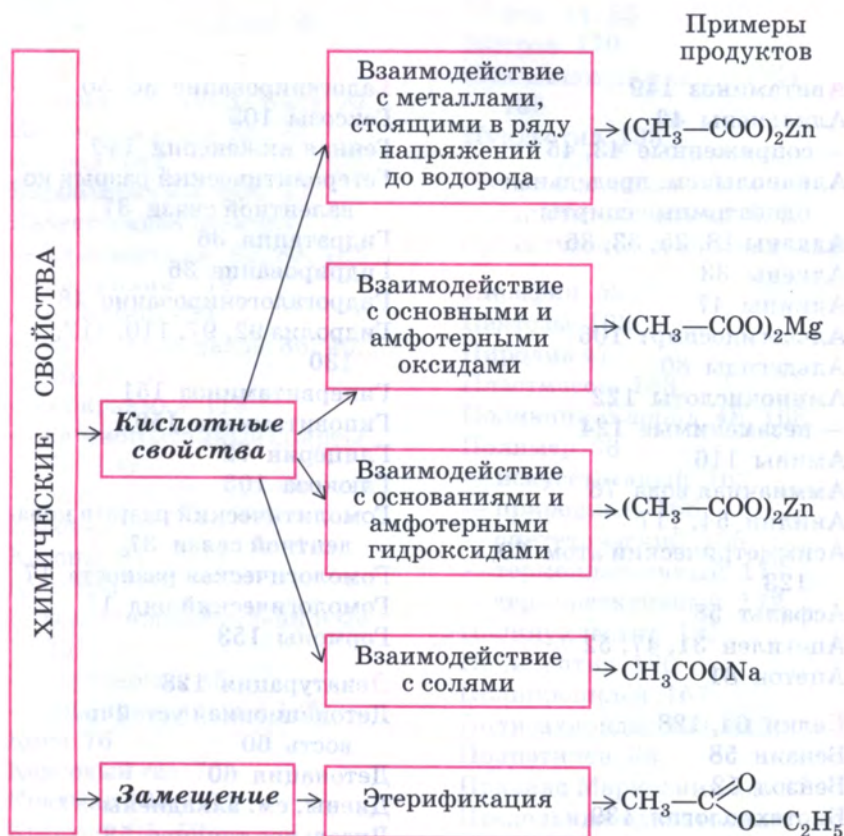
## 7. Химические свойства предельных одноатомных спиртов



## 8. Химические свойства альдегидов



## 9. Химические свойства предельных одноосновных карбоновых кислот





# Предметный указатель

- А**  
Авитаминоз 149  
Алкадиены 42  
— сопряженные 43, 45  
Алканолы, см. предельные  
одноатомные спирты  
Алканы 18, 25, 33, 36  
Алкены 33  
Алкины 47  
Альдегидоспирт 106  
Альдегиды 80  
Аминокислоты 122  
— незаменимые 124  
Амины 116  
Аммиачная вода 76  
Анилин 54, 117  
Асимметрический атом 20,  
123  
Асфальт 58  
Ацетилен 31, 47, 52  
Ацетон 81
- Б**  
Белки 64, 128  
Бензин 58  
Бензол 52  
Биотехнология 139  
Битум 58  
Брожение  
— молочнокислое 106  
— спиртовое 65, 107
- В**  
Вазелин 58  
Валентность 14, 17  
Винил 48  
Витализм 6  
Витамины 148  
Водородный показатель 145  
Волокна 164  
Вулканизация 44
- Г**  
Галогенирование 36, 50  
Гексозы 103  
Генная инженерия 140  
Гетеролитический разрыв ко-  
валентной связи 37  
Гидратация 36  
Гидрирование 36  
Гидрогалогенирование 48  
Гидролиз 92, 97, 110, 112,  
130  
Гипервитаминоз 151  
Гиповитаминоз 150  
Глицерин 72  
Глюкоза 103  
Гомолитический разрыв кова-  
лентной связи 37  
Гомологическая разность 17  
Гомологический ряд 17  
Гормоны 153
- Д**  
Денатурация 128  
Детонационная устойчи-  
вость 60  
Детонация 60  
Диены, см. алкадиены  
Дизельное топливо 58  
Дисахариды 103, 110
- Ж**  
Жиры 64, 94  
— омыление 97
- И**  
Изомерия 14, 18  
— геометрическая 19  
— межклассовая 19, 34, 67  
— оптическая 20  
— положения кратной связи  
19, 34  
— положения функциональ-  
ной группы 19, 66

- пространственная 18
- структурная 19
- углеродного скелета 19, 34, 66
- Изомеры 14
  - пространственные 19
  - структурные 19
- Каменноугольная смола** 76
- Каменный уголь 52, 75
- Капрон 169
- Карболовая кислота 77
- Качественная реакция
  - на альдегиды 82, 83, 105
  - на анилин 119
  - на белки 130
  - на кратную связь 36, 40, 45, 49, 51
  - на крахмал 113
  - на многоатомные спирты 73, 105
  - на фенол 77
- Керосин 58
- Кетоны 81
- Кислоты
  - дезоксирибонуклеиновые 135
  - карбоновые 85
  - рибонуклеиновые 135
- Кокс 76
- Коксовый газ 76
- Крахмал 103, 112
- Крекинг 35, 59
- Лавсан** 170
- Лекарства 155
- Лигроиновая фракция 58
- Макроэлементы** 63
- Масла 96
- Международная номенклатура ИЮПАК 27
- Метан 18, 25
- Метанол 66, 70
- Метиламин 117
- Микроэлементы 63
- Мономер 38
- Моносахариды 103
- Муравьиная кислота 85
- Мыла 97
- Нефть** 24, 55
- Нитрон 170
- Нуклеиновые кислоты 64, 135
- Нуклеотид 135
- Октановое число** 60
- Органическая химия 6, 9
- Органические основания 118
- Парафин** 58
- Пентозы 103
- Пироллиз 47
- Пластмассы 163
- Поливинилхлорид 48, 168
- Полимер 38
  - искусственный 162
  - природный 166
  - синтетический 166
  - термопластичный 172
  - терморезистивный 172
- Полинуклеотид 135
- Полипептид 126
- Полипропилен 167
- Полисахариды 103, 112
- Полиэтилен 38
- Правило Марковникова 37
- Предельные одноатомные спирты 65
- Предельные углеводороды, см. алканы
- Природные источники углеводородов 23
- Природный газ 23
- Простые эфиры 67, 69
- Радикал** 27
- Реакция
  - биуретовая 130
  - галогенирования 30, 36, 48
  - гидратации 36, 48



— гидрирования 36, 48, 83, 96, 106  
— горения 28, 48, 53, 68, 119  
— дегидратации 35, 69  
— дегидрирования 31, 42  
— замещения 29, 53  
— Зинина 120  
— изомеризации 61  
— ксантопротеиновая 130  
— Кучерова 49, 81  
— нитрования 54  
— поликонденсации 78, 113, 126  
— полимеризации 38, 43  
— присоединения 36, 48, 53  
— разложения 30  
— «серебряного зеркала» 82, 105  
— этерификации 70, 90, 92, 164  
Резина 43  
Ректификационная колонна 57  
Ректификационные газы 58  
Ректификация, см. фракционная перегонка  
Риформинг 61  
Сахароза 110  
Синтетические моющие средства 99  
Сложные эфиры 70, 90, 92  
Смазочные масла 58  
Соединения органические  
— азотсодержащие 116  
— амфотерные 122  
— искусственные 8  
— непредельные 33, 47  
— предельные 25  
— природные 7  
— синтетические 8  
Соляное масло 58

Степень полимеризации 39  
Структурное звено 39

Теория строения органических соединений 13, 17  
Термопласты, см. полимеры термопластичные

Углеводороды 9, 23  
Углеводы 64, 100  
Уксусная кислота 10, 87, 90  
Уксусный альдегид 49, 69, 80

Фенил 53, 77, 118  
Фенол 75  
Фенолы 74  
Ферменты 65, 130, 142  
Формальдегид 80  
Формула  
— молекулярная 21  
— перспективная Хеуорса 104

— структурная 21  
Фотосинтез 6, 64  
Фракционная перегонка 56  
Фруктоза 103, 108  
Функциональная группа 65  
— альдегидная 80  
— аминогруппа 117  
— гидроксильная 65  
— карбоксильная 84  
— карбонильная 80

Химическая связь  
— водородная 67  
— пептидная 126  
Химическое строение 16  
Хиральный атом, см. асимметрический атом

Целлюлоза 103, 112  
Циклоалканы 34

Этилен 31, 33  
Этиловый спирт 14, 35, 65

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	3
ВВЕДЕНИЕ .....	5
§ 1. Предмет органической химии .....	5
§ 2. Теория строения органических соединений ..	13
ГЛАВА ПЕРВАЯ. Углеводороды и их природные источники	
§ 3. Природный газ. Алканы .....	23
§ 4. Алкены. Этилен .....	33
§ 5. Алкадиены. Каучуки .....	42
§ 6. Алкины. Ацетилен .....	47
§ 7. Арены. Бензол .....	52
§ 8. Нефть и способы ее переработки .....	55
ГЛАВА ВТОРАЯ. Кислород- и азотсодержащие органические соединения и их природные источники	
§ 9. Единство химической организации живых организмов на Земле. Спирты .....	63
§ 10. Фенол .....	74
§ 11. Альдегиды и кетоны .....	80
§ 12. Карбоновые кислоты .....	84
§ 13. Сложные эфиры. Жиры. Мыла .....	92
§ 14. Углеводы. Моносахариды .....	100
§ 15. Дисахариды и полисахариды .....	110
§ 16. Амины. Анилин .....	116
§ 17. Аминокислоты. Белки .....	122
§ 18. Нуклеиновые кислоты .....	135
§ 19. Ферменты .....	142
§ 20. Витамины, гормоны, лекарства .....	148
ГЛАВА ТРЕТЬЯ. Искусственные и синтетические полимеры	
§ 21. Искусственные полимеры .....	162
§ 22. Синтетические органические соединения ..	166
ЛАБОРАТОРНЫЕ ОПЫТЫ	
1. Определение элементного состава органических соединений .....	174
2. Изготовление моделей молекул углеводов	174



3. Обнаружение непредельных соединений в жидких нефтепродуктах . . . . .	175
4. Получение и свойства ацетилена . . . . .	175
5. Ознакомление с коллекцией «Нефть и продукты ее переработки» . . . . .	175
6. Свойства этилового спирта . . . . .	176
7. Свойства глицерина . . . . .	176
8. Свойства формальдегида . . . . .	177
9. Свойства уксусной кислоты . . . . .	177
10. Свойства жиров . . . . .	177
11. Сравнение свойств растворов мыла и стирального порошка . . . . .	178
12. Свойства глюкозы . . . . .	178
13. Свойства крахмала . . . . .	179
14. Свойства белков . . . . .	179
15. Знакомство с образцами пластмасс, волокон и каучуков . . . . .	179

## **ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ**

---

Практическая работа № 1. Идентификация органических соединений . . . . .	180
Практическая работа № 2. Распознавание пластмасс и волокон . . . . .	181

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

---

1. Основные классы углеводов . . . . .	183
2. Производные углеводов . . . . .	183
3. Химические свойства алканов . . . . .	184
4. Химические свойства алкенов . . . . .	184
5. Химические свойства алкинов . . . . .	185
6. Химические свойства аренов . . . . .	185
7. Химические свойства предельных одноатомных спиртов . . . . .	186
8. Химические свойства альдегидов . . . . .	186
9. Химические свойства предельных одноосновных карбоновых кислот . . . . .	187

<b>ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ . . . . .</b>	<b>188</b>
---------------------------------------	------------

---



ΔΡΟΦΑ

ISBN 978-5-358-12176-8



9 785358 121768