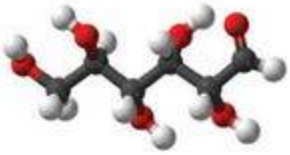


М. К. Оспанова
К. С. Аухадиева
Т. Г. Белоусова

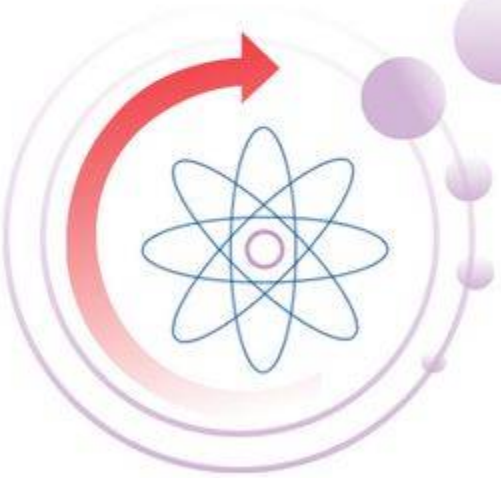
ХИМИЯ

Часть 2

10

Учебник для 10 классов естественно-математического направления общеобразовательных школ

Утверждено Министерством образования и науки Республики Казахстан



Алматы "Мектеп" 2019

УДК 373.167.1
ББК 24.1я72
О-76

Оспанова М.К. и др.

О-76 **Химия.** Учебник для 10 кл. естеств.-матем. направления общеобразоват. шк. Часть 2/ М. К. Оспанова, К. С. Аухадиева, Т. Г. Белоусова. — Алматы: Мектеп, 2019. — 200 с., илл.

ISBN 978—601—07—1122—8

О $\frac{4306021500—048}{404(05)—19}$ 60(1)—19

УДК 373.167.1
ББК 24.1я72

© Оспанова М. К., Аухадиева К. С., Белоусова Т. Г., 2019
© Издательство "Мектеп", художественное оформление, 2019
Все права защищены
Имущественные права на издание принадлежат издательству "Мектеп"

ISBN 978—601—07—1122—8

Глава IX
Аналитические методы

Глава X
Элементы 17 (VIIA) группы

Глава XI
Элементы 2 (IIA) группы

Глава XII
Введение в органическую химию

Глава XIII
Непредельные углеводороды

Глава XIV
Галогеналканы

Глава XV
Спирты одноатомные, многоатомные

Условные обозначения :

— Вопросы и упражнения

— Задачи

— Повышенный уровень

— Дополнительный материал

— Домашний эксперимент

— Запомни

— Это интересно!

— Самое важное

— топ-10

— Подумай!

Глава IX

АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

§ 52. АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В СОВРЕМЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Сегодня на уроке:

- узнаем области применения физических и физико-химических методов исследования.

Ключевые понятия

- элементный анализ
- функциональный анализ
- молекулярный анализ
- фазовый анализ

Все бо́льшую роль в современных исследованиях играют физические и физико-химические методы исследования, предназначенные для выделения и очистки соединений, а также для установления их состава и строения.

Виды анализа

Элементный анализ — это установление наличия и количественного содержания химических элементов в веществе, то есть нахождение его элементного состава.

Функциональный анализ — это установление наличия и количественного содержания функциональных групп в молекулах органических соединений.

Молекулярный анализ — это установление наличия и количественного содержания молекул индивидуальных химических соединений в веществе, смесях и материалах.

Фазовый анализ — это анализ вещества на наличие в нем отдельных фаз, различающихся по своим химическим и физическим свойствам и отделенных друг от друга поверхностями раздела.

Современные методы *хроматографии* позволяют быстро отделить вещество от примесей (препаративная хроматография) и проверить его химическую индивидуальность (аналитическая хроматография).

Для установления строения химических соединений важное значение имеет *молекулярная спектроскопия*, с помощью которой определяются расстояния между атомами, симметрия, наличие функциональных групп и другие характеристики молекулы, а также изучается механизм химических реакций. Электронная энергетическая структура атомов и молекул, величина эффективных зарядов выясняются посредством эмиссионной и абсорбционной рентгеновской спектроскопии. Геометрия молекул исследуется методами рентгеновского структурного анализа.

Обнаружение взаимодейст вия между электронами и ядрами атомов (обуславливающего сверхтонкую структуру их спектров), а также между внешними и внутренними электронами позволило создать такие методы установления строения молекул, как *ядерный магнитный резонанс* (*ЯМР*), *электронный парамагнитный резонанс* (*ЭПР*), *ядерный квадрупольный резонанс* (*ЯКР*), *гамма-резонансная спектроскопия*. Особую роль по широте применения приобрела ЯМР-спектроскопия.

Физико-химические методы находят применение не только в синтетической химии. Не меньшее значение они имеют и при изучении кинетики химических реакций, а также их механизмов. Основная задача любого опыта по изучению скорости реакции — точное измерение изменяющейся во времени, и притом обычно очень небольшой, концентрации реагирующего вещества. Для решения этой задачи в зависимости от природы вещества можно использовать и *хроматографические* методы, и различные виды спектрального анализа, и методы электрохимии.

Масс-спектрометрия — метод анализа, основанный на ионизации молекул веществ, разделении образующихся ионов и их регистрации. Масс-спектрометрия позволяет определить молекулярную массу вещества, молекулярную формулу и строение вещества (степень водородной ненасыщенности, наличие и тип циклического ядра, функциональные группы в органических соединениях и т. д.). Масс-спектрометрия представляет собой совокупность трех отдельных процессов: ионизация молекулы, разделение ионов по массам, детектирование ионов. Первое, что надо сделать для того, чтобы получить масс-спектр, — превратить нейтральные молекулы и атомы, составляющие любое органическое или неорганическое вещество, в заряженные частицы — ионы . Этот процесс называется *ионизацией* и по-разному осуществляется для органических и неорганических веществ.

Наиболее универсальный метод ионизации вещества — электронный удар. При электронном ударе (ЭУ) органическое вещество бомбардируется потоком быстрых электронов, которые выбивают электроны из молекул вещества. При этом молекула может распадаться на несколько характерных частей, что дает дополнительные возможности идентификации и исследования структуры неизвестных веществ. При ионизации большинство небольших молекул приобретает только один положительный или отрицательный заряд. Чем больше молекула, тем больше вероятность того, что во время ионизации она превратится в многозарядный ион. Полученные при ионизации ионы с помощью электрического поля переносятся в масс-анализатор. Там начинается второй этап масс-спектрометрического анализа — сортировка ионов по массам (точнее, по отношению массы к заряду, или m/z). Итак, последним элементом описываемого нами упрощенного масс-спектрометра является детектор заряженных частиц, где можно детектировать следо-

вые количества веществ до 10^{-14} граммов. Этот факт говорит о том, что данный метод эффективен при анализе высокомолекулярных соединений с массой до нескольких, например, 1 млн. белков, полипептидов, синтетических полимеров и др.

Знаешь ли ты?

Ученые Мадридского политехнического университета создали "электронный нос". Данный "нос" можно запрограммировать так, чтобы он распознавал индивидуальный запах человека и "обнюхивал" людей для их идентификации. Принцип работы "электронного носа" основан на методе масс-спектрометрического химического анализа. Это значит, что для каждого конкретного пользователя аппарата можно разработать "ароматическую подпись". Математическую расшифровку, которую можно включить в биометрический паспорт, с которым пассажиры авиарейсов проходят пограничный контроль.

В современных исследованиях широко применяются физические и физико-химические методы исследования для выделения и очистки соединений, для установления их состава и строений, а также для изучения кинетики и механизма химических реакций.

Масс-спектрометрия — метод анализа, основанный на ионизации молекул веществ, разделении образующихся ионов и их регистрации. Масс-спектрометрия позволяет определить молекулярную массу вещества, молекулярную формулу и строение вещества.

1. Какие физико-химические методы анализа существуют?
2. Какие исследования проводятся с помощью физико-химических методов?
3. Что из себя представляет масс-спектроскопия и где она применяется?
4. Из каких процессов состоит масс-спектроскопия?
5. Что является основным условием для получения масс-спектра?
6. Каково применение масс-спектрометрии в нашей жизни?
7. Подготовьте сообщение-проект об "электронном носе". Почему данный проект так важен в наше время?

§ 53. ХРОМАТОГРАФИЯ

Сегодня на уроке:

- научимся описывать принцип разделения веществ методом бумажной хроматографии.

Рассмотрим некоторые методы анализа веществ подробнее. ***Хроматография*** дословно в переводе с греч. *chromatos* — "цвет, окраска", *gramma* — "считывание" и *grapho* — "пишу цветом". Однако у хроматографии есть более точное определение — ***это метод разделения и анализа смесей***. Разработал этот удивительный метод разделения смесей на отдельные компоненты Михаил Семенович Цвет в 1903 г.

Ключевые понятия

- хроматография
- бумажная хроматография
- носитель
- неподвижная фаза
- подвижная фаза
- хроматограмма

Этот метод основан на разной скорости движения частиц растворителя и различных веществ (например, чернил и т. п.) по поверхности бумаги (бумажная хроматография) или другого носителя.

Хроматография может быть *бумажной* и *тонкослойной* (схема 5). Вместе они составляют *планарную хроматографию*.

Планарная хроматография — *метод анализа, в котором процессы разделения смеси веществ осуществляются в плоском слое сорбента*.

Схема 5

В ***бумажной*** хроматографии в качестве сорбента используется специальная бумага.

В ***тонкослойной*** хроматографии процессы разделения происходят в тонких слоях сорбента, нанесенного на инертную твердую подложку, или в пленках пористого полимерного материала.

Бумажная и *тонкослойная* хроматографии одинаковы по технике выполнения анализа.

Бумажная хроматография является важным методом исследования малых количеств многих органических веществ, особенно в биохимии и химии природных соединений. Применение этого способа для разделения аминокислот в продуктах гидролиза белков, для изучения смесей различных природных веществ, для установления состава многих сложных реакционных смесей дало такие результаты, которые невозможно было получить другим путем (рис. 62).

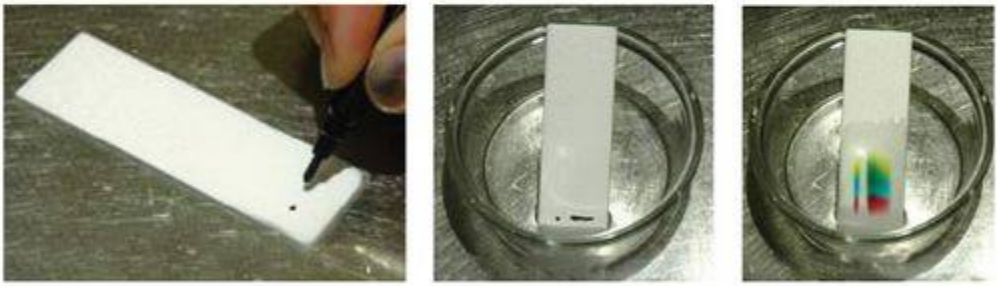


Рис. 62. Техника выполнения планарной хроматографии

Знаешь ли ты?

Метод "бумажная хроматография" был открыт в 1944 г. К. Г. Мартином и Р. Л. Сингом, которые использовали его для анализа смесей аминокислот. Мартин и Синг впоследствии были удостоены Нобелевской премии за открытие распределительной хроматографии.

Роль ***носителя*** выполняет специальная бумага для хроматографии или обычная фильтровальная бумага хорошего качества. Бумага должна быть химически чистой, однородной по толщине и плотности, обеспечивать определенную скорость движения растворителя и содержать нужное количество неподвижной фазы, где происходит разделение смеси веществ. Бумага может быть модифицирована в соответствии с поставленными задачами. Она может быть изготовлена из стекловолокна. Такая бумага устойчива к коррозионно-активным реагентам и обладает низкой адсорбционной способностью.

Неподвижной жидкой фазой чаще всего служит вода, адсорбированная волокнами фильтровальной бумаги, или другой полярный растворитель. В качестве ***подвижной фазы*** применяют полярные растворители, например, бутанол, бензиловый спирт, фенол, крезолы и их смеси.

Способы осуществления бумажной хроматографии. Известны следующие способы осуществления бумажной хроматографии, характеризующиеся разной техникой выполнения: *одномерная, двумерная, круговая и электрофоретическая* . Одномерная и двумерная хроматография может быть как *восходящей* , так и *нисходящей* .

При *одномерной восходящей хроматографии* (рис. 63) вырезают полоску из бумаги и отмечают на ней линию старта на расстоянии около 2 см от нижнего конца бумаги и линию финиша. На линию старта с

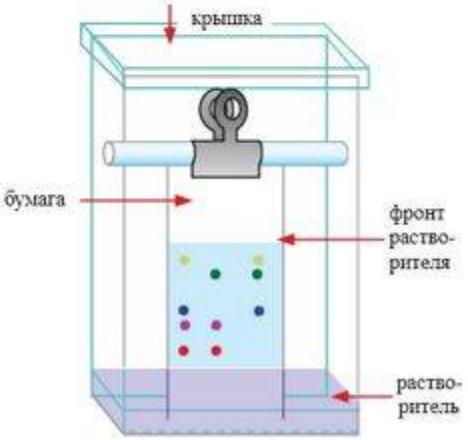


Рис. 63. Восходящий вариант бумажной хроматографии

Рис. 64. Схема разделения ионов Ba^{2+}, Pb^{2+}, UO_2^{2+}, Fe^{3+}, Cu^{2+}

помощью микропипетки или капилляра наносят каплю анализируемой смеси веществ, рядом — капли свидетелей. Свидетели — это вещества, присутствие которых предполагают в анализируемой смеси. Подготовленную таким образом бумажную полосу помещают в хроматографическую камеру. Роль камеры может выполнять обычный стеклянный цилиндр. На дно камеры наливают растворитель (подвижная фаза), насыщенный неподвижной фазой (вода). Бумагу закрепляют таким образом, чтобы она свободно спадала вниз, не касаясь стенок камеры, а нижний конец был опущен в жидкость. Следует помнить, что линия старта с нанесенными каплями не должна касаться растворителя. В процессе хроматографирования подвижная жидкость под действием капиллярных сил поднимается вверх по бумаге, разделяя компоненты на отдельные зоны, так как компоненты смеси движутся с разной скоростью, то и выходят они на различном расстоянии от линии старта. Когда фронт растворителя поднимется до линии финиша, пластинку вынимают из камеры, сушат и проявляют. Чаще всего проявление осуществляют с помощью веществ, которые образуют окрашенные соединения с компонентами смеси. Полоску бумаги опрыскивают раствором соответствующего реагента. Качественно определить вещества на хроматограмме можно по люминесценции в УФ-свете.

Методом восходящей хроматографии можно провести анализ смеси катионов (рис. 64).

Одномерную нисходящую хроматограмму можно получить, изменив методику проведения анализа (рис. 65). Подвижный растворитель,

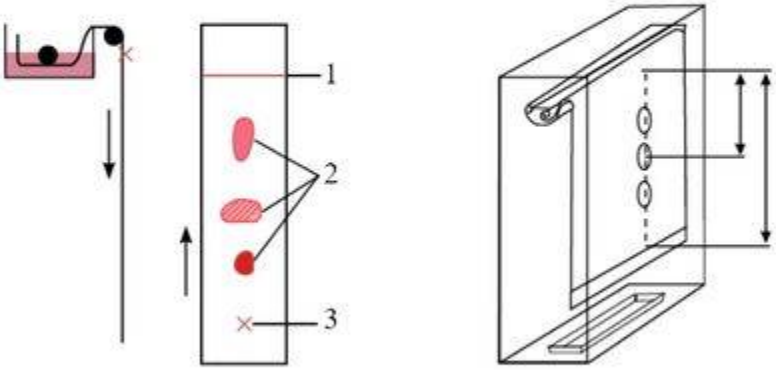


Рис. 65. Вариант нисходящей хроматографии:
1 — фронт растворителя, 2 — разделенные вещества, 3 — место нанесения образца

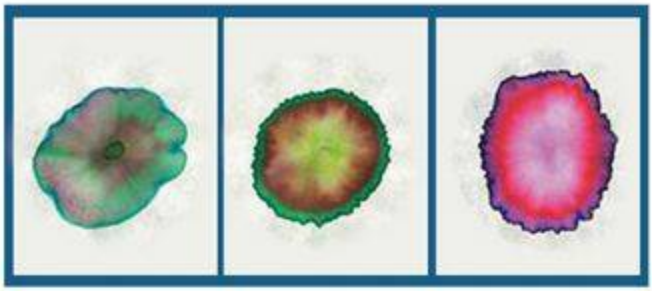


Рис. 66. Бумажная хроматография

насыщенный неподвижным растворителем, наливают в кювету, закрепленную в верхней части камеры. На дно камеры помещают бюкс с неподвижным растворителем, насыщенным подвижным растворителем. Это необходимо для того, чтобы предотвратить испарение растворителя с бумаги. На полоску бумаги на расстоянии 5 см от верхнего края наносят капли растворителя и свидетелей. Бумагу высушивают. Затем верхний край полоски бумаги погружают в верхнюю кювету с подвижной фазой. Под действием капиллярных сил и сил тяжести растворитель перемещается вниз по полоске. Хроматографирование заканчивают, когда фронт растворителя достигнет нижнего края бумаги. Проявление хроматограммы осуществляют по аналогии с восходящим методом.

В том случае, когда *сложную смесь нельзя разделить с помощью одного растворителя, применяют последовательно два растворителя с различными коэффициентами распределения.*

Качественная и количественная оценка хроматографического разделения на бумаге. Для оценки способности разделения веществ на бумаге используют коэффициент распределения R_f — отношение расстояния от центра пятна на бумаге (x) до линии старта к расстоянию, пройденному растворителем (x_f) от линии старта до линии финиша.

$$R_f = x / x_f.$$

Чем больше различие в значениях R_f разделяемых веществ, тем лучше они разделяются. Коэффициент R_f зависит от многих факторов: *природы носителя, хроматографируемых веществ, растворителей и условий проведения эксперимента* .

С помощью бумажной хроматографии можно разделить и проанализировать практически все классы химических соединений, в том числе аминокислоты, сахара.

Достоинства бумажной хроматографии: возможность разделения малых количеств веществ (0,001—1 мкг), высокая чувствительность, простота аппаратуры (рис. 66).

Хроматография — это метод разделения и анализа смесей. Этот метод основан на разной скорости движения частиц растворителя и различных веществ по поверхности бумаги или другого носителя. Хроматография бывает *бумажной*, или *тонкослойной* . **Бумажная хроматография** является важным методом исследования малых количеств многих органических веществ, особенно в биохимии и химии природных соединений.

1. В чем сущность распределительной хроматографии? Охарактеризуйте бумажную хроматографию как разновидность распределительной хроматографии.
2. Какие требования предъявляются к бумаге, используемой в бумажной хроматографии?
3. Как "проявляют" хроматограмму, полученную при хроматографировании смесей неокрашенных веществ?
4. Как количественно оценивают способность различных веществ к разделению на бумаге?
5. Какое свойство разделяемых веществ характеризуется показателем R_f? В чем его физический смысл? Какие факторы влияют на величину R_f?
6. Как проводится хроматография на бумаге и какой простейший прибор можно для этого использовать?
7. Каковы достоинства и недостатки бумажной хроматографии?
8. Значение R_f при хроматографическом разделении ионов на бумаге в среде бутанола, насыщенного 2 М раствором HCl составляют: Cd — 0,6; Zn — 0,6; Bi — 0,5; Al — 0,1; Ca — 0,0. Какие из ионов не могут быть четко идентифицированы из смеси: а) Zn, Al, Ca; б) Cd, Zn, Ca; в) Bi, Al, Ca?

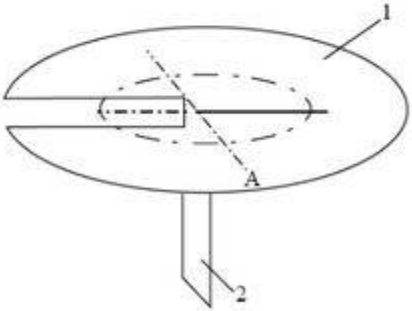
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Бумажная хроматография

Приборы и реактивы: круглый обеззоленный фильтр "синяя лента"; микропипетка; анализируемый раствор, содержащий ионы Fe^{3+} и Cu^{2+}; хроматографическая камера (эксикатор); кристаллизатор с растворителем (смесь 90% этанола и 5М HCl), 10%-ный раствор $K_4[Fe(CN)_6]$.

Техника безопасности. Требуется соблюдение правил работы с растворами кислот, щелочей и нагревательными приборами.

Ход определения: возьмите круглый обеззоленный фильтр "синяя лента". Простым карандашом начертите "фитиль" длиной 40 мм и шириной 4 мм. В центр фильтра нанесите микропипеткой 0,05 мл раствора, содержащего катионы Fe^{3+} и Cu^{2+} (в количестве 20—50 мкг каждого). Раствор не выливайте на фильтр, а постепенно выпускайте его из пипетки, чтобы впитывание происходило за счет капиллярных сил бумаги. Образовавшееся первоначальное пятно осторожно обведите простым карандашом, т. е. фиксируйте его положение на бумаге. Дайте фильтру высохнуть и вырежьте "фитиль". Затем откройте эксикатор (т. е. хроматографическую камеру), поставьте в него кристаллизатор, в который налит растворитель. Положите фильтр сверху на кристаллизатор, следя при этом, чтобы "фитиль" был погружен в растворитель. В качестве растворителя используйте смесь с массовыми долями этанола 90% и 5М HCl (по объему); кислоту добавляют к органическому растворителю, чтобы предотвратить адсорбцию ионов бумагой. Закройте эксикатор крышкой и оставьте на некоторое время для размывания первичной хроматограммы растворителем. После этого достаньте фильтр из эксикатора, отметьте карандашом границы фронта растворителя и дайте растворителю испариться. Для проявления зон локализации ионов Fe^{3+} и Cu^{2+} опрысните фильтр раствором $K_4[Fe(CN)_6]$ из пульверизатора. В результате на хроматограмме проявляются синяя кольцевая зона $K_4[Fe(CN)_6]_3$ и коричневая кольцевая зона $Cu_2[Fe(CN)_6]$. По ширине зоны локализации катиона иногда удается судить о концентрации его в исследуемом растворе. Вычислите по формуле коэффициенты движения для катионов Fe^{3+} и Cu^{2+}. Началом пути обоих катионов считайте наружную границу первоначального пятна (отмеченную карандашом), а концом пути — наружные границы образовавшихся после проявления кольцевых зон ионов. Расстояние, пройденное фронтом растворителя, считайте от центра хроматограммы, т. е. от центра фильтра.



Бумага для круговой хроматограммы:
1 — круглый фильтр; 2 — "фитиль", погруженный в растворитель:
А — место нанесения анализируемого раствора

Глава
X

ЭЛЕМЕНТЫ 17 (VIIA) ГРУППЫ

§ 54. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ ГАЛОГЕНОВ

Сегодня на уроке:

- изучим закономерности изменения свойств галогенов в группе.

Ключевые понятия

- галогены
- физические свойства
- степень окисления
- электроотрицательность
- окислитель
- восстановитель

Вам известно, что в периодической системе элементов галогены составляют главную подгруппу VII группы. Галогены — это фтор F, хлор Cl, бром Br, йод I. В этой подгруппе также расположен At, свойства которого мало изучены.

♦ Полученный в 2009—2010 гг. в Объединенном институте ядерных исследований в Дубне (Россия, Московская обл.) 117-й элемент, теннессин Ts, также находится формально в группе галогенов, однако по химическим свойствам может существенно отличаться от них, как и астат.

Галогены гораздо больше похожи между собой, чем неметаллы других групп. Они относятся к самым активным неметаллам. Атомы этих элементов содержат на внешнем энергетическом уровне семь электронов, и до его завершения им недостает только одного электрона, поэтому галогены проявляют яркие окислительные свойства (рис. 67).

В своих бинарных соединениях с металлами и водородом галогены имеют степень окисления, равную –1, например: NaF^{-1}, KF^{-1}, HCl^{-1}.

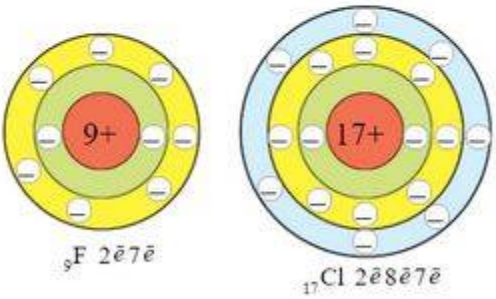


Рис. 67. Схема электронного строения атомов фтора и хлора

Из-за высокой окислительной способности галогены в природе в свободном виде практически не встречаются, они входят в состав различных солей. Отсюда произошло название "галогены" — "солероды".

С увеличением атомного номера галогенов растет заряд ядра их атомов, увеличивается число электронных слоев, а следовательно, увеличиваются радиусы атомов. В результате этого уменьшается электроотрицательность элементов, ослабевают их неметаллические свойства:

увеличение окислительных свойств ←

F Cl Br I

→ увеличение восстановительных свойств

В соединениях с более электроотрицательными элементами (F, O, N) атомы хлора, брома и йода проявляют положительные степени окисления +1, +3, +5, +7, например:

$$H\overset{+1}{Cl}O,\ \ I^{+3}F_3,\ \ K\overset{+5}{Cl}O_3,\ \ Cl_2^{+7}O_7.$$

Знаешь ли ты?

"Фторос" — "разрушающий". Работа с простым веществом фтором опасна: малейшая неосторожность — и у человека разрушаются зубы, обезображиваются ногти, повышается хрупкость костей, кровеносные сосуды становятся ломкими.

В истории фтора немало трагических страниц. Анри Муассан был удостоен Нобелевской премии за открытие фтора. Когда Муассан докладывал Парижской академии наук о своем открытии, один глаз его был закрыт черной повязкой.

Состав и физические свойства простых веществ. Простые вещества галогены состоят из двухатомных молекул: F_2, Cl_2, Br_2, I_2. Химическая связь между атомами в молекулах простых веществ — ковалентная неполярная.

С увеличением молекулярной массы галогенов температуры плавления и кипения простых веществ повышаются, увеличивается их плотность, усиливается интенсивность окраски (табл. 36). Это связано прежде всего с усилением межмолекулярного взаимодействия. Все галогены имеют резкий характерный запах и являются очень токсичными веществами.

Таблица 36

Свойства галогенов

Галоген	Валентные электроны	Формула простого вещества	Молярная масса, г/моль	Цвет, агрегатное состояние
1	2	3	4	5
Фтор	$2s^2 2p^5$	F_2	38	При обычных условиях фтор — бледно-желтый газ. Попытка получить в свободном виде в больших количествах чревата последствиями

Продолжение

1	2	3	4	5
Хлор	$3s^2 3p^5$	Cl_2	71	Желто-зеленый ядовитый газ с характерным удушливым запахом (запах хлорки)
Бром	$4s^2 4p^5$	Br_2	160	Легколетучая бурая жидкость (пары брома сильно ядовиты, ожоги бромом очень болезненны и долго не заживают). Очень летуч, поэтому содержится в запаянных ампулах
Йод	$5s^2 5p^5$	I_2	254	Серо-черное твердое кристаллическое вещество с металлическим блеском, легко сублимируется в пар фиолетового цвета

Знаешь ли ты?

"Бромос" — "зловонный". Открыл этот элемент А. Ж. Балар, получив его при исследовании жидкости из растворенной в воде золы морских водорослей.

Даже при слабом нагревании йод, не плавясь, превращается в пары фиолетового цвета. Отсюда и произошло название "йод", что значит в переводе с греческого "фиолетовый". Такое особое состояние вещества, когда при переходе из твердого состояния в газообразное, минуя жидкое, называется *возгонкой*, или *сублимацией*.

Возгонка (сублимация) йода

Молекулы галогенов неполярные, поэтому в воде галогены растворяются относительно слабо, но они хорошо растворимы в органических растворителях (рис. 68). Например, в 1 объеме воды при 20°С раство-

а) *б*) *в*)

Рис. 68. Образцы галогенов:
а) хлор; *б*) бром; *в*) йод

ряется 2,5 объема хлора. Водные растворы хлора и брома называются соответственно *хлорной водой* и *бромной водой*. Жидкость, называемая *йодом* в домашней аптечке, — это на самом деле раствор свободного йода в спирте. Водные растворы брома (бромная вода) и йода (йодная вода) имеют одинаковую бурую окраску. Раствор йода легко обнаруживается с помощью крахмала, с которым он образует черно-синее окрашивание. Эта качественная реакция йода на крахмал и наоборот.

Знаешь ли ты?

"Йодос" — "фиолетовый". Открыл элемент Б. Куртуа. Любимый кот ученого прыгнул на бутылки, содержащие золу морских водорослей в спиртовом растворе и концентрированную серную кислоту. Бутылки разбились, жидкости смешались, с пола стали подниматься клубы сине-фиолетового пара, который и оказался йодом.

Галогены — самые активные неметаллы. Молекулы галогенов двухатомные, а кристаллическая решетка молекулярная. С возрастанием атомного номера галогенов летучесть галогенов уменьшается: при обычных условиях фтор и хлор — газы, бром — жидкость, а йод — твердое вещество. При слабом нагревании йод, не плавясь, превращается в пары фиолетового цвета. Такое особое состояние вещества, когда при переходе из газообразного состояния в твердое, минуя жидкое, называется **возгонкой**, или **сублимацией**.

1. Дайте общую характеристику галогенам на основании их нахождения в периодической системе.
2. Охарактеризуйте особенности строения атомов галогенов и их электронную конфигурацию внешнего слоя.
3. Какие свойства проявляют галогены в химических реакциях?
4. Почему в природе не встречаются галогены в форме простых веществ?
5. Охарактеризуйте изменение физических свойств галогенов в зависимости от их атомных масс.
6. Как изменяется окислительная способность галогенов с увеличением атомного номера? Почему?
7. Чем сходны по строению и чем отличаются следующие частицы:
   а) Cl^0 и Cl^-; б) Cl^0 и Br^0; в) F^0 и Ne^0?
8. Что называется *возгонкой*? Какой из галогенов обладает таким свойством?
9. Почему фтор проявляет степень окисления только −1, а другие галогены проявляют степени оксиления −1, 0, +1, +3, +5, +7?
10. Определите степень окисления элементов в следующих соединениях галогенов: F_2, KBr, OF_2, $HClO_3$, BaI_2, NaClO, Br_2, $Ba(ClO_4)_2$, KI, MgF_2.
11. Определите вид химической связи в следующих веществах: F_2, OF_2, Cl_2O, I_2, NaBr, CCl_4, CaI_2, HF.
12. Элемент астат находится в VIIA (17) группе периодической системы. Определите характеристики этого элемента, используя данные таблицы.

Элемент	Температура плавления (°C)	Температура кипения (°C)	Радиус атома (нм)
Фтор	–219	–188	0,072
Хлор	–101	–35	0,099
Бром	–7	59	0,114
Йод	114	184	0,133

а) Напишите состав атома астата.
б) Покажите диаграмму Бора для атома астата.
в) Напишите электронную конфигурацию для электронов внешнего уровня атома астата.
г) Определите, чем является астат: металл или неметалл?
д) Какая формула молекулы астата?
ж) Предскажите температуры плавления и кипения для астата, опираясь на данные таблицы.
з) Какое агрегатное состояние имеет астат при комнатной температуре?
л) Предскажите радиус атома для астата.
м) Напишите уравнение реакции астата с: а) натрием; б) водородом.

Опыты с йодом

1. Налейте в пробирку несколько капель йода (йодной настойки) и немного нагрейте. Наблюдайте возгонку кристаллов йода. Опишите свои наблюдения.

2. Прибавьте к нескольким каплям йодной настойки немного воды и полученным раствором определите присутствие крахмала в разных продуктах питания. Для этого нанесите каплю раствора на срезы картофеля и моркови, на муку, кусочек белого или черного хлеба, горошину, освобожденную от оболочки, зеленый лист, сорванный на дневном свету. Результаты исследования запишите.

§ 55. ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ГАЛОГЕНОВ

Сегодня на уроке:

- рассмотрим окислительно-восстановительные свойства галогенов.

Ключевые понятия

- галоген
- химические свойства

Химическая активность простых веществ галогенов очень высока. Они проявляют сильные окислительные свойства, энергично реагируя с металлами и большинством неметаллов, окисляют ряд сложных веществ. Фтор среди всех неметаллов самый химически активный элемент. Он реагирует почти со всеми простыми и сложными веществами, включая инертные газы. Например, при облучении фтор реагирует с ксеноном:

$$Xe + F_2 = XeF_2 + 152 \text{ кДж}.$$

Удивительно, в его атмосфере горят такие устойчивые вещества, как стекло (в виде ваты), а водяной пар горит в нем ярким светло-фиолетовым пламенем! Реакция заключается в замещении в воде кислорода фтором:

$$2F_2^0 + 2H_2^{+1}O^{-2} = 4H^+F^-\uparrow + O_2^0\uparrow$$

$$SiO_2 + 2F_2 = SiF_4 + O_2\uparrow$$

В этой реакции фтор является окислителем, а кислород — восстановителем. Это доказывает, что фтор более активный неметалл, чем кислород.

Особенно ярко окислительные свойства галогенов проявляются при их взаимодействии с металлами. Фтор реагирует со всеми металлами без исключения, с большинством из них без нагревания:

$$Mg^0 + F_2^0 \overset{t}{=} Mg^{+2}F_2^{-1}$$

Непосредственно фтор не реагирует только с кислородом, азотом и углеродом (в виде алмаза).

Остальные галогены реагируют с металлами обычно при нагревании (рис. 69):

$$2Fe^0 + 3Cl_2^0 \overset{t}{=} 2Fe^{+3}Cl_3^{-1}$$

$$Cu^0 + Br_2^0 \overset{t}{=} Cu^{+2}Br_2^{-1}$$

$$2Al^0 + 3I_2^0 \overset{t}{=} 2Al^{+3}I_3^{-1}$$

Рис. 69. Горение железа в хлоре

Подобная закономерность наблюдается и в реакциях галогенов с водородом. Если фтор взаимодействует с водородом в любых условиях со взрывом, то смесь хлора с водородом реагирует со взрывом только при поджигании или облучении прямым солнечным светом, бром взаимодействует с водородом при нагревании и без взрыва. Реакция же соединения йода с водородом при нагревании протекает медленно. В результате этих реакций (запишите их уравнения самостоятельно) образуются соответственно *фтороводород HF, хлороводород HCl, бромоводород HBr и йодоводород HI*. В этих реакциях наглядно проявляется ослабление окислительных свойств простых веществ галогенов от фтора к йоду.

Хлор вытесняет из воды кислород и соединяется с водородом, образуя хлороводород. Но первоначально при растворении хлора в воде образуются две кислоты: хлороводородная, или соляная, и хлорноватистая:

$$Cl_2 + H_2O = HCl + HClO$$

Поскольку хлорноватистая кислота неустойчива в растворе, она разлагается на хлороводород и кислород.

$$HClO = HCl + O$$

При этом образуется атомарный кислород.

$$O + O = O_2\uparrow$$

$$2Cl_2^0 + 2H_2^+O^{-2} = 4H^+Cl^- + O_2^0\uparrow$$

При взаимодействии хлора с холодными растворами щелочей образуются соответствующие соли этих кислот:

$$Cl_2^0 + 2Na^+O^{-2}H^+ = \underset{\text{хлорид натрия}}{Na^+Cl^-} + \underset{\text{гипохлорит натрия}}{Na^+Cl^+O^{-2}} + H_2^+O^{-2}$$

Полученные растворы называются *жавелевой водой*, которая, как и хлорная вода, обладает сильными окислительными свойствами благодаря наличию иона ClO^- и применяется для отбеливания тканей и бумаги. С горячими растворами щелочей хлор образует соответствующие соли соляной и хлорноватистой кислот:

$$3Cl_2^0 + 6Na^+O^{-2}H^+ = 5Na^+Cl^- + Na^+Cl^{+5}O_3^{-2} + 3H_2^+O^{-2}$$

$$3Cl_2 + 6KOH = 5KCl + KClO_3 + 3H_2O$$

Образовавшийся хлорат калия $KClO_3$ называется *бертолетовой солью*.

Обе реакции — взаимодействие хлора с щелочами — особые окислительно-восстановительные реакции, в них степень окисления меняет только один элемент — хлор. Такие реакции называют *диспропорционированием*.

! Вспомните, как называются реакции, в которых степень окисления меняет только один и тот же элемент.

Галогены вытесняют друг друга из их соединений. Прильем к раствору бромида натрия хлорную воду. Раствор тотчас окрасится в бурый цвет, свойственный брому. Хлор заместил в бромиде натрия бром, и бром выделился в свободном виде:

$$2Na^+Br^- + Cl_2^0 = 2Na^+Cl^- + Br_2^0$$

В этой реакции хлор является окислителем, а бром — восстановителем.

Знаешь ли ты?

Если грозовое облако "засеять" йодидом серебра или йодидом свинца, то вместо града в облаке образуется мелкодисперсная снежная крупа: засеянное такими солями облако проливается дождем и не вредит посевам.

Прильем хлорную воду к раствору йодида калия. В этом случае окраска также станет бурой, но сейчас выделяется йод. В этом легко

убедиться, добавив крахмал; окраска крахмала станет черно-синей. И в этой реакции хлор заместил йод, и йод выделился в свободном виде:

$$2K^{+}I^{-} + Cl_2^0 = 2K^{+}Cl^{-} + I_2^0$$

В этой реакции хлор является окислителем, а йод — восстановителем. В аналогичных превращениях бром вытесняет йод из его соединений. Таким образом, данные опыты доказывают, что:

— фтор вытесняет все галогены из их соединений с водородом и металлами;

— хлор вытесняет только бром и йод;

— бром вытесняет только йод;

— йод не может вытеснить ни один из галогенов;

— окислительные свойства галогенов уменьшаются от фтора к йоду.

В остальных химических реакциях галогены проявляют сходные химические свойства с хлором.

Знаешь ли ты?

Газы вулканического происхождения иногда содержат фтористый водород. Наиболее известный природный источник таких газов – фумаролы Долины Тысячи Дымов (Аляска). Ежегодно с вулканическим дымом в атмосферу уносится около 200 тыс. т фтористого водорода.

Атомы галогенов содержат на внешнем энергетическом уровне семь электронов, и до его завершения им недостает только одного электрона, поэтому галогены ярко проявляют окислительные свойства. Из-за высокой окислительной способности галогены в природе в свободном виде практически не встречаются, они входят в состав различных солей. Отсюда произошло название "галогены" — "солероды". Окислительные свойства галогенов от фтора к йоду уменьшаются.

1. Почему галогены проявляют сильные окислительные свойства?
2. Как изменяются окислительные свойства галогенов в группе и почему?
3. Осуществите следующие превращения:
   1) $HCl \rightarrow Cl_2 \rightarrow KClO_3 \rightarrow KCl \rightarrow AgCl$
   2) $Br_2 \rightarrow HBr \rightarrow KBr \rightarrow Br_2 \rightarrow NaBr \rightarrow NaCl$
   3) $KClO_3 \rightarrow Cl_2 \rightarrow KClO_3 \rightarrow KCl \rightarrow Cl_2$
   4) $J_2 \rightarrow KJ \rightarrow J_2 \rightarrow NaJ \rightarrow NaCl \rightarrow AgCl$
   5) $F_2 \rightarrow HF \rightarrow CaF_2 \rightarrow CaCl_2 \rightarrow AgCl$
4. Приведите реакции образования хлорида: а) из двух простых веществ, б) из двух сложных веществ, в) из простого и сложного вещества.
5. Какие внешние изменения могут наблюдаться, если в сосуд с йодидом калия ввести хлор? Напишите уравнение химической реакции.
6. Можно ли вывести пятно йода на ткани, обработав его раствором поваренной соли? Почему?

7. Имеются четыре пробирки с растворами: хлорида, бромида, йодида, фторида калия. В каждый из растворов поместили немного хлорной воды. В каких пробирках будут наблюдаться изменения? Напишите уравнения возможных реакций.
8. Простой газ А желто-зеленого цвета с резким запахом реагирует с серебристо-белым металлом Б (металл легче воды), при этом образуется вещество В, окрашивающее пламя в фиолетовый цвет. При действии на В концентрированной серной кислотой выделяется растворимый в воде бесцветный газ Г. Определите вещества А, Б, В, Г и напишите уравнения описанных опытов.

1. Определите массу йода, которая выделится при взаимодействии 44,8 л хлора (н. у.) с раствором йодида калия, содержащего 16,6 г соли.

Ответ: 12,7 г.

2. Найдите объем кислорода (н. у.), который выделится при взаимодействии 380 г фтора и 200 г воды.

Ответ: 112 л.

3. Рассчитайте, хватит ли 140 мл 20%-ного раствора соляной кислоты (ρ = 1,1 г/мл) для растворения 13 г цинка. Ответ подтвердите расчетами.

Ответ: хватит.

4. Имеется 10 г железных опилок, содержащих примесь медных. Определите массу медных опилок, если действием на эту смесь соляной кислотой было получено 3,93 л (н. у.) водорода.

Ответ: 0,18 г.

Изучение состава бытовых химических препаратов

В составе бытовых химических препаратов находится множество соединений галогенов. Найдите на этикетках указание о таких веществах в составе зубной пасты, средств отбеливания и дезинфекции, пищевых консервантов. Попробуйте написать их формулы.

§ 56. ПРИМЕНЕНИЕ ГАЛОГЕНОВ И ИХ СОЕДИНЕНИЙ

Сегодня на уроке:

- ознакомимся с одним из способов обеззараживания воды — хлорированием;
- узнаем о физиологической роли галогенов и их соединений.

Ключевые понятия

- хлорирование воды
- хлорреагенты
- преимущества и недостатки метода хлорирования воды

Значение воды в жизни человека просто огромное. Включая кран с водой, мы не задумываемся о том, что обеззараживание воды и ее качество — важная тема. А зря, тяжелые металлы, химические соединения и болезнетворные бактерии способны вызвать необратимые изменения в человеческом организме. На сегодняшний день гигиене воды уделяется серьезное внимание. Современные методы обеззараживания питьевой воды способны очистить ее от бактерий, грибков, вирусов.

Хлорирование — способ обеззараживания воды, при котором применяется обработка жидкости хлором и его соединениями. Данный метод является крупным достижением

профилактической медицины и гигиены, поскольку он позволил прекратить распространение опасных кишечных инфекций. Не секрет, что хлор — это яд.

Токсичность хлора связана с его высокой окислительной способностью — он входит в тройку самых сильных галогенов. Это, в свою очередь, означает, что хлор способен разрушать любую органику и создавать на ее основе хлорорганические соединения.

Сущность обеззараживающего действия хлора заключается в окислительно-восстановительных процессах, происходящих при взаимодействии хлора и его соединений с органическими веществами микробной клетки.

В качестве хлорреагентов используют в основном жидкий хлор, хлорную известь, гипохлориты и диоксид хлора. При введении хлора в воду образуются хлорноватистая и соляная кислоты.

$$Cl_2 + H_2O = HClO + HCl$$

Далее происходит диссоциация образовавшейся хлорноватистой кислоты.

$$HClO \rightarrow H^+ + ClO^-$$

Недиссоциированные молекулы хлорноватистой кислоты и образующиеся гипохлоритные ионы ClO^- обладают бактерицидным свойством. Сумму $Cl_2 + HClO + ClO^-$ называют *свободным активным хлором*. Эффективность данного варианта водоподготовки объясняется следующими причинами:

- метод недорогой, доступный, проверенный практикой;
- очищенная вода длительный период сохраняет свойства, ее можно консервировать;
- хлорирование удаляет посторонние запахи, цветность;
- достигается высокая степень обеззараживания.

Сегодня существуют и более прогрессивные методики очистки, но они намного дороже и сложнее.

К хранению и транспортировке соединений хлора предъявляются высокие требования, поскольку в случае утечки возникает потенциальная опасность для здоровья человека. Другие негативные стороны метода:

- высокая коррозионная активность реагентов;
- опасность образования хлороформа, дихлорбромметана, тримбромметана и других опасных для здоровья людей соединений. Они образуются при хлорировании воды из поверхностных источников, богатых органическими соединениями, обладают мутагенным и канцерогенным действием.
- При попадании хлора в организм человека через кожу или дыхательные пути развиваются онкологические заболевания ЖКТ, происходит поражение центральной нервной системы, возникают сердечные болезни, разрушается структура волос.

Физиологическая роль галогенов и их соединений.

Хлор . Хлор — один из химических элементов, который обеспечивает полноценное существование живых организмов. Основная форма поступления хлора в организм — хлорид натрия.

В теле взрослого человека содержится NaCl массой более 200 г, из которых около 45 г растворено в крови. Соль поддерживает нормальную деятельность клеток, из которых состоят все ткани и органы. Хлорид натрия — источник соляной кислоты в желудке, которая входит в состав желудочного сока. Взрослому человеку необходимо получать в день хлорида натрия примерно 5—6 г, включая и ту соль, которая входит в состав продуктов питания.

Соляная кислота, выделяющаяся в желудке, используется для процесса пищеварения. Кроме того, это сильное бактерицидное средство. Большинство бактерий, попавших в желудок с пищей, быстро погибает под воздействием соляной кислоты, поэтому при пониженной кислотности желудочного сока необходимо лечение.

Фтор . Фтор используют для предотвращения разрушений зубной эмали. Можно вводить фториды в зубную пасту или же непосредственно обрабатывать ими зубы. Было установлено, что в состав зубной эмали входит до 0,02 % ионов фтора, которые поступают в организм с питьевой водой.

Чрезмерное поглощение фторидов приводит к фторозу. Фтороз приводит к нарушениям в работе щитовидной железы, угнетению роста и пораженню почек.

Йод. Основной физиологической ролью йода является участие в метаболизме щитовидной железы и присущих ей гормонов. В настоящее время считают, что ведущую роль йод играет не только в жизнедеятельности щитовидной железы.

Недостаток йода приводит к возникновению характерных симптомов: слабости, пожелтению кожи, ощущение холода и сухости, образуется зоб. Особенно сильно отражается нехватка йода на здоровье детей – они отстают в физическом и умственном развитии. С целью профилактики йододефицита следует принимать йодид калия, входящий во многие лекарственные препараты. Богаты йодом морская капуста, морская и океанская рыба. В нашей стране с этой целью выпускают йодированную соль. Йодированная соль — это обычная поваренная соль, в 100 г которой содержится йодид калия KI массой 1 мг. Кроме этого, в последнее время увеличилось потребление йода для создания жидкокристаллических экранов мониторов, телевизоров и т. д.

Бром . Еще один галоген — бром — также важен для организма человека. Соединения этого элемента регулируют процессы возбуждения и торможения центральной нервной системы, поэтому для лечения

нервных болезней (переутомления, неврастении) врачи прописывают "бром" — бромосодержащие препараты, например NaBr.

Бром также находит применение в медицине в качестве успокаивающего средства для электрофореза, но применяют не чистый бром, а бромид калия или натрия. Из-за высокого содержания соединений брома и йода в воздухе приморских районов очень полезно дышать морским воздухом.

Современные методы обеззараживания питьевой воды способны очистить ее от бактерий, грибков, вирусов. **Хлорирование** — наиболее распространенный способ обеззараживания воды. Он отличается эффективностью, простотой и экономичностью.

Галогены входят в состав организмов человека и животных, выполняя различные биохимические функции. По содержанию в живом организме галогены относятся к микроэлементам. Незначительные отклонения микроэлементов от нормы вызывают тяжелые заболевания.

Знаешь ли ты?

Нитрат серебра, являющийся реактивом на ионы хлора, во времена инквизиции называли "адским камнем". Это связано с тем, что его применяли как "детектор лжи": давали подержать его в руках подозреваемому. Если человек виновен, то руки становились черными из-за хлорида серебра, образуемого на вспотевших руках.

1. К каким заболеваниям может привести некачественная вода?
2. Почему нужно обеззараживать питьевую воду?
3. Какие вещества применяют при хлорировании воды?
4. В чем заключается сущность обеззараживающего действия хлора?
5. Какие преимущества и недостатки имеет хлорирование воды?
6. Как вы думаете, кроме обеззараживания, какие еще способы очистки воды существуют?
7. Расскажите о физиологической роли галогенов и их соединений.
8. На диаграмме показана упрощенная форма периодической системы:

A					Q												
C												J	K		C	B	
	I															D	
		E														F	
L																G	
																H	

Пользуясь диаграммой, ответьте на следующие вопросы. Каждый элемент может использоваться один или более одного раза.

1. У какого из обозначенных символами элемента электроотрицательность самая высокая?

2. Какой элемент имеет наименьший радиус атома?
3. У какого элемента число энергетических слоев равно 7?
4. Высшие оксиды состава R_2O_7 и водородных соединений RH имеют какие элементы?
5. Какой элемент имеет электронную конфигурацию внешнего уровня $...4s^24p^5$.
6. Какой элемент образует черно-серое вещество, способное к сублимации?
7. Как называется *галоген*, который не вытесняет ни один из галогенов из растворов кислот и солей?
8. Какой самый активный элемент (вода в нем горит фиолетовым пламенем)?
9. Кислород с каким элементом проявляет положительную степень окисления?
10. Какие элементы образуют ковалентную неполярную и полярную связь?
11. Между какими элементами образуется соединение с ионной связью?
12. Назовите элементы, которые образуют молекулярную кристаллическую решетку.
13. Какие элементы образуют ионную кристаллическую решетку?
14. Какой элемент атома при н. у. образует жидкое простое вещество?
15. Между какими элементами образуются вещества с высокой температурой плавления, которые в твердом состоянии не являются электролитами, а в растворенном и расплавленном состоянии являются электролитами?
16. Какие элементы образуют вещества с низкой температурой плавления, в обычных условиях встречающиеся в газообразном состоянии?

TOP 10 10 рекордсменов среди неметаллов
1. Кислород — самый распространенный на Земле
2. Астат — самый редкий на Земле
3. Водород — самый распространенный во Вселенной
4. Азот — самый распространенный в воздухе
5. Алмаз (углерод) — самый твердый в природе
6. Гелий — самый легкоплавкий
7. Графит (углерод) — самый тугоплавкий
8. Фтор — самый неметалличный
9. Бром — единственный жидкий неметалл
10. Йод, бор — самое короткое название

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

Изучение свойств галогенов и определение галогенид-ионов в водном растворе

Реактивы :
растворы хлорида натрия, бромида калия, йодида калия;
раствор нитрата серебра;
спиртовый раствор йода, бромная вода, хлорная вода, йодная вода;
кусочек картофеля.

Химическая посуда и лабораторное оборудование:
Пробирки и штатив для пробирок.

Техника безопасности. Требуется соблюдение правил работы с растворами кислот, щелочей и нагревательными приборами.

Опыт 1. В три пробирки налейте по 2 мл растворов хлорида натрия, бромида калия, йодида калия. В каждую из пробирок добавьте по несколько капель хлорной воды. Затем повторите эксперимент с бромной водой, а затем с йодной водой. Что наблюдаете? Напишите молекулярные и ионные уравнения реакций.

Опыт 2. В три пробирки налейте по 2 мл растворов хлорида натрия, бромида калия, йодида калия. В каждую из пробирок добавьте по несколько капель раствора нитрата серебра. Что наблюдаете? Напишите молекулярные и ионные уравнения реакций.

Опыт 3. К кусочку картофеля капните несколько капель спиртового раствора йода. Что наблюдаете? На основании опыта сделайте соответствующий вывод.

Глава
XI

ЭЛЕМЕНТЫ 2 (IIA) ГРУППЫ

§ 57. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭЛЕМЕНТОВ 2 (IIA) ГРУППЫ

Сегодня на уроке:

- поймем закономерности изменения физических свойств элементов 2 (IIA) группы.

Ключевые понятия

- общая характеристика элементов
- получение
- физические свойства

Общая характеристика элементов. К элементам 2 (IIA) группы относятся бериллий Be, магний Mg, кальций Ca, стронций Sr, барий Ba, радий Ra. Все элементы этой группы относят к семейству щелочноземельных металлов. На внешнем энергетическом уровне атомы этих металлов имеют два *s*-электрона и электронную конфигурацию ns^2. Проявляют постоянную степень окисления +2. С увеличением заряда ядра атомов наблюдается закономерное изменение свойств элементов:

- увеличение радиуса атомов;
- уменьшение энергии ионизации;
- уменьшение электроотрицательности;
- усиление металлических, восстановительных свойств (рис. 70).

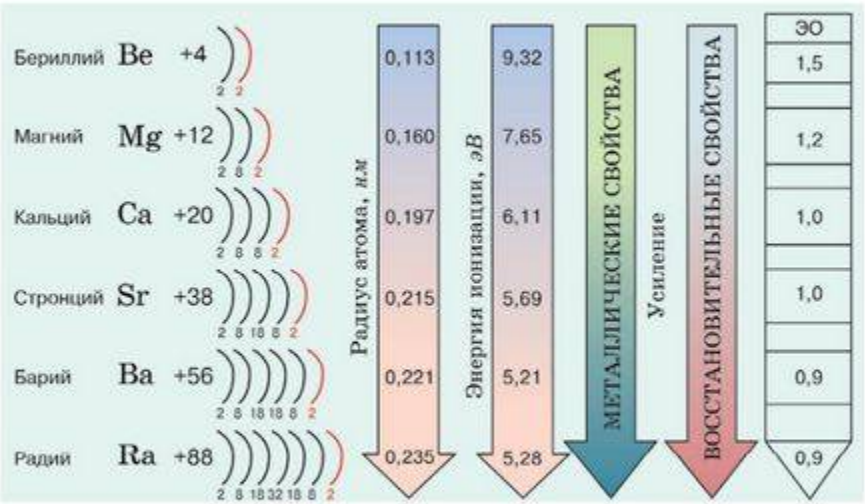


Рис. 70. Изменение свойств элементов по группам

• По важнейшим атомным характеристикам и по физико-химическим свойствам металлов и их соединений наибольшим сходством между собой обладают Ca, Sr, Ba. Эти элементы имеют практически одинаковые значения ЭО, находятся рядом в электрохимическом ряду напряжений металлов; химическая активность в целом от Ca к Ba возрастает незначительно; они во многих отношениях сходны со щелочными металлами. Среди этих металлов резко выделяется бериллий, который обнаруживает более значительное сходство с алюминием (диагональное сходство). Рассматриваемые элементы образуют оксиды состава RO и гидроксиды — $R(OH)_2$. Характеристика оксидов и гидроксидов представлена в таблице 37.

Таблица 37

Оксиды			Гидроксиды		
формула	характер	отношение к воде	формула	характер	отношение к воде
BeO	амфотерный	нерастворимый, не взаимодействует	$Be(OH)_2$ H_2BeO_2	амфотерный	нерастворимый
MgO	основной	нерастворимый, не взаимодействует	$Mg(OH)_2$	слабое основание	нерастворимый
CaO	основные	хорошо растворимые, взаимодействуют	$Ca(OH)_2$	сильные основания	малорастворимый
SrO			$Sr(OH)_2$		растворимый
BaO			$Ba(OH)_2$		растворимый

Щелочноземельные металлы в природе находятся только в виде соединений (табл. 38):

Таблица 38

Нахождение в природе

Элементы	Формулы	Названия
1	2	3
Be	$3BeO \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	берилл
Mg	$MgCO_3$	магнезит
	$CaCO_3 \cdot MgCO_3$	доломит
	$KCl \cdot MgSO_4 \cdot 3H_2O$	каинит
	$KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$	карналлит
	$3MgO \cdot 2H_2O \cdot 2SiO_2$	асбест
Ca	$CaCO_3$	кальцит (известняк, мрамор и др.)
	$Ca_3(PO_4)_2$	апатит, фосфорит
	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	гипс
	$CaSO_4$	ангидрит
	CaF_2	плавиковый шпат (флюорит)

Продолжение

1	2	3
Sr	$SrSO_4$	целестин
	$SrCO_3$	стронцианит
Ba	$BaSO_4$	барит
	$BaCO_3$	витерит

Магний содержится в тканях животных и растений (например, в хлорофилле), необходим при синтезе АТФ , участвует в передаче нервных импульсов, активно применяется в медицине (бишофитотерапия и др.). Кальций — распространенный макроэлемент в организме растений, животных и человека. В организме человека и других позвоночных большая его часть находится в скелете , зубах и костях . По распространенности в природе и по практической значимости важнейшими элементами являются кальций и магний. Крупные месторождения фосфоритов расположены в горах Каратау и в Актюбинской области. Крупное месторождение асбеста находится в Костанайской области (Житикара).

Таблица 39

Физические свойства

Z	Название	A_r	Эл. конф.	ρ г/см ^{3}	$t°$ пл. °C	$t°$ кип. °C
4	Бериллий Be	9,01	$2s^2$	1,86	1283	2970
12	Магний Mg	24,3	$3s^2$	1,74	649,5	1120
20	Кальций Ca	40,08	$4s^2$	1,54	850	1487
38	Стронций Sr	87,62	$5s^2$	2,67	770	1367
56	Барий Ba	137,3	$6s^2$	3,61	710	1637
88	Радий Ra	226	$7s^2$	≈ 6	≈ 700	1140

В свободном виде простые вещества представляют собой твердые вещества от серого до серебристого цвета, обладающие всеми общими физическими свойствами металлов. Лишь бериллий хрупкий и плохо поддается обработке. Тем не менее щелочноземельные металлы имеют разные значения температуры плавления, плотности и других физических свойств.

Получение. Щелочноземельные металлы получают в основном электролизом расплавов галогенидов, чаще используются хлориды металлов.

$$CaCl_2 \rightarrow Ca + Cl_2$$

Применяется также восстановление оксидов и фторидов металлов алюминием, магнием, углеродом, кремнием:

$$3ЭO + 2Al = Al_2O_3 + 3Э \ (Э - Ca,\ Sr,\ Ba)$$

$$BeF_2 + Mg = MgF_2 + Be$$

$$MgO + C = CO + Mg$$

На внешнем энергетическом уровне атомов элементов (IIA) группы находятся два *s*-электрона и имеют электронную конфигурацию ns^2. Все элементы этой группы относят к семейству щелочноземельных металлов. Они проявляют постоянную степень окисления +2. С увеличением заряда ядра атомов наблюдается закономерное изменение свойств элементов: увеличение радиуса атомов; уменьшение энергии ионизации; уменьшение электроотрицательности; усиление металлических и восстановительных свойств. Для них характерны оксиды состава RO и гидроксиды состава $R(OH)_2$.

1. Напишите электронную конфигурацию атомов магния, кальция, стронция.
2. Какие степени окисления проявляют щелочноземельные металлы в соединениях? Приведите примеры.
3. Охарактеризуйте физические свойства щелочноземельных металлов.
4. Расположите в ряд по возрастанию восстановительной способности следующие металлы: Mg, Ba, Sr ,Be, Ca, Ra.
5. Напишите формулы оксида и гидроксида бериллия. Составьте уравнения реакций, характеризующих их амфотерные свойства.
6. Стронций и сера образуют с хлором соединение с общей формулой XCl_2, но имеют различные свойства. Они представлены в таблице:

Свойство	Хлорид стронция	Хлорид серы (II)
Внешний вид	белые твердые кристаллы	красная жидкость
Температура плавления (°C)	873	–80
Частицы	ионы	молекулы
Электрическая проводимость в твердом состоянии	плохая	плохая
Электрическая проводимость в жидком состоянии	хорошая	плохая

1) Каждое из веществ содержит элементы с валентностью II. Почему элементы разных групп могут проявлять одинаковую валентность?
2) Постройте графические формулы этих соединений.
3) Объясните, почему эти вещества имеют одинаковую проводимость в твердом состоянии.
4) Объясните, почему они имеют разную проводимость в жидком состоянии.
5) Напишите уравнения реакций получения этих веществ. Укажите окислитель и восстановитель в этих реакциях.

1. Для растворения 5,6 г оксида двухвалентного металла потребовалось 25 г 29,2%-ной соляной кислоты. Оксид какого металла был взят?

Ответ: CaO.

2. Рассчитайте объем 4%-ной соляной кислоты (плотность 1,02 г /мл), которая прореагирует с нитридом магния Mg_3N_2 массой 2,14 г.

Ответ: 153,15 мл.

3. Магний массой 28,8 г прокалили с оксидом кремния (IV) массой 24 г. Полученную смесь обработали избытком соляной кислоты, при этом выделился водород объемом 14,1 л (н. у.). Рассчитайте массу полученного кремния.

Ответ: 9,8 г.

§ 58. ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭЛЕМЕНТОВ 2 (IIA) ГРУППЫ

Сегодня на уроке:

- изучим химические свойства элементов 2 (IIA) группы;
- узнаем области применения важнейших соединений щелочноземельных металлов.

Ключевые понятия

- элементы 2 (IIA) группы
- химические свойства
- применение

Металлы 2 (IIA) группы — сильные восстановители. В химическом отношении все металлы довольно активны, химическая активность повышается от бериллия к радию. Они реагируют с большинством неметаллов, образуя оксиды или соответствующие соли (гидриды, галогениды, сульфиды, фосфиды, нитриды и др.). По химическим свойствам бериллий Be существенно отличается от остальных элементов группы. Давайте рассмотрим химические свойства этих металлов.

1. **Взаимодействие с неметаллами**. Ca, Sr, Ba легко окисляются на воздухе, поэтому их хранят без доступа воздуха, а Be, Mg реагируют при нагревании:

$$2Ca + O_2 = 2CaO$$

$$Ca + H_2 \xrightarrow{400^\circ C} \underset{\text{гидрид кальция}}{CaH_2}$$

$$Be + Cl_2 = \underset{\text{хлорид бериллия}}{BeCl_2}$$

$$Ba + S = \underset{\text{сульфид бария}}{BaS}$$

$$3Ba + 2P = \underset{\text{фосфид бария}}{Ba_3P_2}$$

$$3Ca + N_2 \xrightarrow{500^\circ C} \underset{\text{нитрид кальция}}{Ca_3N_2}$$

Кальций — один из немногих металлов, непосредственно реагирующих с азотом.

2. **Взаимодействие с водой**. При обычных условиях металлы (кроме бериллия Be и магния Mg) интенсивно регируют с водой с выделением водорода:

$$Ca + 2H_2O = Ca(OH)_2 + H_2\hat{E}$$

Магний взаимодействует с водой лишь при нагревании:

$$Mg + 2H_2O = Mg(OH)_2 + H_2\hat{E}$$

3. **Взаимодействие с кислотами.**

а) взаимодействие с кислотами-неокислителями. Все металлы реагируют с кислотами-неокислителями:

$$Mg + 2HCl = MgCl_2 + H_2\uparrow$$
$$Be + H_2SO_{4(разбавл.)} = BeSO_4 + H_2\uparrow$$

б) взаимодействие с кислотами-окислителями. При взаимодействии с азотной кислотой HNO_3 продуктами восстановления являются оксиды азота, преимущественно оксид азота (I) N_2O, а в случае сильно разбавленной HNO_3 — нитрат аммония NH_4NO_3:

$$4Mg + 10HNO_{3(разбавл.)} = 4Mg(NO_3)_2 + N_2O + 5H_2O$$
$$4Mg + 10HNO_{3(очень\ разбавл.)} = 4Mg(NO_3)_2 + NH_4NO_3 + 3H_2O$$

С концентрированной серной кислотой H_2SO_4 бериллий взаимодействует при нагревании, а остальные металлы, кроме бария, реагируют при любых условиях, в том числе на холоде. В зависимости от активности металла продуктами восстановления являются: SO_2, H_2S и S:

$$Be + 2H_2SO_{4\ (конц.)} = BeSO_4 + SO_2\uparrow + 2H_2O$$
$$3Mg + 4H_2SO_{4\ (конц.)} = 3MgSO_4 + S + 4H_2O$$
$$4Ca + 5H_2SO_{4\ (конц.)} = 4CaSO_4 + H_2S\uparrow + 4H_2O$$

4. **Взаимодействие со щелочами.** Бериллий легко реагирует как с растворами, так и с безводными щелочами при сплавлении:

$$Be + 2KOH + 2H_2O = \underset{\text{тетрагидроксобериллат калия}}{K_2[Be(OH)_4]} + H_2\uparrow$$

$$Be + 2KOH = \underset{\text{бериллат калия}}{K_2BeO_2} + H_2\uparrow$$

5. **Взаимодействие с оксидами.** Металлы восстанавливают менее активные металлы и некоторые неметаллы из их оксидов при нагревании. Например:

$$2Mg + SiO_2 = 2MgO + Si$$

Применение. Металлический магний широко используется при изготовлении легких сплавов. Примером может служить сплав "электрон", содержащий 80% Mg, 10% Al, 6% Zn, 0,2% Mn и прочие добавки. Этот сплав применяется в авто- и авиастроении. Среди кислородных соединений магния нужно отметить оксид магния MgO, называемый также жженой магнезией, которая применяется в изготовлении огнеупорных кирпичей, так как ее температура плавления 2800°C. Используется жженая магнезия и в медицинской практике.

Интересны силикаты магния — тальк $3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$ и асбест $3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$, обладающие высокой огнестойкостью. Асбест имеет

волокнистое строение, поэтому из него изготавливают спецодежду для работы при высоких температурах. Металлический кальций используется как восстановитель при получении металлов, особенно никеля, меди и нержавеющей стали. Сплавы кальция со свинцом находят применение в аккумуляторных батареях и подшипниковых сплавах. Негашеная известь CaO в основном применяется для получения гашеной извести, а также для освобождения газов одновременно от воды и CO_2. Гашеная известь $Ca(OH)_2$ широко используется в строительстве как связующее вещество и для изготовления штукатурки. Насыщенный раствор $Ca(OH)_2$ в воде называют "известковой водой", а взвесь (суспензия) носит название "известковое молоко".

Известковое молоко применяется в производстве сахара при его очистке от посторонних примесей. Известковая вода применяется как реактив на диоксид углерода, а также для смягчения временной жесткости воды. Большое практическое значение имеет хлорная известь $CaOCl_2$. Ее широко используют при отбеливании и дезинфекции.

Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ — дигидрат сульфата кальция используется в строительном деле; в медицине при переломах для изготовления гипсовых повязок.

Из чистого алебастра $CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$ изготавливают художественные изделия, а в медицине его используют для накладывания гипсовых повязок.

Важную роль играет мел, мрамор, известняк. Из мрамора изготавливают прекрасные мраморные фигуры, отделывают им строения. Известняк также используется в строительстве.

В химическом отношении все металлы довольно активны. Химическая активность повышается от бериллия к радию. Они реагируют с большинством неметаллов, образуя оксиды или соответствующие соли, а также с водой, кислотами, оксидами, и при этом металлы проявляют восстановительные свойства. По химическим свойствам бериллий существенно отличается от остальных элементов группы.

1. Чем объяснить сравнительную устойчивость магния и бериллия к окислению на воздухе?
2. Напишите уравнения химических реакций, характеризующие химические свойства бериллия.
3. Напишите уравнения реакций (в молекулярной и ионных формах), с помощью которых можно получить сульфат магния всеми известными способами.
4. Опишите химические процессы, протекающие при получении магния электролизом расплава хлорида.
5. Приведите несколько уравнений реакций, доказывающих восстановительные свойства щелочноземельных металлов.
6. Почему жженую известь нельзя длительное время хранить на воздухе? Ответ поясните уравнениями реакций.

7. К какой группе реакций (экзотермическим или эндотермическим) относится процесс гашения извести? Составьте уравнение реакции.
8. Перечислите, где применяются соединения щелочноземельных металлов?
9. Предложите способ, как различить белые порошки солей: $CaCO_3$, $MgSO_4$ и $Ba(NO_3)_2$. Напишите уравнения используемых реакций.

1. Какой объем (н. у.) двуокиси углерода получится при прокаливании 5 кг известняка, содержащего 10% примесей?

Ответ: 1008 л.

2. При растворении в соляной кислоте 5 г оксида кальция CaO, содержащего примесь $CaCO_3$, выделилось 140 мл газа (н.у). Какова массовая доля $CaCO_3$ в исходной смеси?

Ответ: 12,5%.

3. В раствор $CuSO_4$ массой 248 г поместили 20 г порошка магния. Через некоторое время металлический осадок собрали и высушили. Его масса составила 28 г. Определите массовую долю сульфата магния в полученном растворе.

Ответ: 10%.

§ 59. ПРИРОДНЫЕ КАРБОНАТЫ

Сегодня на уроке:

- узнаем о круговороте карбонатов в природе.

Ключевые понятия

- природные карбонаты
- минералы
- сталактиты
- сталагмиты

Вам уже известно, что карбонаты — это соли угольной кислоты. Они являются важнейшей составной частью многих минералов и горных пород. Известно свыше 200 минеральных видов природных карбонатов.

Наиболее широко распространены в природе карбонаты кальция (кальцит, арагонит), магния (магнезит), реже встречаются карбонаты бария, стронция и др. Основу минералов кальцита $CaCO_3$, доломита $CaMg(CO_3)_2$ составляют карбонаты кальция и магния. Карбонат кальция составляет также основу таких горных пород, как мел, мрамор и известняк (рис. 71).

Образование огромных пластов природного карбоната кальция, различных форм известняка, мела, мрамора в первую очередь связано с жизнедеятельностью морских организмов. Они используют соединения кальция, особенно карбоната кальция $CaCO_3$ для построения скелетов, раковин, панцирей. После отмирания подобных организмов на дне водоемов отлагаются их останки. За многие столетия образуются залежи мела и других минералов.

Карбонаты разрушаются под действием растворов кислот. Дождевые и другие природные воды растворяют углекислый газ воздуха с образованием угольной кислоты:

$$H_2O + CO_2 = H_2CO_3$$

Раствор кислоты просачивается в почву и, встретив на пути залежи известняков, магнезитов, доломитов, растворяют их, в результате

Рис. 71. 1 — кальцит; 2 — доломит; 3 — мел; 4 — мрамор; 5 — известняк

происходит реакция между карбонатом кальция и угольной кислотой с образованием гидрокарбоната кальция:

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O = \underset{\text{гидрокарбонат кальция}}{Ca(HCO_3)_2}$$

Гидрокарбонаты вымываются, и в результате в толще горных пород образуются огромные пустоты. По мере испарения воды гидрокарбонат кальция разлагается:

$$Ca(HCO_3)_2 \xrightarrow{t} CaCO_3\downarrow + H_2O + CO_2\uparrow$$

В результате этого процесса снова происходит отложение карбоната кальция $CaCO_3$. Из образующихся карбонатов формируются кристаллы солей в виде сосулек, свисающих с потолка пещеры, — сталактитов. Происходит это весьма медленно — десятки, сотни лет. Длина сталактитов в отдельных случаях достигает нескольких метров.

В месте падения капель с конца сталактита на полу пещеры вырастает встречное образование — сталагмит (рис. 72). Со временем сталактит и сталагмит сливаются и образуют колонну — сталагнат .

Вы сами можете смоделировать круговорот карбонатов в природе на практике с помощью следующего эксперимента. Для этого в известковую воду пропускают углекислый газ. Раствор сначала мутнеет:

$$Ca(OH)_2 + \underset{\text{(избыток)}}{CO_2} = \underset{\text{карбонат кальция}}{CaCO_3\downarrow} + H_2O$$

При длительном пропускании углекислого газа в раствор он становится прозрачным:

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O = \underset{\text{гидрокарбонат кальция}}{Ca(HCO_3)_2}$$

Если полученный прозрачный раствор гидрокарбоната кальция нагреть, то он снова помутнеет, т. е. при нагревании гидрокарбонат кальция превращается в карбонат, который и выпадает в виде осадка:

$$Ca(HCO_3)_2 \xrightarrow{t} CaCO_3\downarrow + H_2O + CO_2\uparrow$$

Процессы превращения карбонатов в гидрокарбонаты и наоборот играют большую роль в поддержании в атмосфере постоянного содержания углекислого газа CO_2. Если в атмосфере повышается содержание CO_2, то океанические карбонаты начинают связывать его, превращаясь в гидрокарбонаты. Если же содержание углекислого газа уменьшится, то в океане начинается разложение гидрокарбонатов с выделением CO_2 и выпадением нерастворимых карбонатов.

Знаешь ли ты?

Термины "сталактит" и "сталагмит" введены в литературу в 1655 г. датским натуралистом Оле Вормом.

Применение . Природные карбонаты (известняк, мрамор) применяют как строительный материал; мел — как наполнитель для резиновых смесей, бумаги, линолеума, в производстве зубного порошка, косметических средств и т. д. Карбонаты магния, бария и др. применяют в строительном деле, в химической промышленности, оптике и др.

Знаешь ли ты?

Слово "сталактит" в переводе с греч. обозначает "натекший по капле".

Рис. 72. Сталактиты и сталагмиты

Карбонаты являются важнейшей составной частью многих минералов и горных пород. Они разрушаются под действием кислотных дождей. В результате реакции между карбонатом кальция и угольной кислотой образуется гидрокарбонат кальция. По мере испарения воды гидрокарбонат кальция разлагается. В результате этого процесса происходит снова отложение карбоната кальция. Процессы превращения карбонатов в гидрокарбонаты и наоборот играют большую роль в поддержании в атмосфере постоянного содержания углекислого газа CO_2.

1. Назовите природные карбонаты, которые вам известны. Расскажите, как их используют.
2. Напишите уравнения реакций взаимодействия:
   а) оксида бария, б) гидроксида бария
   со следующими веществами: CO_2, N_2O_5, HCl, H_3PO_4
   Назовите продукты реакций.
3. Составьте уравнения реакций для цепочки химических превращений:
   $Ca \rightarrow CaH_2 \rightarrow Ca(OH)_2 \rightarrow CaCO_3 \rightarrow Ca(HCO_3)_2 \rightarrow CaCO_3 \rightarrow CaCl_2$
   $\downarrow$
   $CaO \rightarrow CaSO_4$
4. Как отличить один от другого следующие природные минералы: известняк, гипс и фосфорит. Составьте уравнения реакций.
5. Под действием окружающей среды металлический кальций превращается в карбонат кальция. Составьте уравнения соответствующих реакций.
6. Карбонат кальция в воде практически нерастворим. Однако известняк промывается водой. Чем это можно объяснить? Составьте уравнения соответствующих реакций.
7. В реакции $MgCl_2$ с питьевой содой $NaHCO_3$ осаждается $MgCO_3$и выделяется газ CO_2. Напишите уравнение протекающей реакции.

1. Поташ K_2CO_3 массой 2,76 г обработали 200 г раствора гашеной извести. Вычислите массу гашеной извести, использованной при обработке поташа, и массовую долю (%) $Ca(OH)_2$ в растворе.

   Ответ: 1,48 г; 0,74%.
2. 8 г металла со степенью окисления +2 прореагировали с водой и выделился газ объемом 4,48 л (н. у.). Определите неизвестный металл.

   Ответ: кальций.
3. Каково содержание(в %) карбоната кальция в доломите $CaCO_3 \cdot MgCO_3$? Сколько граммов 10%-ной соляной кислоты пойдет на растворение 8 г доломита?

   Ответ: 54,3% 63,5 г.
4. При обработке 524 г смеси карбоната и гидрокарбоната кальция соляной кислотой получили 444 г хлорида кальция. Определите массовые доли компонентов в исходной смеси.

   Ответ: 38,17% $CaCO_3$ и 61,83% $Ca(HCO_3)_2$.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

Изучение свойств элементов 2 (ПА) группы и их соединений

Реактивы: металлический кальций, магний, вода, растворы соляной и серной кислот, раствор гидроксида натрия, раствор фенолфталеина.

Химическая посуда и лабораторное оборудование:
пробирки и штатив для пробирок.

Техника безопасности. Требуется соблюдение правил работы с растворами кислот, щелочей и нагревательными приборами.

Ход работы

Опыт 1. Проведите реакции, с помощью которых можно осуществить следующие превращения:

а) $Ca \rightarrow Ca(OH)_2 \rightarrow CaCl_2$;

б) $Mg \rightarrow MgCl_2 \rightarrow Mg(OH)_2 \rightarrow MgSO_4$. Напишите уравнения реакций.

Опыт 2. Изучение свойств гидроксида кальция.

1. Исследуйте раствор гидроксида кальция с помощью фенолфталеина и объясните результат эксперимента.

2. В полученный раствор добавьте 2 мл соляной или азотной кислоты до изменения окраски индикатора.

3. В пробирку с раствором гидроксида кальция через стеклянную трубку продуйте выдыхаемый воздух. Что наблюдаете? Напишите уравнение реакции.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4

Решение экспериментальных задач

Техника безопасности. Требуется соблюдение правил работы с растворами кислот, щелочей и нагревательными приборами.

Реактивы:
металлический кальций, магний, вода;
растворы соляной и серной кислот;
растворы гидроксида натрия или калия, карбонаты, раствор фенолфталеина;
растворы солей кальция, бария, стронция;
нихромовая проволока.

Химическая посуда и лабораторное оборудование:
Пробирки и штатив для пробирок.

Задача 1.

1. Пользуясь имеющимися на столе реактивами, получите:
1) сульфат бария; 2) карбонат кальция; 3) гидроксид магния.

2. Напишите уравнения реакций и сделайте соответствующий вывод.

Задача 2. Проделайте опыты по осуществлению следующих превращений и напишите уравнения реакций:

$Ca \rightarrow Ca(OH)_2 \rightarrow CaCl_2 \rightarrow CaCO_3$

Задача 3. Проделайте опыты по осуществлению следующих превращений и напишите уравнения реакций:

$Mg \rightarrow MgCl_2 \rightarrow Mg(OH)_2 \rightarrow MgSO_4$

Задача 4. Окрашивание пламени щелочноземельными металлами.

Очищенную нихромовую проволоку окуните (для каждой соли отдельно) в насыщенные растворы солей кальция, стронция, бария и внесите в бесцветное пламя газовой горелки. Летучие соли кальция окрашивают бесцветное пламя горелки в кирпично-красный, стронция — в карминно-красный, бария — в желто-зеленый цвет.

Глава XII

ВВЕДЕНИЕ В ОРГАНИЧЕСКУЮ ХИМИЮ

§ 60. ВВЕДЕНИЕ В ОРГАНИЧЕСКУЮ ХИМИИЮ

Сегодня на уроке:

- поймем, что органическая химия — это химия углеводородов и их производных;
- узнаем отличия органических веществ от неорганических, а также значение органических веществ.

Ключевые понятия

- углеводороды
- производные углеводородов
- органогены

Освоение человеком органических веществ и выделение их из природных источников диктовалось практическими потребностями.

Древние народы умели получать уксус из прокисшего вина, эфирные масла из растений, выделять сахар из сахарного тростника, красить ткани, варить мыло, дубить кожу, научились делать пищу более сытной и вкусной. Насущные задачи способствовали раннему пробуждению интереса в использовании природных веществ в медицинских целях.

Термин *органические вещества* ввел в науку шведский химик Й. Я. Берцелиус в 1807 г. Это название в ту пору применяли только к веществам, выделенным из живых организмов.

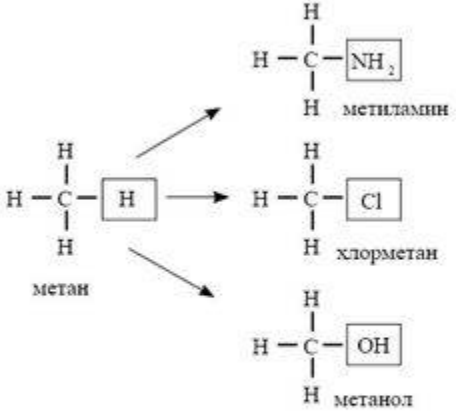
С развитием химических знаний появилась возможность не только извлекать органические вещества из природных источников, но и получать посредством химической переработки другие вещества. В настоящее время так получают огромное число веществ, не встречающихся в природе, например: многочисленные пластмассы, синтетические волокна, лекарства, взрывчатые вещества, красители, клей, каучук и т. д.

В состав всех органических веществ входит углерод. Кроме углерода, они почти всегда содержат водород. Простейшие органические вещества, в состав которых входит углерод и водород, называются *углеводородами*. Например, CH_4, C_2H_6, C_6H_6 и т. д.

В молекулах углеводородов атомы водорода H могут быть замещены другими атомами или группами атомов. Такие продукты замещения называются *производными углеводородов* (схема 6).

Схема 6

Производное метана



Таким образом, в состав органических веществ чаще входят кислород, азот и галогены, реже — фосфор, сера и другие элементы. Эти элементы были названы *органогенами,* т. е. элементами, порождающими органические молекулы.

Как видите, резкой границы между органическими и неорганическими веществами не существует, они состоят из одних и тех же химических элементов и могут быть превращены друг в друга. Почему же органические вещества выделяют в отдельную группу и каковы их отличительные признаки? Давайте вместе попытаемся разобраться.

Итак, органическая химия — это раздел химической науки, в котором изучаются соединения углерода, называемые ***органическими соединениями*** *, и законы, которым подчиняются превращения этих веществ.*

Богатейшими источниками органических веществ являются растения, каменный уголь, торф, сланец, нефть, природный и нефтяной газы. Нефть служит важнейшим поставщиком углеводородного сырья, которое составляет основу для синтетического получения множества других органических веществ, не существующих в природе.

Из курса биологии вам известно, что из неорганических веществ образуются органические, которые могут превращаться в неорганические. Все вещества природы взаимосвязаны, между ними существует единство. Однако типичные органические вещества имеют ряд свойств, отличающих их от типичных неорганических веществ. Это объясняется различием в характере химической связи (табл. 40).

Велико значение органической химии в нашей жизни. Созданные в последние годы искусственные полимерные вещества (пластмасса, волокна, полимерные покрытия, клей, каучук) не только восполнили убыль в традиционных материалах, известных человеку с давних пор, но и благодаря многим ценным свойствам привели к перевороту в ряде отраслей промышленности (рис. 73).

Таблица 40

Сравнение неорганических и органических веществ

Типичные неорганические вещества	Типичные органические вещества
Ионные и полярные ковалентные связи	Неполярные или слабополярные ковалентные связи
Нет ни одного химического элемента, который входил бы в состав всех неорганических веществ	Основной частью всех органических веществ является углерод
Электролиты	Неэлектролиты
Твердые вещества с высокой температурой плавления	Жидкости или твердые вещества с низкой температурой плавления
Плавятся без разрушения	Разрушаются при нагревании, выделяя CO_2, или обугливаются (по этому признаку можно установить принадлежность исследуемого вещества к органическим соединениям)
Не окисляются на воздухе, не горючи	Окисляются на воздухе, горючи
Растворимы в воде	Нерастворимы или плохо растворимы в воде

Применение органических соединений *в сельском хозяйстве* способствовало резкому росту урожайности, снижению себестоимости и увеличению выпуска сельскохозяйственной продукции.

Рис. 73. Образцы синтетических органических веществ

Использование *в медицине* синтетических лекарственных препаратов избавляет человека от многих недугов, что послужило одной из причин увеличения средней продолжительности жизни.

Органическая химия Казахстана является одной из самых молодых и быстроразвивающихся отраслей экономики. Предприятия *химического* и *нефтехимического* комплексов республики выпускают минеральные удобрения, пластмассу, нити и волокна, шины для различных видов техники и др. Кроме того, в Казахстане работают три нефтеперерабатывающих завода, которые выпускают различные виды топлива.

Химико-фармацевтическая промышленность растет быстрее других отраслей комплекса. Более ста ее предприятий дают 10% потребляемых в нашей стране лекарств.

Множество синтетических органических соединений производится промышленностью для использования в самых разных отраслях человеческой деятельности (рис. 74). Без знания основ органической химии современный человек не способен экологически грамотно использовать все эти продукты цивилизации.

Каждый из нас — ходячее пособие по органической химии. Вдумайтесь: не меньше 30% массы каждой нашей клетки — это органические соединения. Белки построили наше тело. Углеводы служат "топливом" и источником энергии. Жиры хранят запасы энергии. Гормоны управляют работой органов и даже нашим поведением. Ферменты запускают химические реакции внутри нас. И даже "исходный код", цепочки ДНК — все это органические соединения на основе углерода.

Рис. 74. Синтетические органические соединения, производимые промышленностью

Органическая химия — это раздел химической науки, в котором изучаются соединения углерода, называемые *органическими соединениями* , и законы, которым подчиняются превращения этих веществ. В состав органических веществ кроме углерода входят водород, кислород, азот, сера и другие элементы.

В настоящее время путем органического синтеза получают огромное число веществ, не встречающихся в природе, например, пластмассу, синтетические волокна, лекарства, взрывчатые вещества, красители, клей, каучук и т. д.

1. Что изучает органическая химия? Дайте определение этой науке.
2. Какие органические вещества называются *углеводородами*, а какие — производными углеводородов?
3. Перечислите особенности органических веществ в сравнении с неорганическими.
4. Укажите, какие из перечисленных соединений являются органическими: Na_2CO_3, C_3H_8, C_2H_5Cl, CaC_2, $NaCl$, CH_3COOH, CH_3NH_2, $C_6H_5NO_2$, H_2S, HNO_3, CH_3OH.
5. Назовите известные вам органические вещества, входящие в состав: а) продуктов или материалов, используемых в быту, в медицине, в промышленности; б) пищевых продуктов или биологически активных веществ.
6. Из каких природных источников получают органические вещества, применяемые в пище и в быту?
7. Пользуясь дополнительными источниками, подготовьте проект о достижениях в области органической химии.
8. Если в металлической ложке нагревать над пламенем спиртовки сахар и поваренную соль, сахар быстро начинает плавиться, соль – не плавится. Какой вывод мы можем сделать из этого опыта?

§ 61. ВИДЫ ФОРМУЛ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ

Сегодня на уроке:

- познакомимся с формулами, применяемыми в органической химии;
- поймем строение углеводородов.

В органической химии применяют молекулярные, эмпирические, структурные (пространственны е) формулы. **Молекулярная формула** показывает качественный и количественный состав атомов в молекуле . **Эмпирическая формула** (простейшая формула) химического соединения не содержит информации ни о структуре, ни о числе атомов в молекуле. Она показывает мольные соотношения элементов в соединениях. Например, в случае гексана рациональная (линейная) формула, отражающая структуру соединения, имеет вид $CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2CH_3$, молекулярная (брутто) формула, показывающая число атомов в молекуле, имеет вид C_6H_{14}, в то время как эмпирическая формула дает только соотношение элементов $C : H = 3 : 7$ — C_3H_7.

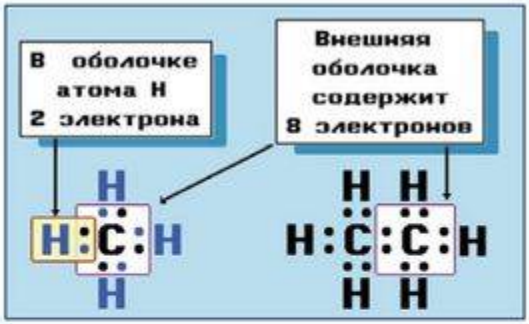


Рис. 75. Электронные формулы предельных углеводородов

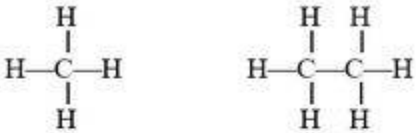
Ключевые понятия

- молекулярная формула
- эмпирическая формула
- структурная формула
- углеродный скелет
- гибридные электроны

Структурные (пространственные) и электронные формулы отражают порядок соединения атомов в молекуле.

Обозначая двумя точками перекрывающиеся электронные облака при образовании ковалентных связей, можно следующим образом изобразить электронные формулы предельных углеводородов (рис. 75).

Теперь рассмотрим структурные формулы углеводородов. Попытаемся изобразить порядок соединения атомов в молекуле углеводородов метана CH_4 и этана C_2H_6. Надо помнить, что атом углерода в молекулах органических веществ всегда четырехвалентен:



Формула, в которой отражен порядок соединения атомов, представлена в виде штриха и называется **развернутой структурной формулой** .

Каждому конкретному веществу соответствует только одна структурная формула. Химики-органики часто используют иную форму записи: валентными штрихами обозначают лишь углерод-углерод связи С—С, такие формулы называют **сокращенными структурными (полуструктурными) формулами** . Например, структурную формулу этана можно записать следующим образом:

$$CH_3—CH_3$$

Составим развернутую и сокращенную структурную (полуструктурную) формулы другого углеводорода — пропана C_3H_8, молекула которого содержит три углеродных атома:

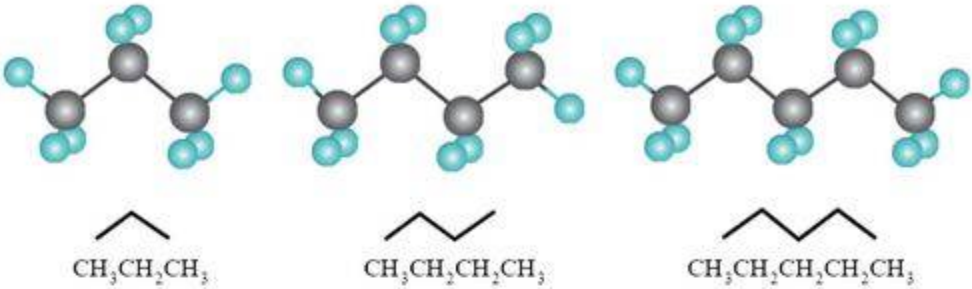
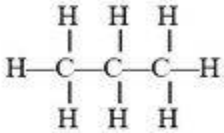


Рис. 76. Зигзагообразные формы молекулы углеводородов

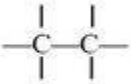


Развернутая структурная формула пропана

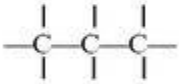
$$CH_3 — CH_2 — CH_3$$

Сокращенная структурная формула пропана

Иногда при написании структурной формулы изображают только химические связи между атомами углерода. Это **углеродный скелет** молекулы. Углеродный скелет еще называют *углеродной цепью*. Для этана и пропана это выглядит так:



Углеродный скелет этана



Углеродный скелет пропана

Атомы углерода в молекулах углеводородов расположены не по прямой линии, как мы пишем в структурных формулах, а зигзагообразно (рис. 76). Причина этого в тетраэдрическом направлении валентных связей атомов углерода (рис. 77). Угол между ковалентными связями, соединяющими атомы углерода, в такой цепи, как и в молекуле **метана**, 109°28'.

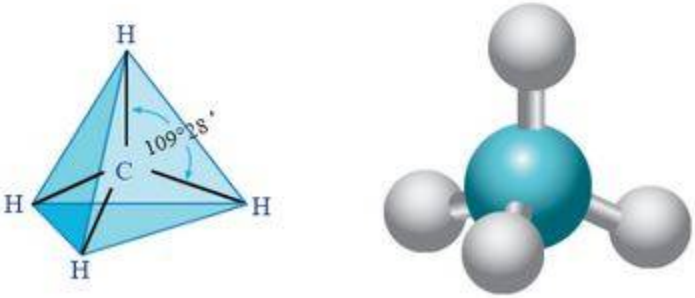


Рис. 77. Пространственная и шаростержневая модели молекулы метана

Электронное и пространственное строение других представителей предельных углеводородов сходно со строением молекулы метана.

В молекуле этана C_2H_6 химическая связь образуется между С-атомами перекрыванием двух гибридных электронных облаков (рис. 78):

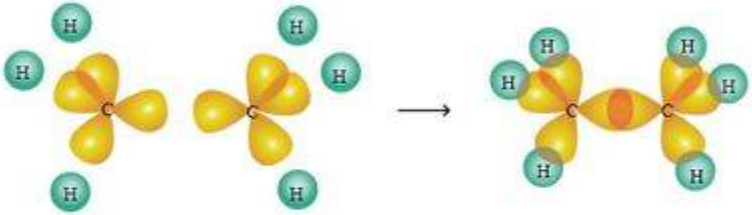


Рис. 78. Образование молекулы этана

В связи с тем, что гибридные электронные облака С направлены к вершинам тетраэдра, при образовании молекулы пропана C_3H_8 углеродная цепь принимает зигзагообразную форму. Расстояние между центрами атомов С составляет 0,154 нм (1,5 А) (рис. 79).

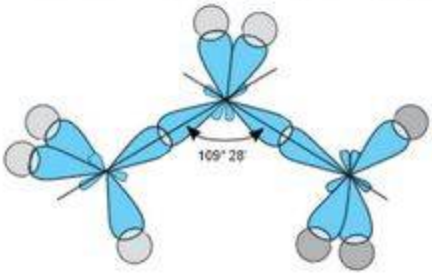


Рис. 79. Образование молекулы пропана

В структурных формулах соединений углерода химические символы часто опускают, изображая связи между атомами углерода только черточками в зигзагообразном виде (табл. 41).

Таблица 41

Этан	C_2H_6	—
Пропан	C_3H_8	
Бутан	C_4H_{10}	
Пентан	C_5H_{12}	
Гексан	C_6H_{12}	

В органической химии применяют молекулярные, эмпирические, структурные (пространственные) формулы. *Молекулярная формула* показывает качественный и количественный состав атомов в молекуле.

Эмпирическая формула (простейшая формула) химического соединения не содержит информации ни о структуре, ни о числе атомов в молекуле. Она показывает мольные соотношения элементов в соединениях.

Структурные (*пространственные*) и электронные формулы отражают порядок соединения атомов в молекуле. Каждому конкретному веществу соответствует только одна структурная формула.

1. Какие формулы применяют в органической химии?
2. Что означает молекулярная формула?
3. Что такое *эмпирическая формула* и что она означает?
4. Что такое *структурные формулы*? Приведите примеры.
5. Почему молекулы насыщенных углеводородов имеют зигзагообразную форму?
6. Какие виды гибридизации вы знаете?
7. Дайте характеристику связи и пространственного строения молекул при sp-гибридизации атома углерода.
8. На рис. изображены молекулярные модели двух углеводородов.

а) напишите молекулярные формулы;
б) напишите развернутые структурные формулы;
в) напишите сокращенные структурные формулы;
г) нарисуйте структурные формулы в виде черточек этих двух углеводородов.

§ 62. СОСТАВ И СТРУКТУРА ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ. ИЗОМЕРИЯ

Сегодня на уроке:

- изучим состав и структуру органических веществ.

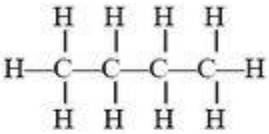
Существуют вещества, которые имеют одинаковые химические формулы, но проявляют различные свойства. В насыщенных углеводородах атомы углерода могут соединяться последовательно в цепь, поэтому такие углеводороды называют *неразветвленными*. Но для алканов, содержащих четыре и более атомов углерода, возможны другие структуры, которые состоят из разветвленных цепей атомов углерода. Существуют два бутана C_4H_{10} (рис. 80), которые отличаются по физическим свойствам: нормальный бутан $CH_3—CH_2—CH_2—CH_3$ с температурой кипения –0,5°C

Ключевые понятия

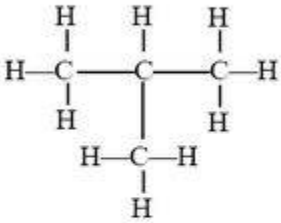
- изомеры
- изомерия
- структурная
- пространственная

и бутан разветвленного строения (изобутан) с температурой кипения –11 ,4 °С:

Изомеры состава C_4H_{10}

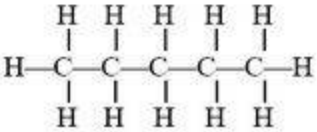


н-бутан
($t°_{т.кип.}$ = –0,5°С)

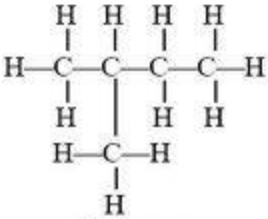


изобутан
($t°_{т.кип.}$ = –11,4°С)

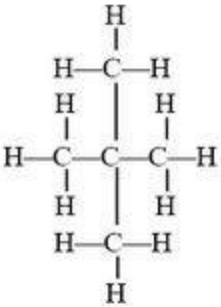
Молекула пентана C_5H_{12} может существовать в виде трех изомеров: $CH_3—CH_2—CH_2—CH_2—CH_3$ — нормального строения (н-пентан), двух изопентанов, имеющих разветвленный карбоновый скелет: изопентан и неопентан.



Пентан

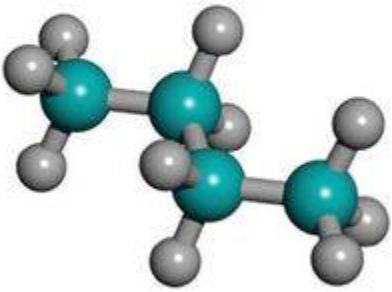


Изопентан



Неопентан

Итак, у соединений углерода одна молекулярная формула соответствует не одному, а нескольким соединениям, которые отличаются по физическим и химическим свойствам.



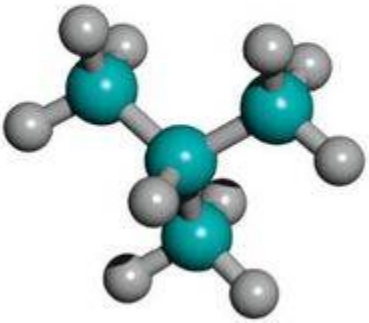


Рис. 80. Шаростержневая модель молекулы бутана и изобутана

Соединения, имеющие одинаковый состав, но различное строение молекул (что вызывает различные свойства), называют изомерами (греч. *isoc* — "одинаковый" и *meros* — "часть"), а явление существования таких соединений — изомерией .

Наличие изомеров обуславливает обилие органических соединений. С возрастанием числа атомов углерода в молекуле число изомеров резко увеличивается. Так, например, у бутана их 2, у пентана — 3, у гексана 5 изомеров, у гептана — 9, у октана — 18, у нонана — 35, а у декана — уже 75.

Как правило, изомеры с разветвленным углеродным скелетом обладают бо́льшей летучестью, т. е. имеют более низкую температуру кипения, чем соответствующие им изомеры с неразветвленным скелетом.

Изомерию, обусловленную разной последовательностью сообщения атомов в молекулах, а также различным положением кратных связей в них, называют *структурной изомерией* .

Изомерию разделяют на две группы: *структурная* и *пространственная* (схема 7).

Схема 7

Структурная изомерия — соединения одинакового качественного и количественного состава, отличающиеся порядком связывания атомов, т. е. химическим строением (табл. 42).

Таблица 42

Типы структурной изомерии

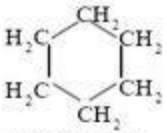
Изомерия углеродного скелета. Структурные изомеры C_5H_{12}	$CH_3—CH_2—CH_2—CH_2—CH_3$ н — пентан	$CH_3—CH(CH_3)—CH_2—CH_3$ 2-метилбутан	$CH_3—C(CH_3)_2—CH_3$ 2,2-диметилпропан

Продолжение

Изомерия положения: а) кратных связей	$CH_2=CH—CH_2—CH_3$ бутен-1	$CH_3—CH=CH—CH_3$ бутен-2
б) функциональной группы	$CH_3—CH_2—CH_2—CH_2(OH)$ бутанол-1	$CH_3—CH_2—CH(OH)—CH_3$ бутанол-2
Межклассовая изомерия	$CH_3—CH_2—OH$ этиловый спирт	$CH_3—O—CH_3$ диметиловый эфир

Межклассовая изомерия — изомерия веществ, принадлежащих к разным классам органических соединений. В таблице 43 приведены важнейшие примеры межклассовой изомерии.

Таблица 43

Классы	Общая формула	Примеры	
1	2	3	
Алкены	C_nH_{2n}	C_6H_{12}	$CH_2=CH—CH_2—CH_2—CH_2—CH_3$ гексен-1
Циклоалканы			 циклогексан
Алкины	C_nH_{2n-2}	C_3H_4	$CH\equiv C—CH_3$ пропин
Алкадиены			$CH_2=C=CH_2$ пропадиен
Алканолы	$C_nH_{2n+2}O$	$C_4H_{10}O$	$CH_3—CH_2—CH_2—CH_2—OH$ бутанол-1
Простые эфиры			$CH_3—CH_2—O—CH_2—CH_3$ диэтиловый эфир (этоксиэтан)
Одноосновные карбоновые кислоты	$C_nH_{2n}O_2$	$C_4H_8O_2$	$CH_3—CH_2—CH_2—C(=O)OH$ н-бутановая кислота
Сложные эфиры карбоновых кислот			$CH_3—CH_2—C(=O)O—CH_3$ метиловый эфир пропановой кислоты, или метилпропионат

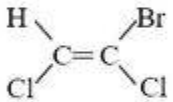
Продолжение

1	2	3	
Альдегиды	$C_nH_{2n}O_2$	C_3H_6O	$CH_3—CH_2—C(=O)H$ пропаналь
Кетоны			$CH_3—C(=O)—CH_3$ пропанон (ацетон)

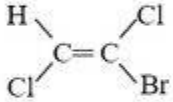
Пространственная изомерия (стереоизомеры) при одинаковом составе и одинаковом химическом строении различается пространственным расположением атомов в молекуле.

Пространственными изомерами являются оптические и цис-транс-изомеры (геометрические).

Цис-транс-изомерия заключается в возможности расположения заместителей по одну или разные стороны плоскости двойной связи или неароматического цикла. В **цис-изомерах** заместители находятся по одну сторону от плоскости двойной связи, в **транс-изомерах** — по разные.



цис-бром-дихлор-этен
Е-бром-дихлор-этен



транс-бром-дихлор-этен
Z-бром-дихлор-этен

Многообразие органических соединений определяется уникальной способностью атомов углерода соединяться друг с другом простыми и кратными связями, образовывать соединения с практически неограниченным числом атомов, связанных в цепи, циклы, бициклы, трициклы, полициклы, каркасы и др., образовывать прочные связи почти со всеми элементами периодической системы (с водородом в первую очередь), а также явлением изомерии — существованием разных по свойствам веществ, обладающих одним и тем же составом и молекулярной массой. Способность эта обусловлена строением атома углерода.

Соединения, имеющие одинаковый состав, но различное строение молекул (что вызывает различные свойства), называют **изомерами**, а явление существования таких соединений — **изомерией**.

Многочисленность углеводородов объясняется явлением изомерии. С возрастанием числа атомов углерода в молекуле соединения число изомеров увеличивается.

1. Как можно объяснить многообразие органических соединений?
2. Что такое *изомеры*?
3. Какие виды изомерии вы знаете?
4. Чем отличается структурная изомерия от пространственной? Какие из предлагаемых соединений являются: а) изомерами; б) гомологами?

1) $CH_3-\underset{\underset{CH_3}{|}}{CH}-\underset{\underset{CH_3}{|}}{CH}-CH_3$

2) $CH_3-CH_2-\underset{\underset{CH_3}{|}}{CH}-CH_3$

3) $CH_3-\overset{\overset{CH_3}{|}}{\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}}-CH_2-CH_3$

4) $CH_3CH_2CH_2CH_2CH_3$

5) $CH_3-\overset{\overset{CH_3}{|}}{\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}}-CH_3$

6) $CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2CH_3$

5. Определите, сколько пар изомеров среди веществ, формулы которых приведены ниже.

а) $CH_3-CH_2-CH_2-C\begin{matrix}/\!\!/ O \\ \backslash OH\end{matrix}$

б) $CH_3-CH_2-CH_2-CH_2OH$

в) $CH_3-CHCl-CH_3$

г) $CH_3-CH_2-O-CH_2-CH_3$

д) $CH_2Cl-CH_2-CH_3$

е) $CH_3-CH_2-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-O-CH_3$

ж) $CH_3-CH=CH-CH_3$

з) $CH_3-CH_2-CH_3$

и) $CH_3-\underset{\underset{CH_3}{|}}{CH}-CH_3$

к) $CH_2=CH-CH_2-CH_3$

л) $CH_3-CH_2-CH_2-CH_3$

6. Возможна ли геометрическая (цис-, транс-) изомерия для: а) алканов; б) алкенов; в) алкинов; г) циклоалканов? Объясните, приведите примеры.
7. Установите соответствие между органическим соединением и его названием.

1) $CH_3-CH_2-CH_3$

2) $CH_3-\underset{\underset{CH_3}{|}}{CH}-CH_3$

3) $CH_3-\underset{\underset{CH_3}{|}}{CH}-CH_2-CH_3$

4) $CH_3-\overset{\overset{CH_3}{|}}{\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}}-CH_3$

а) 2-метилбутан

б) 2,2-диметилпропан

в) пропан

г) 2-метилпропан

§ 63. КЛАССИФИКАЦИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

Как и неорганические соединения, органические вещества классифицируются, т. е. разделяются на классы.

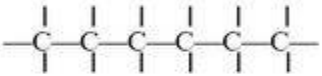
В зависимости от строения углеродного скелета (углеродной цепи) органические соединения подразделяются на две большие группы: **ациклические (алифатические) и циклические**. К ациклическим относятся соединения с открытой цепью углеродных атомов, которая (цепь) может быть неразветвленной (нормальной) или разветвленной (схема 8). В циклических соединениях углеродные атомы образуют циклы (кольца, ядра):

Сегодня на уроке:

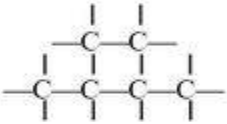
- познакомимся с классификацией органических веществ;
- поймем, что функциональные группы определяют химические свойства веществ.

Ключевые понятия

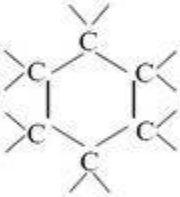
- углеродный скелет
- предельные углеводороды
- непредельные углеводороды
- циклические и ациклические соединения



неразветвленная цепь



разветвленная цепь

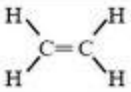


замкнутая цепь (цикл)

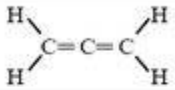
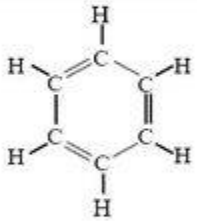
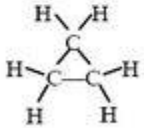
Циклические соединения классифицируют на *карбоциклические* и *гетероциклические*. В карбоциклических соединениях циклы построены только из атомов углерода, а в случае гетероциклических веществ в состав циклов кроме атомов углерода входят также атомы других элементов — азота, кислорода, серы и других (гетероатомы).

Таблица 44

Классификация углеводородов

Название класса	Представитель	
	Формула	Название
1	2	3
Алканы	CH_4	Метан
Алкены		Этен (этилен)

Продолжение

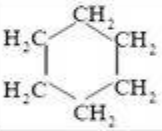
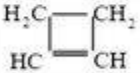
1	2	3
Диены		Пропадиен (аллен)
Алкины	$H—C \equiv C—H$	Этин (ацетилен)
Ароматические углеводороды		Бензол
Циклоалканы		Циклопропан

По характеру связи между атомами углерода органические соединения подразделяются на **насыщенные** (предельные) и **ненасыщенные** (непредельные).

Насыщенные соединения содержат в молекулах только одинарные связи углерод—углерод, **а ненасыщенные** — кратные (двойные или тройные) связи. Некоторые примеры приведены в таблице 45.

Таблица 45

Примеры классификации веществ по различным признакам

Структурная формула вещества	Классификация вещества
$H_3C—CH_2—CH_3$	Ациклическое (алифатическое) насыщенное вещество нормального строения
$CH_3—C(CH_3)=CH_2$	Ациклическое ненасыщенное вещество разветвленного строения
	Алициклическое насыщенное вещество
	Алициклическое ненасыщенное вещество

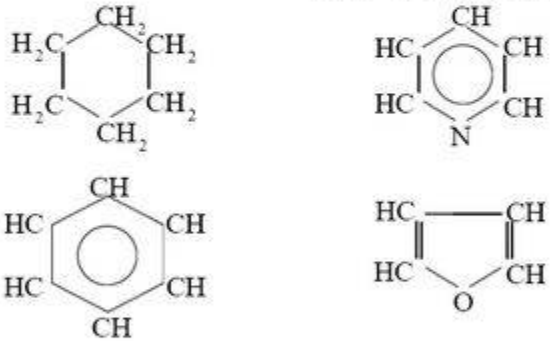
Функциональная (характеристическая) группа — это атом или группа атомов, определяющая характерные химические свойства вещества и его принадлежность к определенному классу органических соединений.

Схема 8

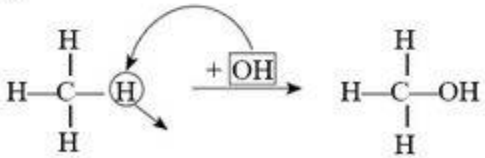
Классификация органических веществ по строению углеводородного радикала (R)

Органические соединения

- Ациклические (нециклические)
  - **Предельные** (атомы углерода связаны друг с другом только одинарными σ-связями)
    - $CH_3—CH_2—CH_3$
    - $CH_3—CH(CH_3)—CH_2—OH$
    - $CH_3—CH_2—CH_2—Cl$
  - **Непредельные** (молекулы этих соединений содержат двойные или тройные связи между атомами углерода)
    - $CH_2=CH_2$
    - $CH\equiv CH$
    - $CH_2=CH—CH_2—OH$
    - $CH_2=CH—CH=CH_2$
- Циклические
  - Карбоциклические (в состав циклов входят только атомы углерода)
  - Гетероциклические (в состав циклов, кроме атомов углерода, входят атомы других элементов)



Формально различные классы органических соединений можно получить, заменяя в молекулах углеводородов атом H на функциональную группу, например:



метан, углеводород

метанол — спирт, функциональное производное углеводорода

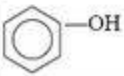
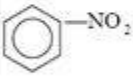
С данных позиций органические вещества можно классифицировать на **углеводороды** (молекулы состоят только из атомов C и H) и **функционально замещенные углеводороды** (функциональные производные углеводородов).

Классификация углеводородов приведена в таблице 44, а некоторые функциональные группы и названия соответствующих классов органических веществ — в таблице 46.

Функциональная группа может находиться в составе как ациклических, так и циклических соединений, поэтому полная классификация вещества требует указания всех особенностей его строения.

Таблица 46

Классификация органических веществ по функциональным группам (X)

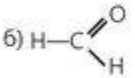
X	Название функциональной группы	RX	Название класса	Примеры
—OH	Гидроксильная группа (гидроксил)	R—OH	Спирты	$CH_3—CH_2—OH$
			Фенолы	
$>C=O$	Карбонильная группа (карбонил)	$R_2C=O$	Кетоны	$CH_3—C(=O)—CH_3$
$—C(=O)H$	Альдегидная группа	$R—C(=O)H$	Альдегиды	$CH_3—C(=O)H$
$—C(=O)OH$	Карбоксильная группа (карбоксил)	$R—C(=O)OH$	Карбоновые кислоты	$CH_3—CH_2—C(=O)OH$
$—C(=O)O—$	Сложно-эфирная группа	$R—C(=O)O—R$	Сложные эфиры	$CH_3—C(=O)O—CH_3$
$—NH_2$	Аминогруппы	$R—NH_2$	Первичные амины	$C_2H_5—NH_2$
$—NO_2$	Нитрогруппа	$R—NO_2$	Нитросоединения	
$—NH_2$ $—C(=O)OH$	Аминогруппа + Карбоксил	$R(NH_2)COOH$	Аминокислоты	$CH_3—CH(NH_2)—C(=O)OH$

В основу современной классификации органических соединений положены два важнейших признака: строение изомерного скелета молекулы и наличие в молекуле функциональных групп. Функциональная группа — это атомы или группа атомов, от которых зависят свойства веществ. По функциональным группам определяют принадлежность данного соединения к тому или иному классу веществ.

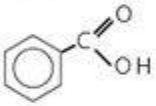
В молекулах органических веществ могут присутствовать одновременно различные функциональные группы, что обеспечивает им свойства различных классов соединений.

1. Как классифицируются органические вещества?
2. Что такое *функциональная группа*?
3. Укажите, к какому классу органических соединений относится каждое из следующих веществ:

а) C_3H_7—OH

б) 

в) C_6H_{12}

г) 

д) CH_3—C(=O)—H

е) CH_3—CH_2—C(=O)—H

ж) CH_3—C(=O)—OH

з) CH_3—C(=O)—O—CH_2—CH_3

и) CH_3—CH_2—NO_2

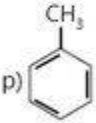
к) CH_3—CH_2—OH

л) CH_3—C≡CH

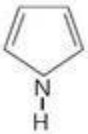
м) CH_3—CH_2—CH_3

н) CH_3—NH_2

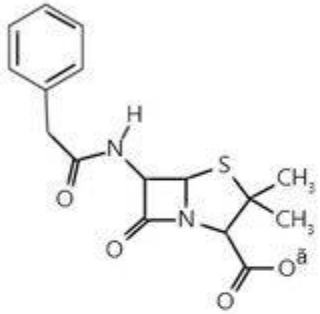
о) CH_2=CH_2

р) 

с)

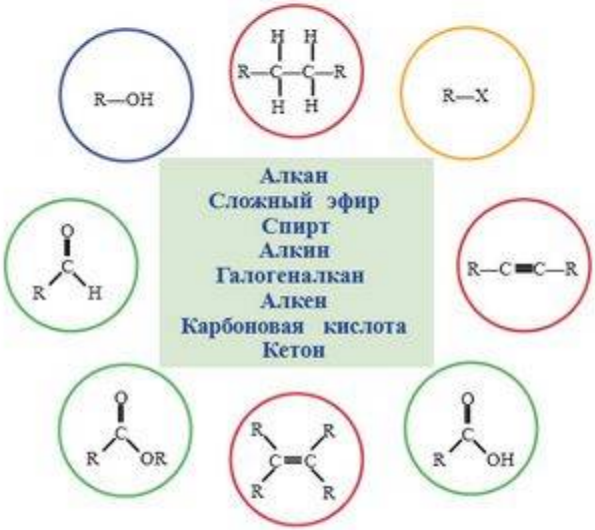
т) 

4. Составьте структурные формулы изомеров, отвечающих молекулярной формуле $C_2H_4O_2$, которые принадлежат к разным классам органических веществ. Укажите эти классы.
5. Пенициллин — самый первый в мире антибиотик, который стал настоящим спасением для миллионов людей. Открыл его в 1928 г. Александр Флеминг в результате проведения рядового эксперимента с колониями стафилококков, в некоторых чашках с культурами он обнаружил пятна обычной плесени.
   Как выяснилось при дальнейшем изучении, в чашках с плесневыми пятнами вредоносных бактерий не оказалось.
   Ниже дана формула пенициллина:



Какие функциональные группы входят в состав молекулы пенициллина?

6. Соотнесите классы органических веществ и их функциональные группы:



§ 64. НОМЕНКЛАТУРА ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Сегодня на уроке:

- познакомимся с номенклатурой органических соединений;
- научимся составлять формулы органических соединений.

Номенклатура — система названий веществ.

В настоящее время для наименования органических соединений применяются три типа номенклатуры: *тривиальная, рациональная и систематическая номенклатура*, которую также называют *международной* (предложенной Международным союзом теоретической и прикладной химии IUPAC).

Систематическая номенклатура IUPAC органических соединений представляет собой систему нескольких номенклатур и способов названия (схема 9).

Схема 9

Тривиальная (историческая) номенклатура — первая номенклатура, возникшая в начале развития органической химии, когда не существовало классификации и теории строения органических соединений. Органическим соединениям давали случайные названия по источнику получения (винный спирт, щавелевая кислота, яблочная кислота, уксусная кислота, ванилин, мочевина), цвету или запаху (ароматические соединения), реже — по химическим свойствам (парафины). Многие такие названия часто применяются до сих пор.

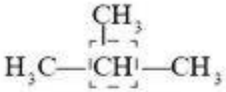
Ключевые понятия

- тривиальная номенклатура
- рациональная номенклатура
- систематическая номенклатура
- локант
- префикс

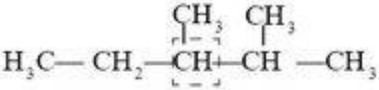
Тривиальные названия не дают представления о химической природе соединения, не расшифровывают его строения, однако при частом употреблении они удобнее длинных структурных названий.

По рациональной номенклатуре за основу названия органического соединения берется название простейшего члена гомологического ряда. Все остальные соединения рассматриваются как производные этого соединения, образованные замещением в нем атомов водорода углеводородными или иными радикалами.

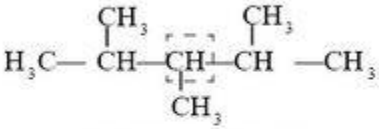
По рациональной номенклатуре предельные углеводороды рассматриваются как производные метана, у которого один или несколько атомов водорода замещены на радикалы. Если в формуле одинаковые радикалы повторяются несколько раз, то их указывают греческими числительными: ди — два, три — три, тетра — четыре, пента — пять, гекса — шесть и т. д. Например:



триметилметан



метилэтилизопропилметан



метилдиизопропилметан

Рациональная номенклатура удобна для не очень сложных соединений.

Систематическая номенклатура IUPAC является научной и отражает состав, химическое и пространственное строение соединения.

Номенклатура IUPAC вобрала в себя правила нескольких предшествующих номенклатур, главным образом, *заместительной и радикально-функциональной* . По этой причине в учебных пособиях можно встретить различные названия одного и того же вещества, и все они будут систематическими. Некоторые примеры показаны в таблице 47.

Таблица 47

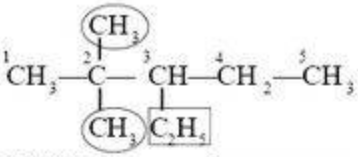
Примеры различных систематических названий соединений

Формула соединения	Название	
	Заместительная номенклатура	Радикально-функциональная номенклатура
CH_3CH_2Br	Бромэтан	Этилбромид
CH_3CH_2OH	Этанол	Этиловый спирт
$CH_3—CH(Cl)—CH_3$	2-хлорпропан	Изопропилхлорид
$CH_3—CH(OH)—CH_3$	Пропанол-2	Изопропиловый спирт
$H_3C—O—CH_3$	Метоксиметан	Диметиловый эфир
$CH_3—C(=O)—C_2H_5$	Бутанон	Метилэтикетон

В систематической номенклатуре используют такие понятия, как “умножающие префиксы” и “локанты”.

Умножающие префиксы — это приставки ди-, три-, тетра- и т. д., применяемые для обозначения числа одинаковых заместителей и кратных связей.

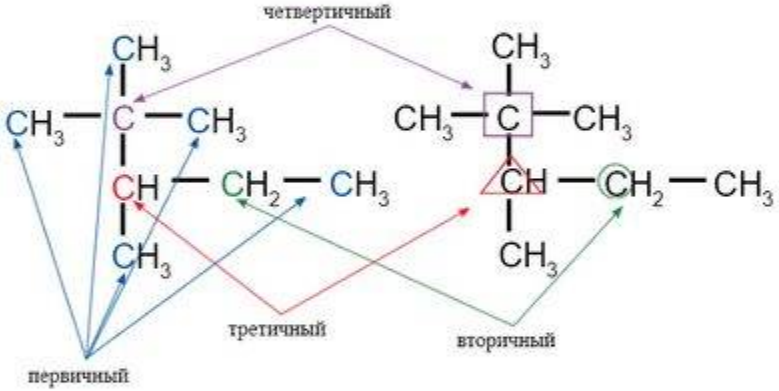
Например:



2,2-диметил 3-этилпентан

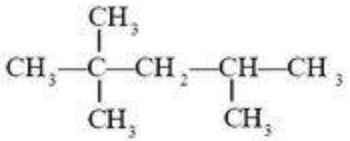
В этом примере вы видите цифры, указывающие положение заместителя, их называют *локантами* .

В органических веществах атомы углерода различаются по расположению в цепи. Они могут быть соединены с различным числом других атомов углерода (одним, двумя, тремя и максимум — четырьмя). Соответственно, различают первичные (соединены с одним соседним атомом углерода), вторичные (соединены с двумя соседними), третичные (соединены с тремя соседними) и четвертичные (соединены с четырьмя соседними) атомы углерода. Все типы атомов С присутствуют в молекуле, строение которой показано ниже:



Номенклатура — система названий веществ. В настоящее время для наименования органических соединений применяются три типа номенклатуры: *тривиальная, рациональная и систематическая* , которую также называют *международной* (предложенной Международным союзом теоретической и прикладной химии IUPAC).

1. Какие виды номенклатуры органических соединений используют в настоящее время?
2. Напишите структурные формулы изомеров состава C_7H_{12}, содержащих один четвертичный атом углерода, назовите вещества.
3. Приведите формулы пяти углеводородов, не имеющих изомеров.
4. Укажите в этой молекуле первичный, вторичный, третичный и четвертичный атомы углерода.



5. Изобразите структурную формулу нормального (с неразветвленной цепью) октана, т. е. н-октана.
6. Составьте структурные формулы изомеров, отвечающих молекулярной формуле: а) C_4H_{10}; б) C_2H_6O; в) C_3H_6; г) C_2H_4O; д) $C_2H_4O_2$.
7. Напишите формулу структурного изомера C_5H_{12}, содержащего четвертичный углеродный атом.

§ 65. ПРЕДЕЛЬНЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ. АЛКАНЫ

Сегодня на уроке:

- изучим гомологический ряд алканов и их свойства.

Ключевые понятия

- алканы
- гомологический ряд

Углеводороды делятся на *предельные, непредельные* и *ароматические*.

Предельными углеводородами, или ***алканами*** (международное название) называются соединения, состав которых выражается общей формулой C_nH_{2n+2}, где n — число атомов углерода.

В молекулах предельных углеводородов каждый атом углерода затрачивает на соединение с соседним углеродным атомом по одной валентности, образуя простую (одинарную) связь. Все оставшиеся свободные валентности углерода заполняют (насыщают) атомы водорода, поэтому предельные углеводороды содержат максимальное количество атомов водорода. Отсюда и их название — *предельные*, или *насыщенные углеводороды*.

Предельные углеводороды с открытой цепью называются *алканами*, или *парафинами* (лат. *parrum affinis* — "малоактивный").

Простейшим представителем класса предельных углеводородов является метан CH_4. Это бесцветный легкий горючий газ, не имеющий запаха и почти нерастворимый в воде. Точка кипения метана — 161,5°С, точка замерзания —184°С.

Метан довольно часто встречается в природе. Так называемые природные газы, в большом количестве выделяющиеся в некоторых местах из недр земли, состоят главным образом из метана. Этот газ выделяется со дна болот, прудов и стоячих вод, где он образуется при разложении растительных остатков без доступа воздуха, почему он и получил также название "болотного газа". Наконец, метан постоянно скапливается в каменноугольных шахтах, где его называют *рудничным газом*. Образуя с воздухом взрывчатую смесь, метан не раз являлся причиной катастроф в рудниках.

Ниже приведены физические свойства алканов.

Таблица 48

Физические свойства алканов

Название	Формулы	Агрегатные состояния	$t_{пл.}$, °C	$t_{кип.}$, °C
Метан	CH_4	Газы без запаха	–182,5	–161,5
Этан	C_2H_6		–182,8	–88,6
Пропан	C_3H_8		–187,7	–42
Бутан	C_4H_{10}		–138,3	–0,5
Пентан	C_5H_{12}	Жидкости с характерным запахом	–129,7	+36,1
Гексан	C_6H_{14}		–95,3	+68,7
Гептан	C_7H_{16}		–90,6	+98,4
Октан	C_8H_{18}		–56,8	+124,7
Нонан	C_9H_{20}		–53,7	+150,8
Декан	$C_{10}H_{22}$		–29,6	+174,0
Гексадекан	$C_{16}H_{34}$	Твердое вещество без запаха, белого цвета, жирное на ощупь	+18,2	+286,8

Какие закономерности вы заметили в изменении физических свойств алканов?

Алканы — неполярные соединения и трудно поляризуемые. *Жидкие* алканы легко смешиваются друг с другом. Они легче воды и в ней практически не растворяются, также, как и в других растворителях с высокой полярностью. Жидкие алканы — хорошие растворители для многих органических веществ. Метан и этан, а также высшие алканы не имеют запаха. Алканы — горючие вещества. Метан горит бесцветным пламенем.

Сравнивая формулы, мы видим, что каждый следующий член ряда содержит в молекуле на один атом углерода и два атома водорода больше, чем предыдущий. *Такой ряд органических соединений, все члены которого обладают сходными химическими свойствами и сходным строением, причем каждый следующий член отличается от предыдущего на группу атомов* CH_2, *называется* ***гомологическим рядом***, *а отдельные члены —* ***гомологами***. Группы CH_2 называются *гомологической разностью*. Гомологи, расположенные в порядке возрастания их относительной молекулярной массы, образуют гомологический ряд. Приведенные выше углеводороды образуют гомологический ряд предельных (насыщенных) углеводородов. В подобные гомологические ряды группируются и другие органические вещества.

В каждом подъезде висит табличка: "Если вы почувствовали запах газа, звоните по телефону 104". Какие особенности метана обусловили необходимость такого предупреждения?

В обычных условиях первые четыре члена гомологического ряда алканов – газы, C_5–C_{15} – жидкости, а начиная с C_{16} – твердые вещества. Предельные углеводороды в воде практически нерастворимы, а растворяются в неполярных органических растворителях, таких как бензол, тетрахлорметан.

Знаешь ли ты?

Декан является одним из углеводородов, который используют как растворитель красок, его другое название "уайт-спирит".

Газообразные алканы вам хорошо известны по их применению в быту в качестве топлива . Они содержатся в природном газе. Жидкие предельные углеводороды входят в состав таких широко известных нефтепродуктов, как бензин, керосин, солярка, дизельное топливо, мазут. Их получают из нефти, которая, как и природный газ, является источником предельных углеводородо в (рис. 81).

Твердые предельные углеводороды вам также хорошо известны. Это, в частности, парафин, из которого изготавливают свечи (рис. 81).

Зная число атомов углерода в молекуле, легко найти молекулярную массу вещества. Например, если в молекуле содержится пять атомов углерода, молекулярная масса $M_r = 12 \cdot 5 + 2 \cdot 5 + 2 = 72$. И, наоборот, зная молекулярную массу предельного углеводорода, по общей формуле можно определить его молекулярную формулу. Например, если $M_r = 100$, то, решая уравнение с одним неизвестным:

$100 = 12n + 2n + + 2$, найдем $n = 7$, следовательно, формула углеводорода C_7H_{16}.

Знаешь ли ты?

Учитывая текущий уровень потребления, было рассчитано, что существующих запасов угля хватит примерно на 250 лет, запасов газа — на 70 лет и запасов нефти — всего на 50 лет.

Рис. 81. Газообразные, жидкие и твердые алканы в быту

Углеводороды с общей формулой C_nH_{2n+2} называют **предельными углеводородами**, или **алканами**. Буква *n* показывает число атомов углерода в молекуле углеводорода.

Гомологи — это вещества, сходные по строению и химическим свойствам, но отличающиеся друг от друга на группу атомов CH_2.

В обычных условиях первые четыре члена гомологического ряда алканов — газы, C_5—C_{15} — жидкости, а начиная с C_{16} — твердые вещества.

Предельные углеводороды находят широкое применение в самых разнообразных сферах жизнедеятельности человека.

1. Какие соединения называют *предельными углеводородами, или алканами*? Приведите примеры.
2. Найдите формулу алкана, молекула которого содержит: а) семь атомов углерода; б) десять атомов водорода.
3. Какие вещества называют *гомологами*? Приведите пример.
4. Где и в каком виде предельные углеводороды встречаются в природе?
5. Где применяются газообразные, жидкие и твердые углеводороды?
6. Определите плюсы и минусы свойств метана при использовании его человеком.

1. Вычислите, во сколько раз пропан легче или тяжелее воздуха. Какова масса (в г) 1 л пропана (н. у.)?
2. Какой объем (в м³) оксида углерода (IV) образуется при сжигании: а) 60 м³ этана; б) 60 кг этана?
3. Какой объем воздуха (н. у.) потребуется, чтобы сжечь 50 м³ газа, содержащего 90% метана, 5% этана, 3% оксида углерода (IV) и 2% азота?

Изучение состава парафина

Чтобы доказать наличие углерода и водорода в составе парафина, проделайте такой опыт. 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, следовательно, в состав парафина входит водород. Погасите свечу и выньте ее из стакана. Затем налейте немного прозрачной известковой воды и осторожно взболтайте — известковая вода помутнеет от карбоната кальция, который образовался при ее взаимодействии с углекислым газом, получившимся при горении свечи. Следовательно, в парафине содержится углерод.

§ 66. НОМЕНКЛАТУРА И ИЗОМЕРИЯ АЛКАНОВ

Сегодня на уроке:

- изучим номенклатуру и изомерию алканов.

Ключевые понятия

- углеводородная цепь
- алкильный радикал
- главная цепь

Как вам известно, атомы углерода в молекулах углеводородов расположены не по прямой линии, а зигзагообразно (рис. 82). Причина этого в тетраэдрическом направлении валентных связей атомов углерода.

Зигзагообразная цепь атомов углерода может принимать различные пространственные формы. Это связано с тем, что атомы в молекуле могут относительно свободно вращаться вокруг химических связей (конформация) (рис. 83, 84).

Согласно международной номенклатуре, изомеры с разветвленной цепью углеродных атомов следует рассматривать как производные алкана с самой длинной неразветвленной углеродной цепью.

Таблица 49

Гомологический ряд предельных углеводородов

Название	Структурная формула	Молекулярная формула
Метан	CH_4	CH_4
Этан	$CH_3—CH_3$	C_2H_6
Пропан	$CH_3—CH_2—CH_3$	C_3H_8
н-Бутан	$CH_3—CH_2—CH_2—CH_3$	C_4H_{10}
н-Пентан	$CH_3—CH_2—CH_2—CH_2—CH_3$	C_5H_{12}
н-Гексан	$CH_3—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_3$	C_6H_{14}
н-Гептан	$CH_3—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_3$	C_7H_{16}
н-Октан	$CH_3—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_3$	C_8H_{18}
н-Нонан	$CH_3—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_3$	C_9H_{20}
н-Декан	$CH_3—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_3$	$C_{10}H_{22}$

В таблице 49 приведены названия первых десяти алканов неразветвленного строения, которые следует заучить.

При отрыве одного атома водорода от молекулы предельного углево-

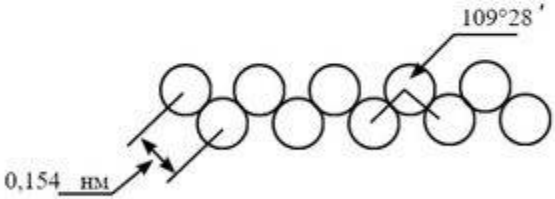


Рис. 82. Зигзагообразная форма

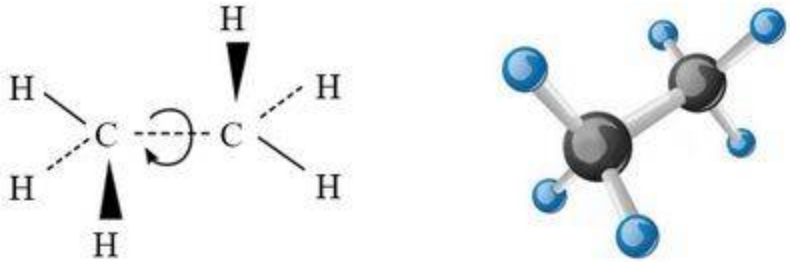


Рис. 83. Вращение углерод-углеродной связи

дорода образуется одновалентный "остаток" — углеводородный радикал (**R**—). Общее название одновалентных радикалов алканов — **алкилы** — образовано заменой суффикса ***-ан*** на ***-ил*** (табл. 50).

Таблица 50

Алкан	Алкил
CH_4 метан	$—CH_3$ метил
C_2H_6 этан	$—C_2H_5$ этил
C_3H_8 пропан	$—C_3H_7$ пропил
C_4H_{10} бутан	$—C_4H_9$ бутил
C_5H_{12} пентан	$—C_5H_{11}$ пентил
C_6H_{14} гексан	$—C_6H_{13}$ гексил

Общая формула алкилов: C_nH_{2n+1}.

Алгоритм составления названий алканов по международной номенклатуре

1. Найти самую длинную (главную) неразветвленную цепь углеродных атомов. Таким образом, в данном соединении главная цепь содержит шесть углеродных атомов.
2. Пронумеровать атомы углерода главной цепи (нумерация начинается с того конца, к которому ближе разветвление).
3. Указать положение заместителя (номер атома углерода, у которого находится алкильный радикал).
4. Назвать алкильный радикал .

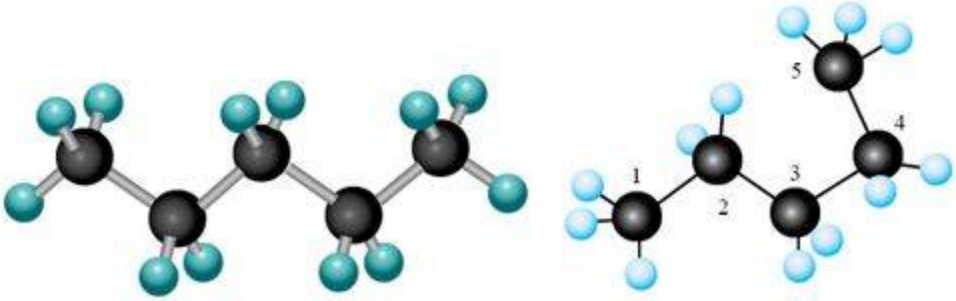
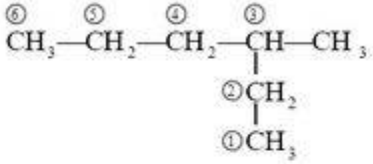
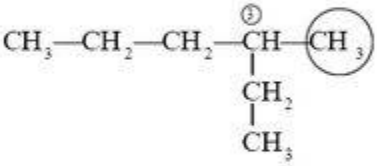


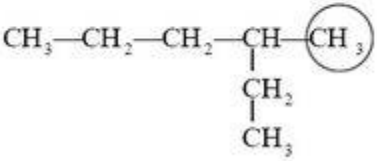
Рис. 84. Шаростержневые модели молекулы пентана

5. Назвать алкан, соответствующий главной цепи.

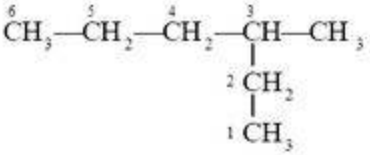




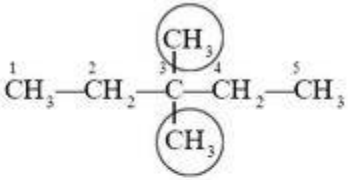
3-...



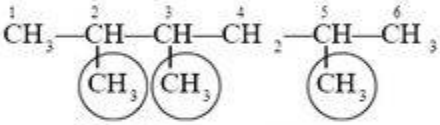
3-метил...



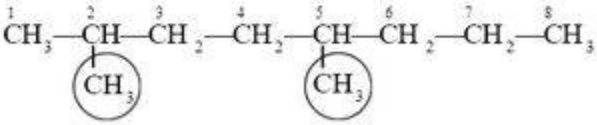
3-метилгексан



3,3-диметилпентан



2, 3, 5-триметилгексан



2, 5-диметилнонан

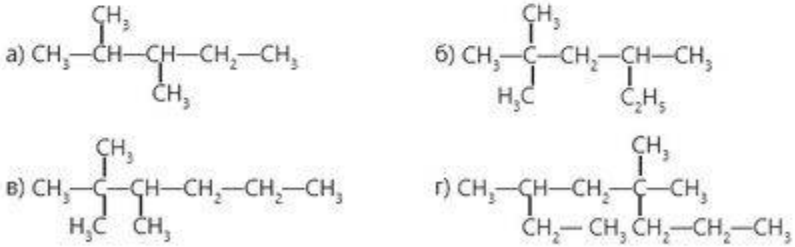
Знаешь ли ты?

Во время экспедиции в Индию Х. Колумб писал, что наблюдал на поверхности моря "кипение воды", а также неведомо откуда появившийся "огненный столб". Дело было в районе Бермудского треугольника в Атлантическом океане. Загадка наблюдавшихся явлений сохранялась в течение многих столетий. И лишь в наше время появилась разгадка. Вероятнее всего, великий мореплаватель наблюдал мощный выход на поверхность метана и видел в воздухе факел горящего газа, который, возможно, воспламенился от разряда молнии. Не исключено, что загадочные случаи исчезновения в этом районе кораблей и самолетов объясняются наличием на дне моря гигантских залежей газогидратов. В периоды повышенной тектонической активности здесь разогревается придонная порода, в результате чего массы газогидратов разлагаются, выделяют метан, который устремляется на поверхность и гигантским столбом вырывается в атмосферу.

Согласно международной номенклатуре, изомеры с разветвленной цепью углеродных атомов следует рассматривать как производные алкана с самой длинной неразветвленной углеродной цепью.

При отрыве одного атома водорода от молекулы предельного углеводорода образуется одновалентный "остаток" — углеводородный радикал (**R**—). Общее название одновалентных радикалов алканов — **алкилы** — образовано заменой суффикса ***-ан*** на ***-ил***.

1. Дайте определение понятий: *гомологи, гомологический ряд, гомологическая разность.*
2. Какие из приведенных ниже формул отвечают предельным углеводородам: C_4H_8, C_8H_{18}, C_6H_6, C_3H_8, $C_{20}H_{42}$, $C_{11}H_{22}$?
3. Что такое *радикал*? Изобразите структурные формулы одновалентных радикалов состава: — C_2H_5; — C_3H_7; — C_4H_9.
4. Объясните, как строятся названия радикалов. Назовите состав и названия первых десяти представителей гомологического ряда метана и соответствующие им одновалентные радикалы.
5. Назовите следующие алканы по международной номенклатуре:



6. Напишите структурные формулы следующих соединений, найдите их изомерные соединения: изопентан; 3-метил-3-этилпентан; 2,2-диметилпропан; 2,5-диметилгексан; 2,2-диметилгексан; 2,3,4-триметилпентан; 2,2-диметил-3-этилгексан.
7. Напишите структурные формулы изомеров состава C_7H_{16} с пятью атомами углерода в главной цепи. Назовите их по международной номенклатуре.

1. Определите относительные плотности этана и пропана по водороду.
2. Выведите молекулярную формулу углеводорода, массовая доля углерода в котором составляет 82,21%. Плотность паров вещества по водороду равна 57. Напишите структурные формулы трех изомеров такого состава и назовите их.

Ответ: C_7H_{16}.

3. Какова химическая формула газообразного предельного углеводорода, если 11 г этого газа занимает 5,6 л (при н. у.)?

Ответ: C_3H_8.

§ 67. ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛКАНОВ

Сегодня на уроке:

- изучим химические свойства алканов;
- узнаем об экологическом воздействии галогеналканов на окружающую среду.

Ключевые понятия

- изомеризация
- галогенирование
- радикалы
- инициирование
- рост цепи
- обрыв цепи
- фреон

Химические свойства. Алканы обладают низкой реакционной способностью. Это обусловлено прочностью и очень малой полярностью связей С—С и С—Н. Однако в определенных условиях алканы вступают в реакцию замещения, отщепления, окисления и изомеризации.

Реакции замещения. Для алканов характерны реакции замещения. Если смесь метана с хлором в закрытом стеклянном цилиндре выставить на рассеянный солнечный цвет, то происходит постепенное ослабление желто-зеленой окраски хлора вследствие взаимодействия его с метаном (при прямом солнечном освещении может произойти взрыв).

В частности, хлорирование метана широко применяется в промышленности. Реакция идет на свету (под действием УФ-облучения ; hν). При этом газообразный хлор последовательно замещает в молекуле метана все четыре атома водорода с образованием соответствующих галогенопроизводных:

$$\underset{\text{метан}}{CH_4} + Cl_2 \rightarrow \underset{\substack{\text{хлорметан} \\ \text{(хлористый метил)}}}{CH_3Cl} + HCl$$

$$CH_3Cl + Cl_2 \rightarrow \underset{\substack{\text{дихлорметан} \\ \text{(хлористый метилен)}}}{CH_2Cl_2} + HCl$$

$$CH_2Cl_2 + Cl_2 \rightarrow \underset{\substack{\text{трихлорметан} \\ \text{(трехлористый углерод, хлороформ)}}}{CHCl_3} + HCl$$

$$CHCl_3 + Cl_2 \rightarrow \underset{\substack{\text{тетрахлорметан} \\ \text{(четыреххлористый углерод)}}}{CCl_4} + HCl$$

Галогенирование алканов под действием света протекает по радикально-цепному механизму и является реакцией радикального замещения.

Механизм реакции

Реакция осуществляется в три стадии:

а) **инициирование** (зарождение цепи) — гомолитическое расщепление молекулы Cl_2 с образованием свободных радикалов хлора:

$$Cl \cdot | \cdot Cl \xrightarrow{h\nu} \underset{\text{свободные радикалы}}{Cl \cdot + \cdot Cl}$$

Свободные радикалы — это атомы или группы атомов с неспаренными электронами ($\bullet Cl$, $\bullet H$, $\bullet CH_3$);

б) **развитие цепи:** взаимодействие радикала хлора с молекулой алкана (1) или взаимодействие метильного радикала с новой молекулой хлора (2) и т. д.:

$$Cl \cdot + H \cdot | \cdot \overset{\overset{H}{\vdots}}{\underset{\underset{H}{\vdots}}{C}} \cdot H \rightarrow H \cdot : Cl + \cdot CH_3 \qquad (1)$$

$$\cdot CH_3 \cdot + Cl \cdot | \cdot Cl \rightarrow CH_3Cl + \cdot Cl \text{ и т. д.} \qquad (2)$$

б) **обрыв цепи** (происходит при соединении двух радикалов друг с другом):

$$Cl \cdot + \cdot Cl \rightarrow Cl_2$$

$$CH_3 \cdot + \cdot CH_3 \rightarrow CH_3{-}CH_3$$

$$CH_3 \cdot + \cdot Cl \rightarrow CH_3Cl$$

Реакция изомеризации. Алканы нормального строения при определенных условиях могут превращаться в изомеры с разветвленной цепью:

$$\underset{\text{н-пентан}}{CH_3{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_3} \xrightarrow{100°C,\ AlCl_3} \underset{\text{2-метилбутан}}{CH_3{-}\underset{\underset{CH_3}{|}}{CH}{-}CH_2{-}CH_3}$$

Реакция горения. При обычной температуре алканы не вступают в реакцию даже с сильными окислителями. При внесении в открытое пламя алканы горят. При этом в избытке кислорода происходит их полное окисление до CO_2, где углерод имеет высшую степень окисления +4. Горение углеводородов сопровождается выделением большого количества тепла (экзотермическая реакция). Метан как основная часть природного газа используется в качестве топлива. Метан горит синеватым или почти бесцветным пламенем, выделяя большое количество теплоты:

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2\uparrow + 2H_2O + Q.$$

А этан горит ярким пламенем:

$$2C_2H_6 + 7O_2 \rightarrow 4CO_2\uparrow + 6H_2O + Q.$$

Смеси газообразных алканов с кислородом или с воздухом взрывоопасны, поэтому очень опасна как утечка газа, так и накопление метана в шахтах или котельных. Например, если объемное соотношение метана и кислорода соответствует 1:2, то происходит очень сильный взрыв. Нередко это является причиной аварий и несчастных случаев в шахтах.

При сжигании топлива выделяется множество веществ — продуктов неполного сгорания (оксид углерода (II), сажа, углеводороды), загрязняющих атмосферу.

В крупных городах одним из основных источников загрязнения воздуха служат двигатели внутреннего сгорания автомобилей. Другие распространенные источники загрязнения воздуха — это тепло- и электростанции, работающие на каменном угле и мазуте.

Бытовой газ не имеет запаха. В него добавляют в мизерных пропорциях сильно и дурно пахнущее вещество — меркаптан. Для чего это нужно?

При горении бензина и других видов топлива образуются ядовитые оксиды азота, причем даже тогда, когда топливо не содержит азотсодержащих соединений. Дело в том, что при высокой температуре, которая достигается, например, в двигателе внутреннего сгорания, может протекать реакция азота воздуха с кислородом:

$$N_2 + O_2 = 2NO$$

Оксид азота (II) попадает с выхлопными газами в атмосферу, где окисляется кислородом до оксида азота (IV). Образование NO в выхлопных газах невелико, но достаточно для того, чтобы оксиды азота стали одними из основных загрязнителей воздуха в больших городах.

Оксиды серы и азота, загрязняющие атмосферу больших городов, весьма опасны для человека. Реагируя с водой, они образуют кислотные дожди.

Алканы обладают низкой реакционной способностью. Это обусловлено прочностью и очень малой полярностью связей С—С и С—Н. Однако в определенных условиях алканы вступают в реакции замещения, отщепления и окисления. Галогенирование алканов под действием света протекает по радикально-цепному механизму и является реакцией радикального замещения. Горение углеводородов сопровождается выделением большого количества тепла.

1. Какими общими свойствами обладают предельные углеводороды?
2. Напишите формулы всех веществ, которые могут образоваться при взаимодействии этана с избытком хлора.
3. Сколько различных монохлоралканов (веществ, в которых только один атом водорода замещен на атом хлора) может получиться при хлорировании: а) пропана; б) бутана; в) 2-метилпропана; г) 2-метилпентана?
4. При хлорировании вещества C_5H_{12} образовалось только одно монохлорпроизводное состава $C_5H_{11}Cl$. Напишите структурную формулу исходного вещества и назовите его.
5. Взаимодействие с хлором алкана, содержащего в молекуле шесть атомов углерода, приводит к образованию пяти различных хлоралканов состава $C_6H_{13}Cl$. Определите строение, напишите структурную формулу и назовите исходное вещество.
6. Гептакозан $C_{27}H_{56}$ найден в пчелином воске. В его молекуле присутствуют только первичные и вторичные атомы углерода. К разветвленным или неразветвленным алканам относится гептакозан? Сколько различных продуктов монохлорирования можно из него получить?

1. Неизвестный алкан массой 1,44 г прореагировал с бромом. В результате образовался 4,64 г бромалкана. Установите формулу неизвестного алкана.
2. 6,72 л (н. у.) смеси этана и пропана сожгли в кислороде. При пропускании образовавшегося CO_2 через известковую воду образовался осадок массой 80 г. Определите состав исходной смеси.

Ответ: 2,24 л этана; 4,48 л пропана.

3. При взаимодействии 6 г неизвестного алкана с бромом образовалось 21,8 г вещества, содержащего один атом брома в молекуле. Определите состав исходного алкана.

TOP 10 10 рекордсменов среди органических веществ
1. Метан — самый нетоксичный
2. Бутилмеркаптан — самый зловонный
3. Ванилин — самый пахучий
4. Нитрогеназа — самый медленный фермент
5. Карбоангидраза — самый быстрый фермент
6. ДНК человека — самая большая молекула
7. Дийодметан — самый плотный
8. Тетрабензгептацен — самый тугоплавкий
9. Нонаконтатриктан $C_{390}H_{782}$ — самый длинный алкан
10. Циклооктаоктаконтадиктан $C_{288}H_{576}$ — самый длинный циклоалкан

§68. ЦИКЛОАЛКАНЫ

Сегодня на уроке:

- ознакомимся с циклоалканами и их свойствами.

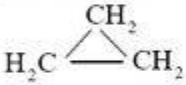
Ключевые понятия

- циклоалканы
- строение
- номенклатура
- изомерия
- получение
- физические свойства
- химические свойства
- применение

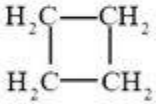
Циклоалканы (циклопарафины) — насыщенные углеводороды, содержащие цикл из трех или более атомов углерода. Они относятся к алициклическим углеводородам. Общая формула циклоалканов: C_nH_{2n}, где $n \geq 3$.

Простейшие представители циклоалканов :

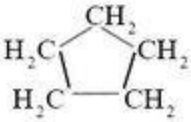
циклопропан C_3H_6



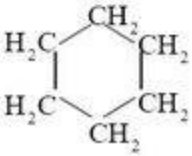
и циклобутан C_4H_8



Другие гомологи состоят из пяти и шести атомов углерода.



Циклопентан



Циклогексан

На рисунке 85 представлены шаростержневые модели циклоалканов.

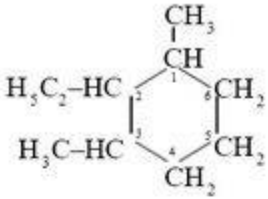
Номенклатура и изомерия . Как вы заметили, названия циклоалканов образуют прибавлением приставки **цикло** - к названиям соответствующих алканов. Пяти-, шестичленные циклоалканы находятся в составе некоторых сортов нефти. Отсюда и другое название циклоалканов — нафтены.

Циклоалканы с боковыми заместителями называют обычным образом: нумеруют атомы углерода в цикле от атома с простейшим заместителем и далее по кратчайшему пути к следующему заместителю. Главным требованием является минимальная сумма цифр в назва-

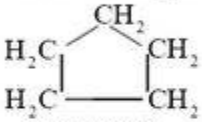
Циклопентан Циклогексан Циклооктан

Рис. 85. Шаростержневые модели циклоалканов

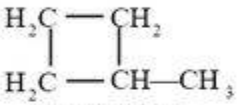
нии циклоалкана. Например, название изображенного циклоалкана: 1,3-диметил-2-этилциклогексан, а не 1,5 диметил-5-этилгексан.



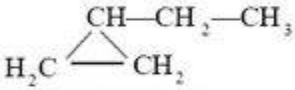
1. Для циклоалканов характерны изомерия углеродной цепи и межклассовая изомерия. Изомеры циклоалканов различаются числом атомов углерода в цикле, строением и расположением заместителей в цикле. Например, молекулярной формуле C_5H_{10} соответствуют следующие изомеры :



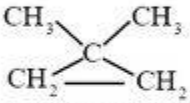
циклопентан



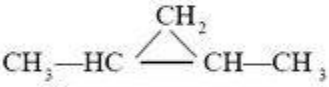
метилциклобутан



этилциклопропан



1,1-диметилциклопропан



1,2-диметилциклопропан

2. Циклоалканы с алкенами — межклассовые изомеры:

$$CH_2 = CH - CH_2 - CH_2 - CH_3$$

Шаростержневые модели молекул 1,2-диметилциклопропана (рис. 86) показывают, что возможны два варианта расположения метильных групп CH_3 в пространстве: по одну сторону плоскости цикла (цис-положение) и по разные стороны (транс-положение).

Получение. В промышленности циклоалканы получают из нефти.

Пяти- и шестичленные циклоалканы были впервые выделены из нефти профессором Московского университета В. В. Марковниковым.

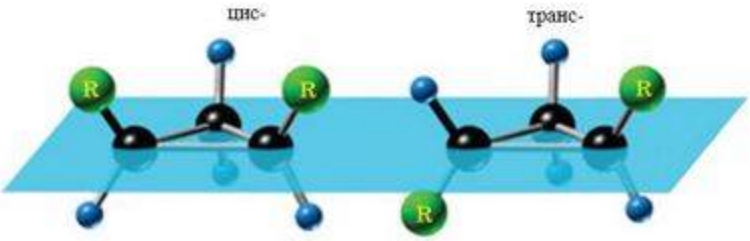
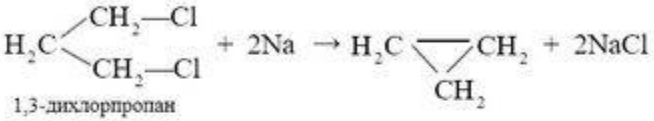
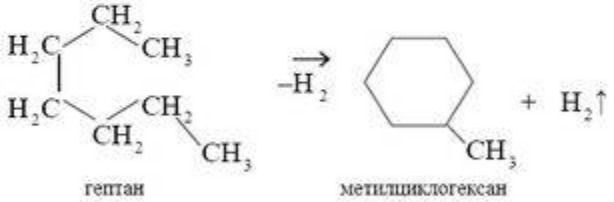


Рис. 86. Шаростержневые модели молекул цис- и транс-1,2-диметилциклопропанов

Циклопропан и циклобутан получают циклизацией дигалогеналканов под действием Na, Mg, Zn:



При дегидрировании алканов образуются соответствующие циклоалканы, например:



Знаешь ли ты?

Циклопропан оказывает сильное общеобезболивающее действие. Чрезвычайно огнеопасен; его смеси с кислородом и воздухом могут взрываться при соприкосновении с пламенем, электрической искрой. При использовании циклопропана необходимо принимать все меры, исключающие возможность взрыва. В связи с этими особенностями, а также с появлением новых способов и средств общего обезболивания циклопропан в настоящее время крайне редко используется в качестве средства для наркоза.

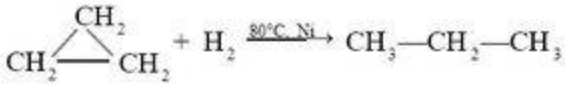
Физические свойства. Циклопропан и циклобутан при нормальных условиях — газы, а циклопентан и циклогексан — жидкости. Циклопарафины в воде практически не растворяются. Температуры кипения и плавления циклоалканов, как и их плотности, несколько выше, чем у парафинов с равным числом атомов углерода.

Знаешь ли ты?

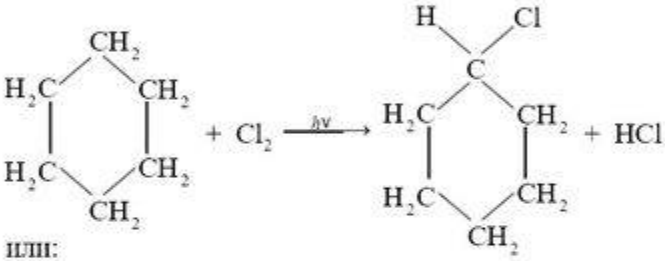
Смолы деревьев построены на циклоалканах, циклоалканы входят в состав восточных благовоний, камфоры, амбры, мятных, лимонных масел и т. д. Циклоалканы не обошли стороной витамины, например витамины группы "Д". Циклоалканы присутствуют в незаменимых гормонах, без которых человеку не выжить — в желчных кислотах и в половых гормонах, без которых невозможно размножение.

Химические свойства. Все атомы углерода в цикле находятся в состоянии sp^3-гибридизации. В простейших циклах (C_3, C_4) углы между C—C- связями сильно отличаются от тетраэдрического угла (109°28'), что создает в молекулах напряжение, вследствие чего циклопропан и циклобутан обладают высокой реакционной способностью, вследствие чего при действии некоторых реагентов (H_2, Br_2, HI) на циклопропан

и циклобутан циклы легко раскрываются, образуя насыщенные соединения:



Начиная с C_5H_{10}, углы между связями С—С мало отличаются от 109°28'. Эти соединения при галогенировании не раскрываются, а вступают в реакции радикального замещения, подобно алканам:



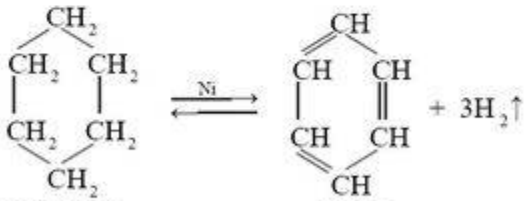
или:

$$C_6H_{12} + Cl_2 \xrightarrow{h\nu} C_6H_{11}Cl + HCl$$

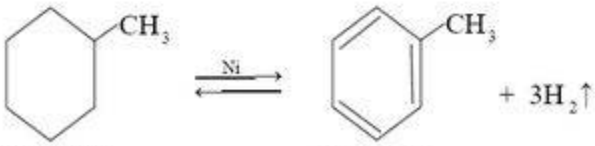
Горение.

$$C_6H_{12} + 9O_2 \rightarrow 6CO_2\uparrow + 6H_2O + Q$$

Дегидрирование . При дегидрировании циклогексана или метилциклогексана образуются соответственно бензол и толуол :



циклогексан бензол



метил цикло-гексан метил бензол (толуол)

Применение. Циклопропан применяют в медицине, в качестве наркоза. Из циклоалканов практическое значение имеют циклогексан и метилциклогексан. В процессе ароматизации нефти эти соединения превращаются в ароматические углеводороды, которые широко используются для синтеза красителей и медикаментов.

Циклоалканы (циклопарафины) — насыщенные углеводороды, содержащие цикл из трех или более атомов углерода. Общая формула циклоалканов C_nH_{2n}. Все атомы углерода в цикле находятся в состоянии sp^3-гибридизации. Для циклоалканов характерны изомерия углеродной цепи и межклассовая изомерия. Циклоалканы могут вступать в реакции присоединения, замещения и разложения.

1. Какие углеводороды относят к циклоалканам и почему их так назвали? Почему циклоалканы иногда называют *нафтенами*?
2. Напишите структурные формулы изомерных циклоалканов состава C_6H_{12}. Назовите эти соединения.
3. Напишите структурные формулы следующих циклоалканов: 1,2-диметил-4-этилциклоалкана; 1,3-диметилциклобутана; 1,1диметил-2-этилциклопропана.
4. Напишите структурные формулы цис- и транс-изомеров 1,2 и 1,3-диэтилциклобутана.
5. В чем причина низкой устойчивости циклопропана?
6. Напишите уравнения реакций бромирования: а) циклопропана; б) циклогексана. Назовите полученные соединения.

- **1.** а) Плотность паров циклоалкана по водороду равна 42. Определите молекулярную формулу вещества и назовите его. б) Составьте структурные формулы двух гомологов и двух изомеров этого соединения.

  Ответ: C_6H_{12}.
- **2.** Сожгли 7 г циклического углеводорода, образовалось 22 г углекислого газа и 9 г воды. Определите формулу вещества, если плотность его паров в нормальных условиях составляет 3,125. С каким веществом из другого класса оно изомерно?

  Ответ: C_5H_{10}.
- **3*.** Какой объем гидроксида калия с массовой долей КОН 11% (плотность 1,1 г/мл) потребуется для нейтрализации бромоводорода, образующегося при монобромировании 8,4 г циклогексана?

  Ответ: 46,28 мл.

§ 69. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ НА ТЕМУ: "ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФОРМУЛЫ ВЕЩЕСТВА ПО ПРОДУКТАМ СГОРАНИЯ И ГОМОЛОГИЧЕСКИМ РЯДАМ"

Задача 1. При сжигании 29 г углеводорода образовалось 88 г углекислого газа и 45 г воды, относительная плотность вещества по воздуху равна 2. Найдите молекулярную формулу углеводорода.

Запишем условие задачи.

Дано
$m(C_xH_y)$ — 29 г
$m(CO_2)$ — 88 г
$m(H_2O)$ — 45 г
$D(C_xH_y)$ — 2

Найти :
молекулярную формулу C_xH_y

Решение.

Найдем относительную молекулярную массу вещества:

$M_r = D_{возд.} \cdot M_r(возд.)$,

$M_r(C_xH_y) = 2 \cdot 29 = 58$.

Найдем количество образовавшегося оксида углерода (IV):

$$n(CO_2) = \frac{m(CO_2)}{M(CO_2)},$$

$$n(CO_2) = \frac{88\ г}{44\ г/моль} = 2\ моль.$$

Найдем количество углерода в сожженном веществе:

$$n(C) = (CO_2) = 2\ моль.$$

Найдем количество воды:

$$n(H_2O) = \frac{45\ г}{18\ г/моль} = 2{,}5\ моль.$$

Найдем количество водорода в сожженном веществе:

$$n(H) = 2(H_2O),$$

$$n(H) = 2{,}5 \cdot 2 = 5\ моль.$$

Найдем простейшую формулу углеводорода:

$n(C) : n(H) = 2 : 5$, следовательно, простейшая формула — C_2H_5.

Найдем истинную формулу углеводорода:

$$M_r(C_2H_5) = 29,$$

$M_r(C_xH_y) = 58$, следовательно, истинная формула — C_4H_{10}.

Задача 2. При сжигании 5,6 л (н. у.) газообразного органического вещества было получено 16,8 л (н. у.) углекислого газа и 13,5 г воды. Масса 1 л исходного вещества при н. у. равна 1,875 г. Найдите его молекулярную формулу.

Запишем условие задачи.

Дано :
$V(C_xH_y)$ — 5,6 л
$V(CO_2)$ — 16,8 л
$m(H_2O)$ — 13,5 г
$\rho(C_xH_y)$ — 1,875 г/л
$m(H_2O)$ — 13,5 г

Найти :
молекулярную формулу C_xH_y

Решение .

Найдем молекулярную массу вещества из пропорции:

1 л газа — 1,875 г,

22,4 л — m г.

Отсюда:

$m = 42$ г, $M = 42$ г/моль.

Найдем количество вещества углекислого газа и углерода:

$$n(CO_2) = \frac{16,8\ л}{22,4\ л/моль} = 0,75\ моль,\quad n(C) = 0,75\ моль.$$

Найдем количество воды и водорода:

$$n(H_2O) = \frac{13,5\ г}{18\ г/моль} = 0,75\ моль,$$

$$n(H) = 0,75 \cdot 2 = 1,5\ моль.$$

Найдем сумму масс углерода и водорода:

$$m(C) + m(H) = 0,75 \cdot 12 + 1,5 \cdot 1 = 10,5\ г.$$

Найдем массу сожженного вещества:

$$m(в\text{-}ва) = \frac{V}{V_M} \cdot M,$$

$$m(в\text{-}ва) = \frac{5,6\ л}{22,4\ л/моль} \cdot 42\ г/моль = 10,5\ г.$$

Следовательно, вещество содержит только углерод и водород.

Найдем простейшую формулу углеводорода C_xH_y:

$$n(C) : n(H) = 0,75 : 1,5 = 1 : 2,$$

следовательно, простейшая формула — CH_2.

Найдем истинную формулу углеводорода:

$$M_r(CH_2) = 14,\quad M_r(в\text{-}ва) : M_r(CH_2) = 42 : 14 = 3,$$

следовательно, истинная формула углеводорода — C_3H_6.

1. При сгорании 3 г углеводорода было получено 8,8 г углекислого газа, 5,4 г воды. Относительная плотность углеводорода по воздуху равна 1,03. Определите молекулярную формулу углеводорода.

Ответ: C_2H_6.

2. При сгорании 8,6 г углеводорода образовалось 13,44 л (н. у.) оксида углерода (IV) и 12,6 г воды. Плотность углеводорода по водороду равна 43. Определите молекулярную формулу углеводорода.

Ответ: C_6H_{14}.

3. При сжигании 29 г углеводорода образовалось 44,8 л (н. у.) углекислого газа и 112 л воды, относительная плотность вещества по гелию равна 14,5. Найдите молекулярную формулу углеводорода.

Ответ: C_4H_{10}.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

Составление моделей молекул органических веществ

1. Изготовление моделей молекул углеводородов и галогенопроизводных. Изготовьте из пластилина, деревянных или металлических стержней модели молекул указанных ниже веществ.

Модель молекулы метана. Из пластилина одного цвета изготовьте четыре шарика одинакового размера. Из пластилина другого цвета изготовьте шарик, диаметр которого в 1,5 раза больше предыдущих. На поверхности шарика бо́льшего размера ("атом углерода") примерно на одинаковых расстояниях наметьте четыре точки. В отмеченных местах вставьте стержни, к концам которых присоедините четыре маленьких шарика ("атомы водорода").

Модель молекулы пропана. Из пластилина одного цвета изготовьте восемь шариков одинакового размера. Из пластилина другого цвета изготовьте три шарика, диаметр которых в 1,5 раза больше предыдущих. Три бо́льшего размера шарика ("атомы углерода") при помощи стержней соедините между собой под углом примерно 109°.

В соответствии со структурной формулой пропана к шарикам бо́льшего размера при помощи стержней присоедините восемь шариков меньшего размера, которые условно изображают атомы водорода.

Модель молекулы 1-хлорпропана. С одного стержня модели молекулы пропана снимите один маленький шарик ("атом водорода"). Вместо него прикрепите шарик другого цвета ("атом хлора"), диаметр которого примерно в два раза больше диаметра маленького шарика.

Вопросы и задания

1. Почему для изготовления моделей молекул требуются шарики различных размеров?
2. Какими правилами вы руководствовались при изготовлении моделей молекул углеводородов и галогенопроизводных?
3. Почему при изготовлении модели молекулы пропана "атомы углерода" нужно соединять примерно под углом 109°?

Глава
XIII

НЕПРЕДЕЛЬНЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ

§ 70. АЛКЕНЫ, ИХ ГОМОЛОГИ И ИЗОМЕРЫ

Сегодня на уроке:

- поймем сущность понятия "ненасыщенность";
- ознакомимся с алкенами, их номенклатурой, изомерией и гомологами.

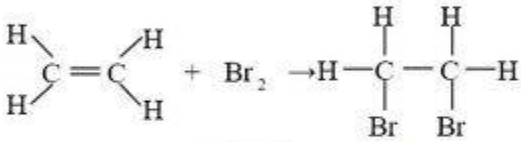
Ключевые понятия

- гомологический ряд
- кратная связь
- реакция присоединения
- цис-, транс-изомерия

Углеводороды, которые содержат в своей молекуле меньшее число водородных атомов, чем соответствующие им алканы (с тем же числом углеродных атомов), называют ***непредельными***, или ***ненасыщенными***.

В ненасыщенных углеводородах углерод также имеет валентность равную четырем, но строение этих соединений отличается тем, что в их молекулах имеются пары углеродных атомов, соединенные так называемыми кратными — двойными или тройными — связями. Эти двойные и тройные связи называются *кратными*. В структурных формулах двойные связи изображаются двумя (=) или тремя (≡) черточками. Благодаря наличию кратных связей атомы углерода в непредельных углеводородах не до предела насыщены водородом; отсюда и возникло название — *непредельные*, или *ненасыщенные*.

В противоположность насыщенным ненасыщенные углеводороды проявляют высокую активность в химических реакциях и особенно склонны к реакциям присоединения:



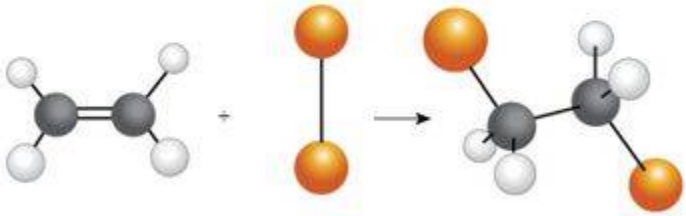


Рис. 87. Схема реакции между этиленом и бромной водой

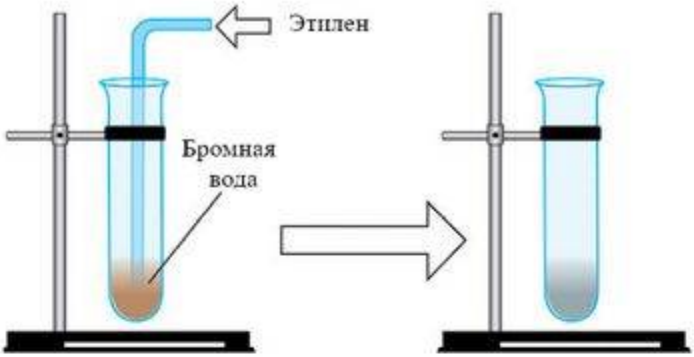


Рис. 88. Реакция обесцвечивания бромной воды этиленом

Например, если пропустить этилен или ацетилен через бромную воду, бромная вода в ходе реакции обесцвечивается (рис. 87, 88). Это доказывает, что углеводороды с двойной или тройной связью — ненасыщенные, т. е. они легко присоединяют галогены.

Одним из видов непредельных углеводородов являются алкены. **Углеводороды с общей формулой C_nH_{2n}, в молекуле которых между атомами углерода имеется одна двойная связь, называют *алкенами*.**

Изомерия и номенклатура алкенов. Гомологический ряд алкенов начинается с этена (этилена). Последующие члены ряда образуются прибавлением к этену гомологической разности CH_2. Названия алкенов происходят от названий соответствующих алканов замещением суффикса *-ан* на *-ен* или на *-илен* (табл. 51).

Таблица 51

Номенклатура алкенов

Молекулярная формула алкена	Название алкена	
	Международная номенклатура	Тривиальное (традиционное)
C_2H_4	Этен	Этилен
C_3H_6	Пропен	Пропилен
C_4H_8	Бутен	Бутилен
C_5H_{10}	Пентен	Амилен

Одновалентный радикал этилена $CH_2{=}CH{-}$ называется *винилом*.

Изомерия алкенов существенно богаче, чем алканов. Для алкенов возможны четыре типа изомерии: изомерия положения двойной связи, изомерия углеродной цепи, межклассовая изомерия, а также геометрическая изомерия.

Изомеры начинаются с четвертого члена ряда алкенов C_4H_8.

Рис. 89. Геометрическая изомерия молекулы бутен-2 цис-, транс-изомерия

Ниже приведены изомеры бутена C_4H_8:

Изомерия положения двойной связи → $CH_2 = CH—CH_2—CH_3$ бутен -1

→ $CH_3—CH = CH—CH_3$ бутен -2

Изомерия углеродной цепи → $CH_2 = C(CH_3)—CH_3$ 2-метилпропен

Межклассовая изомерия → $H_2C—CH_2$ / $H_2C—CH_2$ циклобутан; H_2C—CH—CH_3 / CH_2 метилциклопропан

Геометрическая изомерия → H_3C, CH_3, $C=C$, H, H цис-бутен; H_3C, H, $C=C$, H, CH_3 транс-бутен

В этиленовых углеводородах по месту двойной связи свободное вращение невозможно, поэтому водородные атомы и группы атомов у кратной связи в пространстве могут быть расположены различно. При этом возникает *цис -транс -изомерия* .

Цис -транс -изомерию рассмотрим на примере бутена-2: оба атома водорода у атомов углерода с двойной связью окажутся по одну сторону от двойной связи — это *цис -изомер* , а у другого изомера атомы водорода будут по разные стороны от нее — *транс -изомер* (рис. 89).

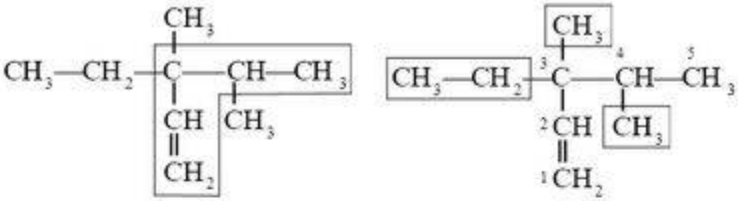
! Почему непредельные углеводороды не встречаются в природе?

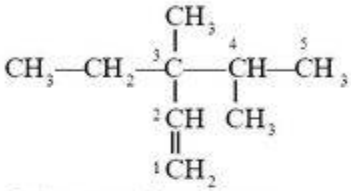
Алгоритм составления названий алкенов по международной номенклатуре

Найдите наиболее длинную (главную) цепь углеродных атомов, в которую входит двойная связь.

Пронумеруйте цепь, начиная с того конца, к которому ближе двойная связь.

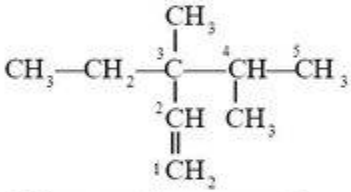
Назовите заместителей (алкильные радикалы) в алфавитном порядке и алкен, соответствующий главной цепи.





3,4-диметил-3-этилпентен...

Цифрой укажите положение двойной связи после названия главной цепи.



3,4-диметил-3-этилпентен-1

Особенности двойной связи:

— состоит из σ-связи и р-связи;

— самопроизвольный поворот атомов относительно двойной связи не происходит;

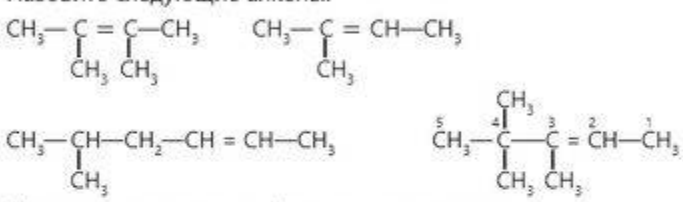
— энергия двойной связи больше, чем одинарной.

— двойная связь поляризуется легче, чем одинарная.

Углеводороды с общей формулой C_nH_{2n}, в молекуле которых между атомами углерода имеется одна двойная связь, называют **алкенами** .

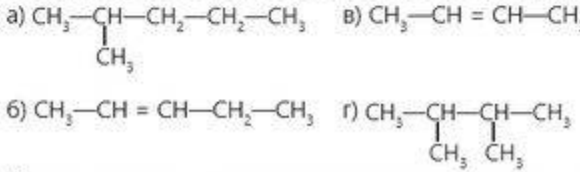
Изомерия алкенов существенно богаче, чем алканов. Для алкенов возможны четыре типа изомерии: изомерия положения двойной связи, изомерия углеродной цепи, межклассовая изомерия, а также геометрическая изомерия.

1. Какие углеводороды называются *непредельными*? Напишите общую формулу гомологического ряда алкенов.
2. Объясните термин *ненасыщенность* и влияние ненасыщенности на свойства соединения.
3. Назовите следующие алкены:

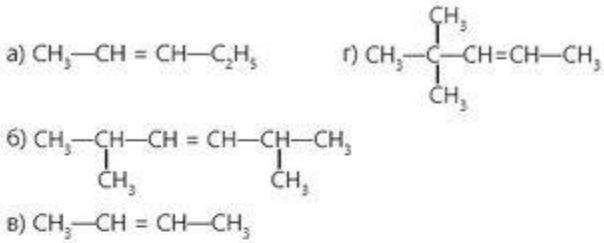


4. Напишите структурные формулы следующих алкенов:
   а) транс-5-метилгептен-2;
   б) 2,5-диметилгексен-1;
   в) 2,3-диметилбутен-2;
   г) 2,4,4,-триметилпентен-2;
   д) 2-метил-3,6-диэтилоктен-4;
   е) 3-этилгексен-3.

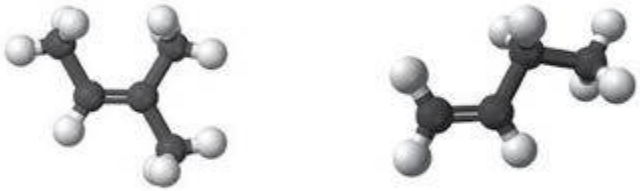
   Укажите, какие из этих веществ изомерны между собой.
5. Среди перечисленных веществ выберите: 1) изомеры; 2) гомологи:



   К каким классам углеводородов относятся указанные вещества?
6. Напишите структурные формулы углеводородов разных классов, отвечающих формуле C_7H_{14}, и дайте им названия.
7. Объясните, почему для алкенов возможна геометрическая изомерия.
8. Напишите формулы геометрических изомеров следующих соединений:



9. На рис. изображены молекулярные модели двух углеводородов ряда этилена.



   1. Напишите молекулярные формулы.
   2. Напишите развернутые структурные формулы.
   3. Напишите сокращенные структурные формулы.
   4. Нарисуйте структурные формулы в виде черточек этих двух углеводородов.

§71. ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛКЕНОВ

Физическ ие свойства. У этиленовых углеводородов физические свойства закономерно изменяются в гомологическом ряду, как и у предельных углеводородов (табл. 52).

Этилен — бесцветный газ с очень слабым сладковатым запахом, немного легче воздуха, малорастворим в воде.

Алкены малорастворимы в воде, хорошо растворяются в органических растворителях. Все они хорошо горят.

Химические свойства углеводородов ряда этилена. Алкены обладают бо́льшей реакционной способностью, чем алканы. Это обусловлено наличием в их молекулах двойной связи.

Сегодня на уроке:

- ознакомимся со свойствами алкенов и их применением.

Ключевые понятия

- алкены
- физические свойства
- химические свойства
- применение

Таблица 52

Физические свойства алкенов

Название	Формула	Агрегатное состояние при н. у.	$t_{пл.}$	$t_{кип.}$
Этилен (этен)	C_2H_4	Газы	–169,2	–103,8
Пропилен (пропен)	C_3H_6		–185,2	–47,7
Бутилен (бутен-1)	C_4H_8		–185,3	–6,3
Амилен (пентен-1)	C_5H_{10}	Жидкости	–165,2	+30,1
Гексилен (гексен-1)	C_6H_{12}		–139,8	+63,5
Гептилен (гептен-1)	C_7H_{14}		–119	+93,6
Октилен (октен-1)	C_8H_{16}		–101,7	+121,3
Нонилен (нонен-1)	C_9H_{18}		–81,4	+146,9
Децилен (децен-1)	$C_{10}H_{20}$		–66,3	+170,6

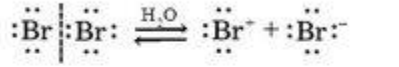
Характерными реакциями алкенов являются реакции присоединения по двойной связи.

Реакции электрофильного присоединения к алкенам. Рассмотрим типичную реакцию электрофильного присоединения брома к этилену.

$$\underset{\text{этилен}}{CH_2 = CH_2} + Br_2 \xrightarrow{H_2O} \underset{\text{1,2-дибромэтан}}{Br—CH_2—CH_2—Br}$$

Эта реакция легко идет уже при комнатной температуре. Вода — полярный растворитель. Она взаимодействует с неполярными молекулами Br_2, поляризует их (т. е. так смещает электронную плотность

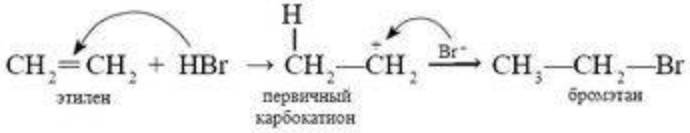
связи Br — Br, что возникают частичные заряды) и в итоге заставляет молекулы брома распадаться не по радикальному, а по ионному типу.

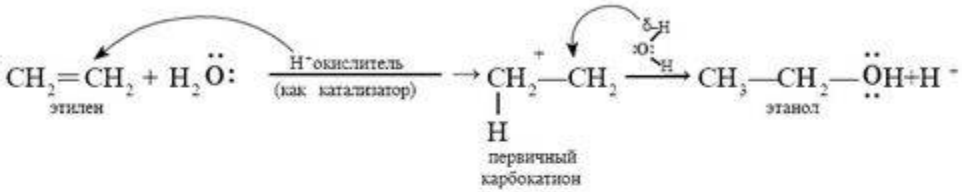


Активным электрофилом здесь является частица Br^+. Дальнейший механизм реакции упрощенно можно представить как атаку Br^+ по π-связи с образованием карбокатиона $Br—CH_2—CH_2^+$. Карбокатион, в свою очередь, присоединяет ион Br^- с образованием конечного продукта 1,2-дибромэтана.

Бромная вода — раствор бурого или буровато-желтого цвета. При пропускании через бромную воду газообразного этилена или добавлении любого другого алкена окраска брома исчезает. Обесцвечивание бромной воды служит качественной реакцией на наличие в углеводородах кратных связей.

Молекула Br_2 симметрична и после ее присоединения к алкену мы уже не можем знать, какой из атомов брома "работал" электрофилом. Другое дело — молекулы HX (HCl, HBr, HI) и H_2O (в присутствии сильной кислоты): здесь электрофилом всегда является ион водорода H^+. Он забирает пару электронов π-связи для образования связи C—H. При этом заряд "+" возникает на соседнем атоме углерода.





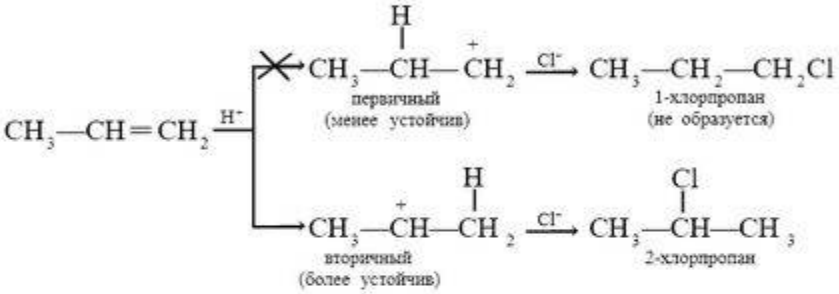
В молекуле этилена оба атома углерода при двойной связи равноценны и атакуются электрофилом с образованием одного и того же карбокатиона. В случае более сложных алкенов электрофил (например, ион водорода H^+) всегда присоединяется с образованием наиболее устойчивого карбокатиона.

Например, в реакции пропена с HCl образуется 2-хлорпропан и *не образуется* 1-хлорпропан. Это происходит потому, что промежуточным продуктом реакции образования 1-хлорпропана был бы *менее устойчивый первичный* карбокатион. Его образование энергетически менее выгодно.

Владимир Васильевич Марковников
(1837—1904)

Русский химик-органик. Сформулировал (1869 г.) правила о направлении реакций замещения, отщепления, присоединения по двойной связи и изомеризации в зависимости от химического строения. Исследовал состав нефти, заложил основы нефтехимии как самостоятельной науки.

Открыл новый класс органических веществ— циклопарафины.



Российский химик В. В. Марковников в 1869 г. предложил эмпирическое (основанное на опыте) правило, с помощью которого можно определять направление таких реакций.

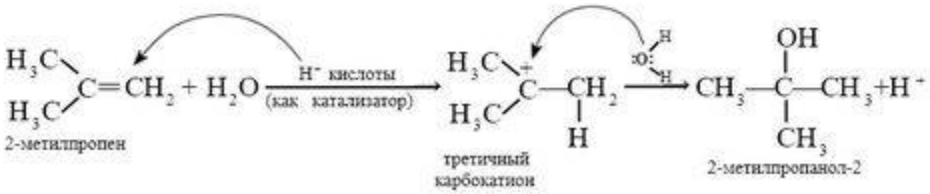
Правило Марковникова

При присоединении кислоты по двойной углерод-углеродной связи алкена водород кислоты присоединяется к атому углерода, который несет наибольшее число атомов водорода.

Сегодня правило Марковникова можно сформулировать в современных терминах:

Электрофильное присоединение по двойной углерод-углеродной связи протекает через стадию образования наиболее устойчивого карбокатиона.

Реакции электрофильного присоединения воды к алкенам, в которых образуются спирты, называют *реакциями гидратации алкенов*. Они тоже подчиняются правилу Марковникова:



Знаешь ли ты?

Алкены действуют на организм по типу наркотических средств. Высшие алкены вызывают судороги, раздражают слизистую оболочку дыхательных путей, нарушают кровообращение, вызывают неврозы, сонливость.

Наиболее легко образуются более устойчивые третичные карбокатионы, за ними следуют вторичные и т. д. Поэтому реакционная способность алкенов в реакциях электрофильного присоединения уменьшается в ряду:

$$(H_3C)_2C{=}CH_2 > CH_3{-}CH{=}CH{-}CH_3 > CH_2{=}CH_2$$

1. Присоединение водорода (гидрирование) протекает в присутствии катализатора (никель, палладий, платина):

$$CH_2{=}CH_2 + H{-}H \xrightarrow{Ni} \underset{\text{этан}}{H_2C(H){-}CH_2(H)}$$

2. Присоединение воды (гидратация) протекает в присутствии катализатора (серная или фосфорная кислота):

$$H_2C{=}CH_2 + H{-}OH \xrightarrow{H_2SO_4} \underset{\text{этанол}}{H_2C(H){-}CH_2(OH)}$$

Во всех перечисленных реакциях происходит разрыв π-связи в молекуле этилена, в то время как остальные связи сохраняются.

$$C_2H_4 + 3O_2 \rightarrow 2CO_2\uparrow + 2H_2O$$

В отличие от метана этилен горит светящимся пламенем из-за бо́льшего содержания в нем углерода.

Знаешь ли ты?

Почему растения растут вверх?

Растения выделяют газы, один из которых этилен C_2H_4. Этот газ легче воздуха, а значит, устремляется вверх. Видимо, рецепторы это улавливают и указывают, куда расти. Доказательством сказанного могут быть опыты, когда растения покрывали салициловой кислотой, которая препятствует выделению этилена, и стебли росли в других направлениях.

Применение. Алкены являются важнейшими исходными веществами в современном органическом синтезе. Используются в производстве полиэтилена, этилового спирта, этиленгликоля, дихлорэтана. Этен

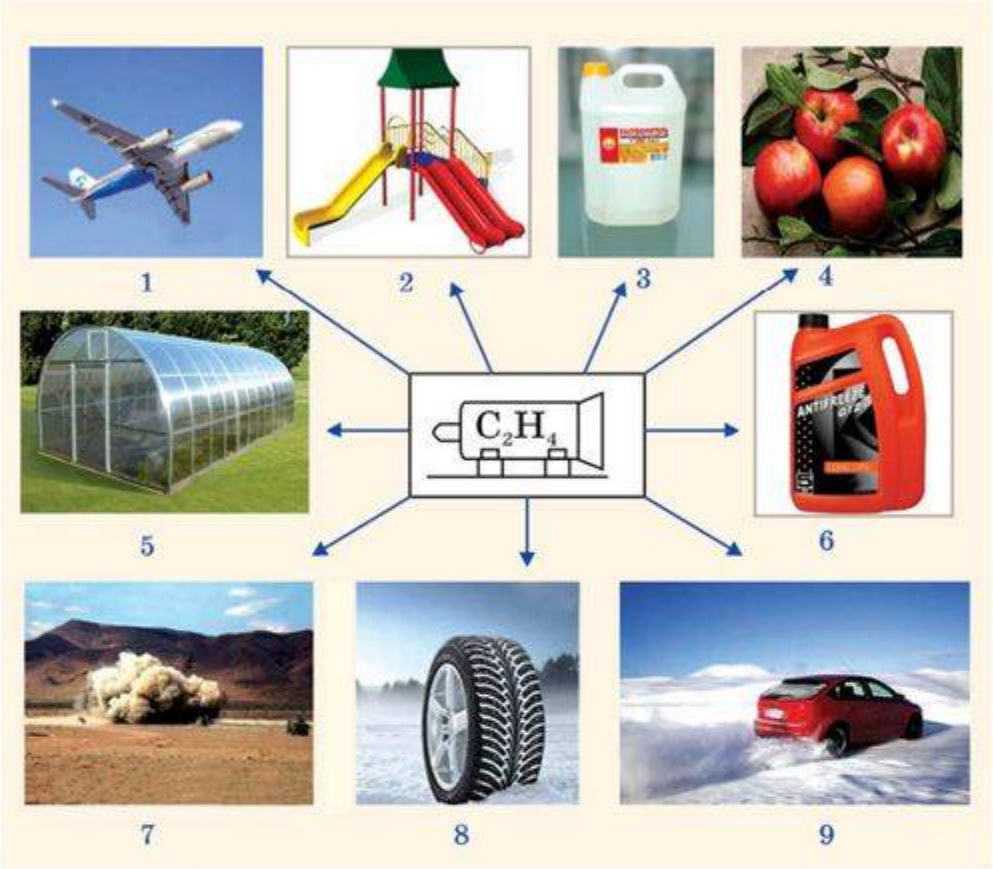


Рис. 92. Применение этилена при получении:
1 — получение высококачественного топлива; 2, 5 — полиэтилена;
3 — растворителей; 4 — для скорого созревания овощей и плодов;
6, 9 — антифриза; 7 — взрывчатых веществ;
8 — бутадиенового каучука

(эилен) ускоряет созревание овощей и фруктов. Области применения этилена представлены на рисунке 90.

Пропен перерабатывается в полипропилен, ацетон, изопропиловый спирт. Из бутенов производится синтетический полибутадиеновый каучук.

Алкены обладают бо́льшей реакционной способностью, чем алканы. Это обусловлено наличием в их молекулах двойной связи.

Характерными реакциями алкенов являются реакции присоединения по двойной связи. Алкены являются важнейшими исходными веществами в современном органическом синтезе.

1. Объясните утверждение "Химическая активность алкенов определяется наличием π-связей". Какие реакции характерны для алкенов?
2. Почему непредельные углеводороды не используются в качестве топлива?
3. Предложите способ очистки этана от примесей этилена. Напишите уравнения соответствующих реакций.
4. Какие реакции являются качественными реакциями на алкены? Напишите уравнения этих реакций.
5. Проведите генетическую связь алканов с алкенами. Приведите примеры. Покажите важное практическое значение превращений этих углеводородов.
6. Гидрирование бутена-1 — обратимая реакция. Как изменится равновесие этой реакции: а) с повышением температуры; б) с повышением концентрации водорода?
7. Напишите уравнение реакции гидробромирования бутена-1. Сформулируйте правило Марковникова.
8. Почему в отличие от этана этилен в воздухе горит светящимся пламенем? Объясните.
9. Осуществите превращения:

   $C_2H_4 \rightarrow C_2H_6 \rightarrow C_2H_5Cl \rightarrow C_2H_4 \rightarrow CO_2$
10*. Составьте уравнение реакции изомеризации 3-метил-бутена-1, если известно, что при его нагревании в присутствии катализатора ($AlCl_3$) происходит перемещение двойной связи.
11. Составьте уравнения реакций присоединения водорода к пропилену и отщепления водорода от пропана. Выразите этот процесс одним химическим уравнением. Укажите тип этой реакции и условия ее осуществления.
12. Найдите черты сходства и различия между этаном и этиленом по следующим признакам: а) состав вещества; б) строение молекулы; в) химические свойства. Составьте диаграмму Венна.

• 1. Вспомните закон объемных (кратных) отношений. Рассчитайте без калькулятора, какой объем кислорода потребуется для полного сгорания 5 л бутена:
   а) 1 л; б) 10 л; в) 20 л; г) 30 л.
• 2. Смесь из 10 л (н. у.) этилена и 15 л (н. у.) водорода пропустили над нагретым никелевым катализатором. Ответьте на вопросы:
   а) Сколько литров водорода осталось в избытке?
   б) Какой объем этана образовался?
   в) Каков будет объем газовой смеси после реакции?

   Ответ: 1) 5 л; 2) 10 л; 3) 15 л.
• 3. При взаимодействии 0,28 г алкена с бромом получилось 1,88 г продукта реакции. Определите, какой алкен участвовал в реакции?
• 4. Из этилена получили этиловый спирт массой 55,5 г, что составляет 80% от теоретически возможного. Определите массу исходного этилена.

   Ответ: 42,2 г.
• 5. При сгорании 4,2 г вещества образуется 13,2 г оксида углерода (IV) и 5,4 г воды. Плотность паров этого вещества по воздуху 2,9. Определите состав молекулы углеводорода.

   Ответ: C_6H_{12}

§ 72. РЕАКЦИЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ

Сегодня на уроке:

- поймем сущность реакции полимеризации и ее механизм;
- узнаем об областях применения полимеров.

Ключевые понятия

- мономер
- полимер
- макромолекула
- структурные звенья
- степень полимеризации

Полимеризацией называется процесс соединения множества молекул вещества с небольшой молекулярной массой в макромолекулу полимера.

В реакции полимеризации легко вступают непредельные соединения. Например, при повышенной температуре, давлении и в присутствии катализаторов молекулы этилена соединяются путем расщепления внутримолекулярных π-связей и образования новых межмолекулярных σ-связей (многоточие показывает, что в реакцию вступает большое число молекул):

$$CH_2{=}CH_2 + CH_2{=}CH_2 + CH_2 = CH_2 + \ldots \xrightarrow{p,\,t^\circ} —CH_2—CH_2— + —CH_2—CH_2— + —CH_2—CH_2— + —CH_2—CH_2—CH_2—CH_2— CH_2—CH_2—\ldots$$

Сокращенн о уравнение этой реакции записывается так:

$$\underset{\text{этилен}}{nCH_2 = CH_2} \xrightarrow{p,\,t^\circ} \underset{\text{полиэтилен}}{(—CH_2—CH_2—)_n}$$

Исходное вещество, вступающее в реакцию полимеризации, называется *мономером* , а продукт этой реакции— *полимером* . Полимер состоит из большого числа повторяющихся группировок, имеющих одинаковое строение. Эти группировки называют *структурными звеньями* . Например, структурным звеном полиэтилена является группировка атомов:

$$—CH_2—CH_2—$$

Число структурных звеньев, повторяющихся в макромолекуле, называется *степенью полимеризации* (обозначается буквой n).

Чтобы найти степень полимеризации n, нужно среднюю молярную массу полимера разделить на молярную массу структурного звена:

$$n = \frac{M(\text{полим.})}{M(\text{струк. зв.})}.$$

Например, если средняя молярная масса полиэтилена равна 70 000 г/моль, а молярная масса структурного звена $—CH_2—CH_2—$ равна 28 г/моль, то $n = \frac{70000}{28} = 2500$.

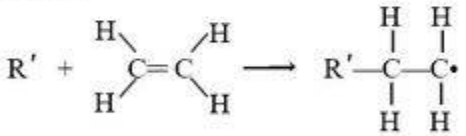
В зависимости от степени полимеризации из одних и тех же мономеров можно получать вещества с различными свойствами. Например:

а) полиэтилен с короткими цепями (n = 20) является жидкостью, обладающей смазочными свойствами;

б) полиэтилен с длиной цепи в 1500—2000 звеньев представляет собой твердый, но гибкий пластичный материал, из которого можно получать пленки, изготовлять бутылки;

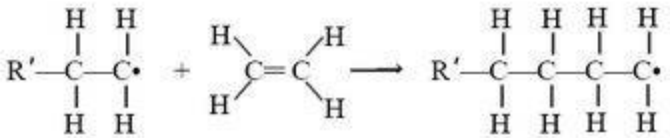
в) полиэтилен с длиной цепи 5000—6000 звеньев является твердым веществом, из которого можно готовить литые изделия, жесткие трубы, прочные нити.

Механизм полимеризации. В реакционную систему добавляют специальные вещества — инициаторы, которые легко образуют радикалы. Радикалы R′ взаимодействуют с частицами мономера, образуя новые, более крупные радикалы:

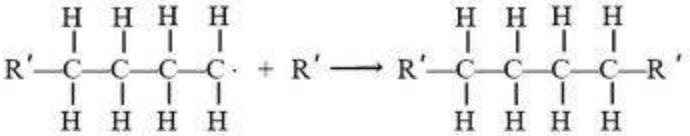


Эта стадия реакции называется *инициированием* .

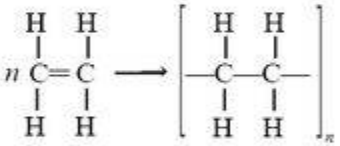
В результате последовательного взаимодействия радикала с молекулами мономера происходит *рост цепи* :



В какой-то момент в системе может произойти взаимодействие двух радикалов, и рост цепи прекратится, и происходит *обрыв цепи* :



Кратко реакцию полимеризации этена можно написать следующим образом:



При соединении двух молекул мономера в одну получаются так называемые *димеры* , при соединении трех молекул — *тримеры* и т. д.

Если кусочек полиэтилена нагреть, то уже при температуре 110°С он становится мягким и легко изменяет форму. При охлаждении полиэтилен затвердевает и сохраняет приданную ему форму (рис. 91 , *а*).

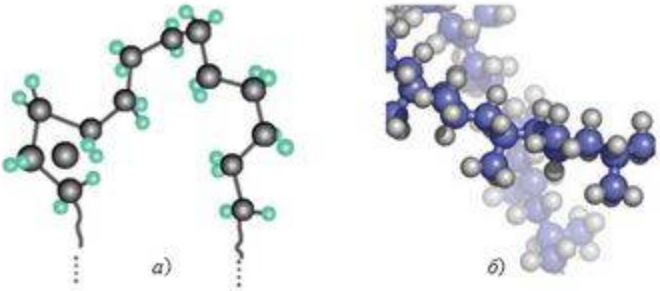


Рис. 91. Фрагменты макромолекул:
а) полиэтилена; *б*) полипропилена

Свойство тел изменять форму в нагретом состоянии и сохранять ее при охлаждении называется ***термопластичностью.***

Полимеризацией пропилена $CH_3—CH=CH_2$ получают другой важный полимер — полипропилен (рис. 91, *б*).

Поливинилхлорид — продукт полимеризации хлористого винила $CH_2=CHCl$. Макромолекулы этих полимеров линейные.

Сведения о физических свойствах и применении полиэтилена, полипропилена и поливинилхлорида приведены ниже :

Свойства полимеров и их применение

Полимер	Физические свойства	Применение
$(—CH_2—CH_2—)_n$ полиэтилен	Белое твердое вещество $\rho = 0{,}92$ г/см^3, эластичен, в тонком слое бесцветный, прозрачный, на ощупь несколько жирный, напоминает парафин, в воде не растворяется	
$\left(—\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{\vert}{CH}}—CH_2—\right)_n$ полипропилен	Термопластичный полимер, молочно-белого цвета, один из самых легких полимеров. Отличается от полиэтилена более высокой температурой плавления и большей механической прочностью. Однако по сравнению с полиэтиленом он менее морозостоек	
$\left(—\underset{\displaystyle Cl}{\underset{\vert}{CH}}—CH_2—\right)_n$ поливинилхлорид	Прозрачный, устойчивый, термопластичный полимер. Не горит на воздухе, легко окрашивается, устойчив к действию химических реагентов	

Знаешь ли ты?

На машину требуется от 25 до 135 кг пластмассы, что может заменить 300 кг металлов; 1 т пластмассы заменяет 4 т нержавеющей стали (что в 3 раза дешевле).

Полимеризацией называется процесс соединения множества молекул вещества с небольшой молекулярной массой в макромолекулу полимера.

Исходное вещество, вступающее в реакцию полимеризации, называется **мономером**, а продукт этой реакции— **полимером**. Полимер состоит из большого числа повторяющихся группировок, имеющих одинаковое строение. Эти группировки называют **структурными звеньями**.

Число структурных звеньев, повторяющихся в макромолекуле, называется **степенью полимеризации** и обозначается буквой n.

1. Что называют *полимером*? На конкретных примерах объясните, чем различаются мономер и структурное звено полимера.
2. Газ тетрафторэтилен $CF_2 = CF_2$ образует полимер, отличающийся высокой химической стойкостью: на него даже при нагревании не действуют ни кислоты, ни окислители. Составьте схему реакции полимеризации тетрафторэтилена подобно тому, как это делается для этилена.
3. Напишите реакцию полимеризации хлорвинила $CH_2 = CHCl$.
   а) укажите структурное звено; б) определите степень полимеризации поливинилхлорида, если средняя молекулярная масса полимера равна 500 000 г/моль.
4. Установите соответствие между уравнением реакции и ее названием.

1. $nCH_2 = CH_2 \rightarrow (-CH_2-CH_2-)_n$		А. Гидрирование этилена
2. $C_2H_4 + H_2O \rightarrow C_2H_5OH$		Б. Гидратация этилена
3. $C_2H_4 + H_2 \rightarrow C_2H_6$		В. Галогенирование этилена
4. $C_2H_4 + HCl \rightarrow C_2H_5Cl$		Г. Гидрогалогенирование этилена
5. $C_2H_4 + 3O_2 \rightarrow 2CO_2 + 2H_2O$		Д. Полимеризация этилена
6. $C_2H_4 + Br_2 \rightarrow C_2H_4Br_2$		Е. Окисление этилена

5. Приведите примеры использования полимеров. Обратите внимание, какие свойства полимеров используются.
6. Перечислите преимущества и недостатки использования полимерных материалов. Укажите возможные пути устранения некоторых из них. Ответ обоснуйте.
7. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить следующие превращения:
   а) $CH_4 \rightarrow CH_3Br \rightarrow C_2H_6 \rightarrow C_2H_4 \rightarrow C_2H_4Br_2$
   б) $CH_4 \rightarrow CH_3Br \rightarrow C_2H_6 \rightarrow C_2H_4 \rightarrow C_2H_5OH \rightarrow C_2H_4 \rightarrow (—CH_2—CH_2—)_n$

§ 73. ПРОИЗВОДСТВО ПОЛИЭТИЛЕНА

Сегодня на уроке:

- ознакомимся с промышленным способом производства полиэтилена.

Ключевые понятия

- полиэтилен высокого давления (ПЭВД)
- полиэтилен низкого давления (ПЭНД)

Полиэтилен $(CH_2—CH_2)_n$ представляет собой кристаллический полимер белого цвета.

Свойства полиэтилена зависят от способа полимеризации.

Сырьем в производстве полиэтилена служит этилен высокой чистоты 99,8 %. Как правило, полиэтилен выпускают в виде гранул диаметром 2—5 миллиметров (рис. 92).

На сегодняшний день известны несколько способов производства полиэтилена. Мы будем рассматривать два способа:

- производство полиэтилена высокого давления (ПЭВД);
- производство полиэтилена низкого давления (ПЭНД).

В промышленности **полиэтилен высокого давления** (ПЭВД) получают полимеризацией этилена в трубчатом реакторе или в автоклаве. Подробнее рассмотрим производство полиэтилена в трубчатом реакторе (рис. 93). Трубчатый реактор представляет собой длинный резервуар-трубу, в котором под высоким давлением происходит процесс полимеризации. Эта технология является более распространенной .

Процесс при высоком давлении протекает по свободно-радикальному механизму под действием O_2, пероксидов (бензоила, лаурила) или их смесей. При производстве полиэтилена в трубчатом реакторе этилен, смешанный с инициатором, сжатый компре ссором, поступает в зону реактора, где полимеризуется при 500°С и давлении 130—250 МПа (рис. 94). Среднее время пребывания этилена в реакторе — 70—100 с, степень превращения — 18—20% в зависимости от количества и типа инициатора. Из полиэтилена удаляют непрореагировавший этилен, расплав охлаждают и гранулируют. Гранулы, охлажденные водой до 60—70°С, подсушивают теплым воздухом и упаковывают в мешки.

Рис. 92. Полиэтилен

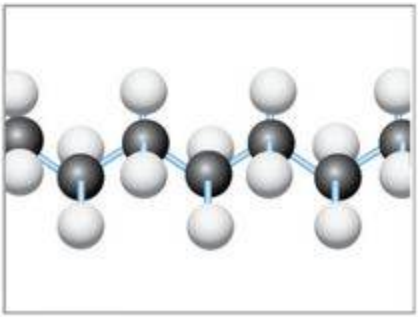


Рис. 93. Макромолекула полиэтилена

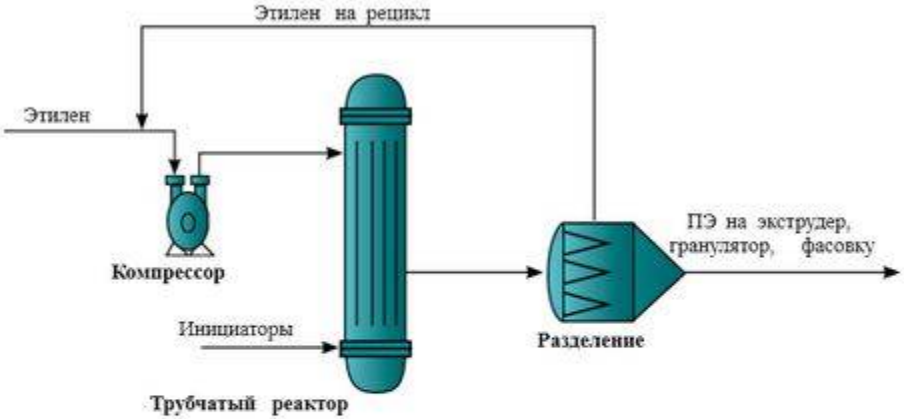
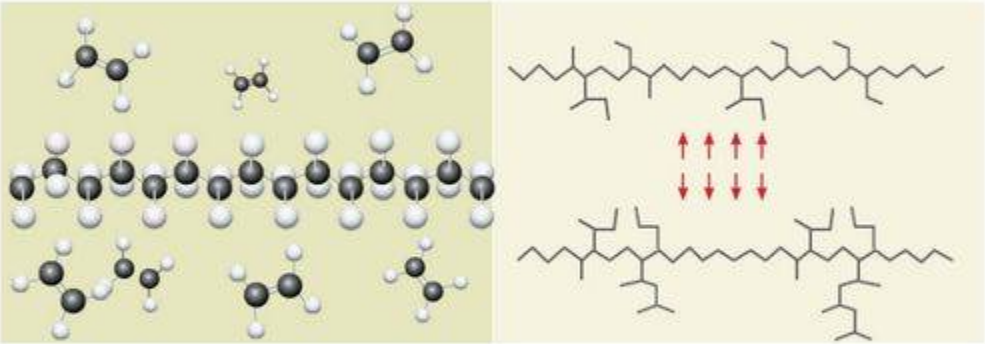


Рис. 94. Производство полиэтилена

Товарный полиэтилен выпускают окрашенным и неокрашенным, в гранулах.

При температуре 500°С радикалы могут атаковать полимерную цепь при различном расположении (рис. 95, *а*). Полученные полимерные цепи являются сильно разветвленными. Разветвленные молекулы не могут тесно соединяться друг с другом. Таким образом, полученный полиэтилен имеет низкую плотность (ρ = 0,91–0,94 г/см^3). ПЭВД является мягким, прозрачным материалом, который плавится при *t* около 115°С (рис. 95, *б*).

Полиэтилен низкого давления (ПЭНД) (рис. 96). Полимеризация этилена может происходить при более низкой температуре (60°С) и давлении 3,4—5,3 МПа с использованием катализатора Циглера — Натта, смеси трихлорида титана и триэтилалюминия.



а) *б*)

Рис. 95. Образование разветвленной полимерной цепи:
а) атакование радикалов полиэтиленовой цепи; *б*) разветвленные цепи

Полученные полиэтиленовые цепи почти неразветвленные и могут тесно складываться, поэтому полиэтилен, полученный таким способом, имеет более высокую плотность, около 0,96 г/см^3 (рис. 97). Поскольку молекулы расположены как можно ближе друг к другу, межмолекулярные силы в ПЭНД прочнее, чем в ПЭВД. По этой причине ПЭНД является жестким материалом и имеет более высокую температуру плавления, равную около 135°С (рис. 98).

Рис. 96. Полиэтилен высокого давления

Химические свойства. Полиэтилен обладает низкой газопроницаемостью. Химическая стойкость зависит от молекулярной массы и плотности. Полиэтилен не реагирует со щелочами любой концентрации. Устойчив к кислотам, растворителям, бензину, воде, овощным сокам, маслу. Он разрушается 50%-ной HNO_3, а также жидкими и газообразными Cl_2 и F_2.

Полиэтилен не растворим в органических растворителях и ограниченно набухает в них.

Влияние полимеров на экологию. В природе обычная бумага разлагается за 3–4 месяца, а изделия из полимеров могут сохраняться годами и даже десятилетиями.

Одним из направлений в химии полимеров является создание полимеров, способных разлагаться в природе, или биоразлагаемых полимеров. Ведутся работы по разработке методов вторичного использования традиционных полимеров. Но для этого нужно научиться их правильно собирать. Несмотря на все усилия, в природе еще много изделий из полимеров, которые ее загрязняют.

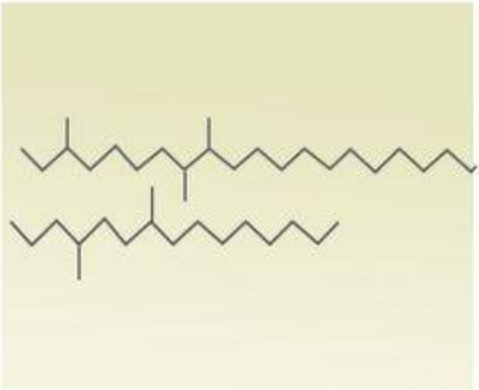


Рис. 97. Неразветвленные полимерные цепи полиэтилена

Рис. 98. Полиэтилен низкого давления

Свойства полиэтилена зависят от способа полимеризации. Известно несколько способов производства полиэтилена: производство полиэтилена высокого давления (ПЭВД) и производство полиэтилена низкого давления (ПЭНД).

Сырьем в производстве полиэтилена служит этилен высокой чистоты 99,8 %.

Одним из направлений в химии полимеров является создание полимеров, способных разлагаться в природе, или биоразлагаемых полимеров. Ведутся работы по разработке методов вторичного использования традиционных полимеров.

1. Какими способами производят полиэтилен?
2. Из каких основных стадий состоит производство полиэтилена?
3. Как влияет высокая температура на образование полимерной цепи?
4. Чем отличаются полимеры высокого и низкого давления?
5. Назовите свойства и области применения полиэтилена.
6. Почему полимеры вытесняют традиционные материалы?
7. Как влияют отходы полиэтилена и его производные на окружающую среду? Какие меры можно предпринять, чтобы полимеры не загрязняли природу?

TOP 10 Материалы будущего
1. Углеродные нанотрубки
2. Графен
3. Аэрогель
4. Сплавы с эффектом памяти
5. Сверхпроводники
6. Стекло с лазерными добавками
7. ДНК-листы
8. Метаматериалы
9. Гидрофобные материалы
10. Саморазлагающиеся материалы

§ 74. АЛКАДИЕНЫ (ДИЕНОВЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ)

Сегодня на уроке:

- ознакомимся с алкадиенами.

Алкадиены, или диеновые углеводороды — непредельные углеводороды, содержащие в углеродной цепи молекулы две двойные связи.

Поскольку в молекуле диенов появляется еще одна двойная связь, они должны содер-

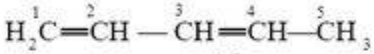
жать на два атома водорода меньше, чем алкены. Общая формула диеновых углеводородов: C_nH_{2n-2}, где $n \geq 3$.

В зависимости от взаимного расположения двойных связей диены делятся на три группы (табл. 53).

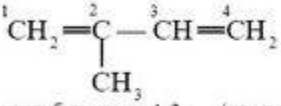
По систематической номенклатуре диеновые углеводороды называют так же, как и этиленовые, но только вместо суффикса *-ен* употребляют *–диен*. Положение каждой двойной связи обозначают цифрой.

Ключевые понятия

- алкадиены
- строение
- номенклатура
- изомерия
- получение
- свойства



пентадиен-1,3



2-метил-бутадиен-1,3 (изопрен)

Таблица 53

Классификация диеновых углеводородов

Тип диена	Взаимное расположение двойных связей	Примеры
Кумулированные	Две двойные связи находятся рядом	$CH_2=C=CH_2$ Пропадиен
Сопряженные	Двойные связи разделены одной одинарной связью	$CH_2=CH–CH=CH_2$ Бутадиен-1,3
Изолированные	Двойные связи разделены двумя или более одинарными связями	$CH_2=CH–CH_2–CH=CH_2$ Пентадиен-1,4

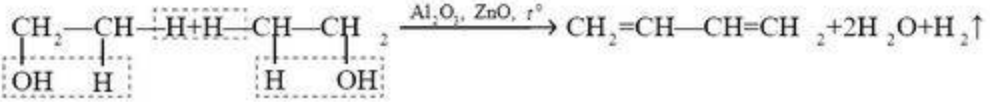
При построении названия симметричных диенов их рассматривают как состоящие из двух радикалов — дивинил:

$$CH_2=CH–CH=CH_2$$

дивинил или бутадиен-1,3

Наибольшее практическое значение имеют сопряженные диены, например, бутадиен-1,3 и 2-метил-бутадиен-1,3 (изопрен) — важнейшие мономеры для производства синтетического каучука, вырабатываются в промышленности в большом количестве.

Получение. В 1932 г. академик С. В. Лебедев разработал каталитический способ получения бутадиена из этилового спирта. При пропускании паров спирта над катализатором происходит одновременное отщепление молекул воды (дегидратации) и водорода (дегидрирования) от молекул спирта:



Сергей Васильевич Лебедев
(1874—1934)

Русский химик, академик. Основные исследования посвящены полимеризации, изомеризации и гидрированию непредельных соединений. Получил синтетический каучук полимеризацией бутадиена-1,3 под действием натрия.

$$\underset{\text{этиловый спирт}}{2C_2H_5OH} \xrightarrow{Al_2O_3,\ ZnO,\ t^\circ} \underset{\text{бутадиен 1,3}}{CH_2 = CH—CH = CH_2} + 2H_2O + H_2\uparrow$$

В настоящее время простейшие диены с сопряженными связями в промышленности получают дегидрированием алканов, содержащихся в нефтяных газах. Для этой цели бутан пропускают над нагретым катализатором:

$$CH_3—CH_2—CH_2—CH_3 \xrightarrow{560–620^\circ C,\ Al_2O_3,\ Cr_2O_3} CH_2=CH—CH=CH_2 + 2H_2\uparrow$$

Изопрен получают дегидрированием 2-метилбутана, который содержится в нефтяных газах и нефти. В качестве катализатора используется оксид хрома (III) Cr_2O_3:

$$CH_3—\underset{\underset{CH_3}{|}}{CH}—CH_2—CH_3 \xrightarrow{t^\circ,\ Cr_2O_3} CH_2=\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}—CH=CH_2 + 2H_2\uparrow$$

Физические свойства. Бутадиен при обычных условиях — газ, при — 4,5°С превращается в жидкость, имеет характерный неприятный запах. Изопрен — летучая жидкость, кипящая при температуре 34,1 °С, с неприятным запахом.

Химические свойства. Химические свойства алкадиенов определяются наличием в их молекулах двойных связей. Подобно алкенам, алкадиены присоединяют водород, галогены, галогеноводороды, воду, причем 1 моль алкадиена присоединяет по 2 моль этих реагентов. Например, при пропускании бутадиена через бромную воду ее бурая окраска быстро исчезает. Образуются продукты присоединения по обеим двойным связям:

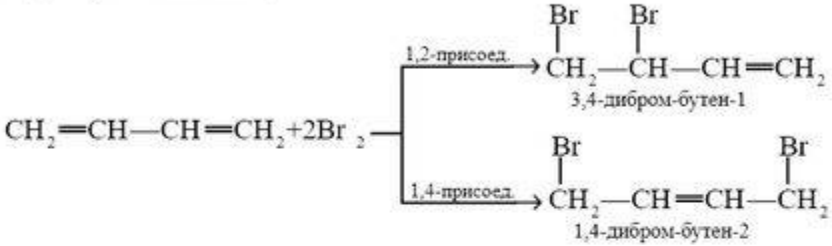
$$CH_2=CH—CH=CH_2 + 2Br_2 \rightarrow \underset{\text{1,2,3,4-тетрабромбутан}}{CH_2(Br)—CH(Br)—CH(Br)—CH_2(Br)}$$

Если на 1 моль бутадиена взять 1 моль брома, то образуется смесь двух продуктов: 1,4-дибромбутена -2 и 1,2-дибромбутена-2.

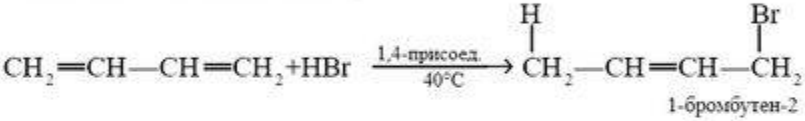
У алкадиенов реакции присоединения могут протекать по двум направлениям:

1) по месту разрыва одной двойной связи (1,2-присоединение);

2) с присоединением к концам молекулы и разрывом двух двойных связей (1,4-присоединение):



Галогеноводороды присоединяются к сопряженным алкадиенам преимущественно в положения-1,4:



Преимущественное протекание реакции по тому или иному пути зависит от конкретных условий.

Применение диенов. Производные бутадиена-1,3 и 2-метил-бутадиена-1,3 (изопрен) — важнейшие мономеры для производства синтетического каучука, вырабатываются в промышленности в большом количестве.

Алкадиены, или диеновые углеводороды — непредельные углеводороды, содержащие в углеродной цепи молекулы две двойные связи. В зависимости от взаимного расположения двойных связей диены делятся на *кумулированные, сопряженные и изолированные* . Наибольшее практическое значение имеют сопряженные диены, например, бутадиен-1,3 и 2-метил-бутадиен-1,3 (изопрен) — важнейшие мономеры для производства синтетического каучука.

1. Какие углеводороды называют *диеновыми*?
2. Перечислите качественные реакции на двойные связи.
3. В чем сходство химических свойств диеновых и этиленовых углеводородов?
4. Как химическим путем отличить бутадиен от бутана?
5. Напишите и назовите изомеры неразветвленных алкадиенов состава C_5H_8. Отметьте изомеры с изолированными и сопряженными связями.
6. Назовите вещества, укажите тип диенового углеводорода:

   а) $CH_3—CH_2—CH_2—CH=CH—CH=CH_2$

б) $CH_3-\underset{\underset{CH_2}{\|}}{C}-CH=\underset{\underset{CH_2-CH_3}{|}}{C}-CH_3$

в) $CH_2=\underset{\underset{\underset{CH_3}{|}}{CH_2}}{\underset{|}{C}}-CH_2-\underset{\underset{CH_2}{|}}{\underset{|}{C}}-CH_3$

г) $CH_3-\underset{\underset{\underset{CH_3}{|}}{CH_2}}{\underset{|}{C}}=C=\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}-\overset{\overset{CH_3}{|}}{CH}-CH_3$

7. Какие продукты получаются в результате взаимодействия: а) 2-метил-пентадиена-1,3 с хлороводородом; б) 2-метилгексадиена-1,3 с бромом. Назовите их.
8. Напишите уравнение реакции дегидрирования 2-метилбутана. Какие промежуточные продукты при этом образуются?
9. Присоединение бромоводорода к 1,3-бутадиену протекает по правилу Марковникова. Напишите уравнение реакции присоединения HBr к 1,3-бутадиену.

1. Какой объем водорода потребуется для полного гидрирования 5,6 л бутадиена (н. у.)?

Ответ: 11,2л.

2. Определите степень полимеризации изопренового каучука со средней относительной молекулярной массой, равной 500 000.

Ответ: 9259.

3. Какой объем (н. у.) хлора потребуется для получения тетрахлорида $C_nH_{2n-2}Cl_4$ из 10,8 г диенового углеводорода C_nH_{2n-2}, если известно, что на бромирование одной двойной связи в 10,8 г этого диена пошло 32 г брома?

Ответ: 8,96 л.

§ 75. КАУЧУК. РЕЗИНА

Сегодня на уроке:

- ознакомимся с каучуком и резиной.

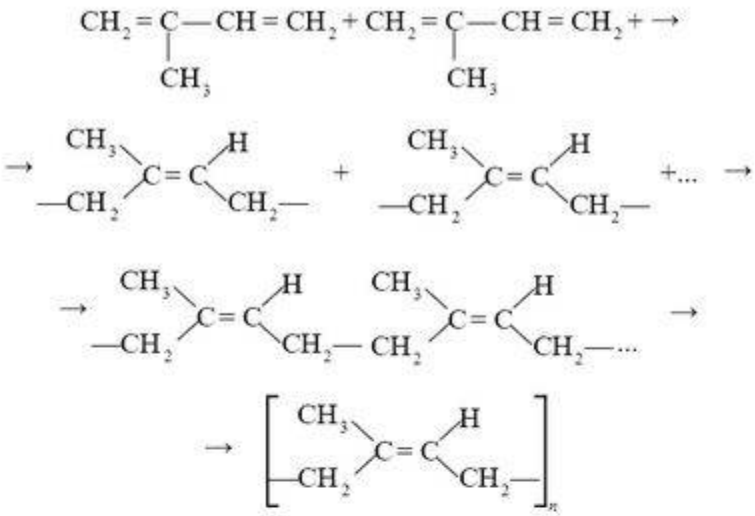
Ключевые понятия

- каучук
- природный
- синтетический
- строение
- свойства
- резина

Каучук делится на *природный* и *синтетический* .

Природный каучук. Природный, или натуральный, каучук получают из природного сырья — сока дерева гевеи, распространенного в Южной Америке (главным образом в Бразилии) (рис. 99). Слово "каучук" происходит от двух слов языка индейцев: *"кау"* – дерево, *"учу"* — плакать, течь, что означает "слезы дерева". На воздухе белый млечный сок быстро твердеет и темнеет, превращаясь в резиноподобную смолу.

Строение . Термическим разложением природного каучука было полученно маслянистое вещество — изопрен (2-метилбутадиен-1,3). Исследования показали, что элементарные звенья полимера находятся в цис-конфигурации. Процесс полимеризации изопрена можно изобразить так:



Каучук, в котором все элементарные звенья находятся или в цис-, или в транс-конфигурации, называется ***стереорегулярным***.

Такая особенность строения молекул придает натуральному каучуку стойкость к износу и эластичность. Макромолекулы полиизопрена не растянуты, как у полиэтилена, а свернуты в клубок, но если приложить усилие, макромолекулы растягиваются. Этим и объясняется *эластичность* каучука.

Знаешь ли ты?

Природа вырабатывает только один вид каучука, да и то в ограниченном количестве: самая урожайная гевея дает в один день около 20 г своих "слез". Значит, чтобы получить 100 тыс. т натурального каучука, нужно обработать ни много ни мало 13 млн. деревьев.

При нагревании каучук теряет эластичность, так как макромолекулы изменяют ориентацию и не могут вернуться в первоначальное состояние (рис. 100).

Рис. 99. Природный каучук

Рис. 100. Макромолекулы изопренового каучука:
а) до нагревания; *б*) после нагревания

Средняя молекулярная масса каучука колеблется от 150 000 до 500 000.

Физические свойства. Природный каучук — аморфное, способное кристаллизоваться твердое тело.

Каучук в воде практически не растворяется. В этиловом спирте его растворимость небольшая, а в сероуглероде, хлороформе и бензине он сначала набухает, а затем растворяется. Теплопроводность каучука в 100 раз меньше, чем теплопроводность стали. Каучук — хороший диэлектрик, он имеет низкую водопроницаемость и газопроницаемость.

Вулканизация каучука. Вулканизация — процесс преобразования сырого каучука в резину путем нагревания (130—140°С) его с серой. Сырой каучук имеет низкую прочность и очень липкий, особенно при нагревании, а на морозе становится твердым и хрупким, поэтому для изготовления различных изделий в сыром виде каучук непригоден. Свои ценные свойства он приобретает при вулканизации, т. е. при нагревании с серой (2–3% от массы каучука). Вулканизированный каучук называют *резиной* .

Сущность вулканизации заключается в образовании новых поперечных связей между полимерными цепями. Происходит сшивание полимерных цепей за счет сульфидных мостиков (рис. 101), что приводит к увеличению прочности, устойчивости к истиранию, к действию органических растворителей и других веществ:

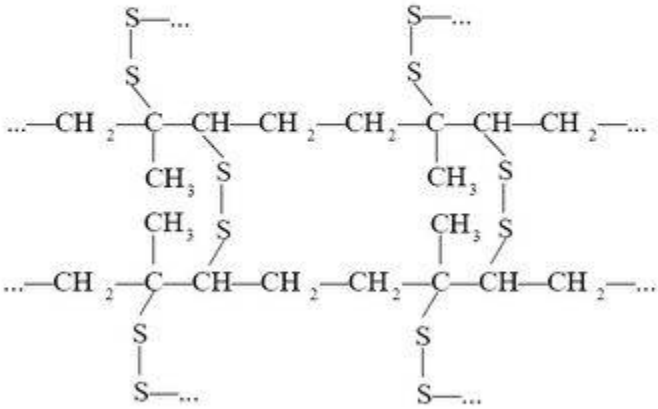


Рис. 101. Схема строения вулканизированного каучука

В качестве наполнителей используют различные красители. Присоединение к каучуку 30—50% серы приводит к образованию жесткого неэластичного материала — *эбонита*. Он представляет собой твердое вещество и является хорошим электрическим изолятором.

Синтетический каучук. После того как был определен состав и доказано строение природного каучука, ученые пришли к выводу, что он может быть получен полимеризацией 2-метилбутадиена-1,3 или другого аналогичного алкадиена. Впервые этот вопрос решил русский химик С. В. Лебедев (1932 г.). Он разработал промышленный метод синтеза и полимеризации бутадиена-1,3:

$$\underset{\text{бутадиен -1,3}}{n\,CH_2{=}CH{-}CH{=}CH_2} \longrightarrow \underset{\text{бутадиеновый каучук}}{(-CH_2{-}CH{=}CH{-}CH_2-)_n}$$

Однако этот полимер был нестереорегулярным, и поэтому резина, полученная на его основе, была менее эластичной, чем резина природного каучука. Стереорегулярные полимеры, в том числе и изопреновые, были получены лишь в 50-х годах XX в.

Полимеризацией 2-хлорбутадиена-1,3 получают хлоропреновый каучук:

$$\underset{\text{хлоропрен}}{n\,CH_2{=}\underset{\underset{Cl}{|}}{C}{-}CH{=}CH_2} \rightarrow \underset{\text{полихлоропрен}}{(-CH_2{-}\underset{\underset{Cl}{|}}{C}{=}CH{-}CH_2-)_n}$$

Хлоропреновый каучук практически негорюч, обладает хорошей химической стойкостью.

В настоящее время в мире ежегодно производится более 10 млн. тонн каучука разных типов, причем 2/3 составляет синтетический каучук.

Знаешь ли ты?

Долгое время спрос на каучук был мизерный. Даже в 1830 г. во всем мире использовали всего 25 т каучука. А сегодня? Чтобы современный автомобиль вышел из ворот завода, нужно 250 кг каучука; на каждый самолет в среднем уходит 600 кг, а на оборудование крупного военного корабля — почти 70 т каучука.

Каучук — делится на природный и синтетический. Природный, или натуральный, каучук получают из природного сырья — сока дерева гевеи. Свои ценные свойства каучук приобретает при вулканизации, т.е. при нагревании с серой (2–3% от массы каучука). Вулканизированный каучук называют *резиной*. В настоящее время в мире ежегодно производится более 10 млн. тонн каучука разных типов, причем 2/3 составляет синтетический каучук.

1. Что означает слово "каучук"? Объясните причину эластичности природного каучука.
2. Каково строение натурального каучука?
3. К какому классу углеводородов относится изопрен?
4. В соке тропических деревьев встречается полимер, элементарным звеном которого является транс-изопреновый фрагмент. Он называется *гуттаперча*. Напишите уравнение реакции полимеризации изопрена с образованием гуттаперчи.
5. Какой процесс называют *вулканизацией каучука*? Какие продукты при этом получают?
6. Напишите структурные формулы мономеров для следующих полимеров и назовите эти мономеры.

а) $\left(-CH_2-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}}=\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}}-CH_2-\right)_n$

б) $\left(-CH_2-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}}=CH-CH_2-\right)_n$

в) $\left(-CH-CH=\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}}-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-\right)_n$

1. Хлоропрен (2-хлор-бутадиен-1,3) легко полимеризуется, образуя хлоропреновый каучук. Напишите схему полимеризации хлоропрена. Определите массу полимера, полученного из 18 моль хлоропрена с выходом 85%.

Ответ: 1354 г.

2. Какую массу 2-метилбутана необходимо подвергнуть каталитическому дегидрированию для получения 1 т синтетического каучука, если массовая доля выхода на стадии дегидрирования составляет 60%, а в процессе полимеризации — 95%.

Ответ: ≈ 1,9 т.

Испытайте эластичность каучука и резины

Для этого следует измерить полоски каучука и резины, слегка их растянуть и повторно измерить. Сделайте вывод об эластичности этих веществ.

§ 76. АЛКИНЫ

Алкины — ациклические углеводороды, содержащие в молекуле помимо одинарных связей одну тройную связь между атомами углерода и соответствующие общей формуле C_nH_{2n-2}, где $n \geq 2$.

Сегодня на уроке:

- изучим ацетилен и его гомологи.

Ключевые понятия

- алкины
- ацетилен
- строение
- изомерия
- номенклатура
- получение

Строение. Ацетилен C_2H_2 — основной представитель алкиновых углеводородов. По названию первого представителя алкиновых углеводородов — ацетилена — эти углеводороды называют *ацетиленовыми*.

Структурная и электронная формулы ацетилена изображены ниже:

$$H—C \equiv C—H \qquad H\cdot\cdot C \vdots\vdots C\cdot\cdot H$$

Атомы углерода, между которыми образована тройная связь, находятся в состоянии *sp*-гибридизации (рис. 102). Это означает, что в гибридизации участвует одна *s*- и одна *p*-орбиталь, а две *p*-орбитали остаются негибридизованными.

Перекрывание гибридных орбиталей приводит к образованию σ-связи, а за счет негибридизованных *p*-орбиталей соседних атомов углерода образуются две π-связи. Таким образом, тройная связь состоит из одной σ- и двух π-связей. Все гибридные орбитали атомов, между которыми образована двойная связь, а также заместители при них (в случае этина — атомы водорода) лежат на одной прямой, а плоскости *связей перпендикулярны друг другу* (рис. 103).

Тройная углерод-углеродная связь длиной 0,120 нм короче двойной, энергия тройной связи больше, т. е. она является *более прочной*.

Пространственное расположение атомов в молекуле ацетилена можно показать с помощью моделей (рис. 104).

Изомерия и номенклатура. Алкины, как и другие углеводороды, имеют гомологический ряд. Гомологический ряд алкинов представлен в таблице 54.

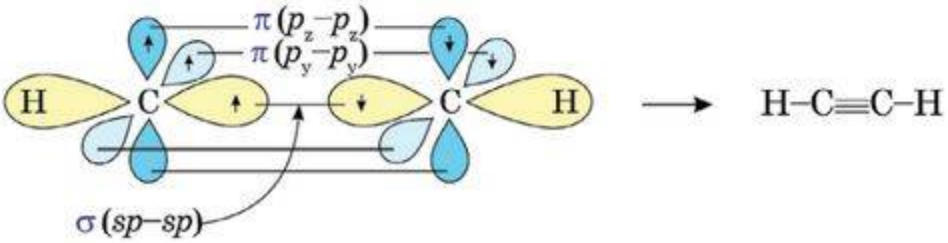


Рис. 102. Образование тройной связи

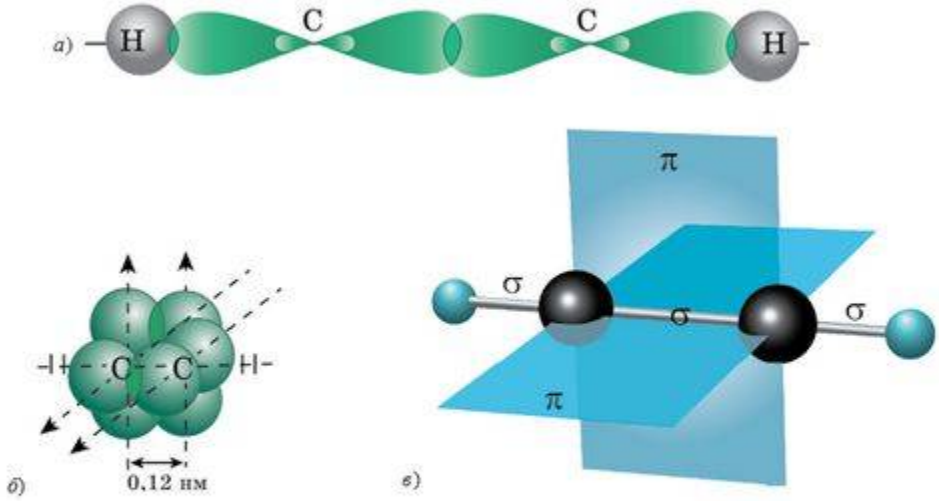


Рис. 103. *а*) гибридные орбитали атомов углерода и σ-связи с атомами водорода; *б*) π-связи атомов углерода; *в*) плоскости в молекуле ацетилена

В систематической номенклатуре ацетиленовые углеводороды называют, заменяя в названиях соответствующих алканов суффикс **–ан** на **–ин**: эт**ан**-эт**ин**, проп**ан**-проп**ин** и т.д.

Таблица 54

Гомологический ряд алкинов

Молекулярная формула алкина	Название алкина	
	Международная номенклатура	Тривиальное (традиционное)
C_2H_2	Этин	Ацетилен
C_3H_4	Пропин	Метилацетилен
C_4H_6	Бутин	
C_5H_8	Пентин	
C_6H_{10}	Гексин	

Нумерацию углеродной цепи начинают с той стороны, где ближе тройная связь и разветвления.

Рис. 104. Модели молекулы ацетилена

Существует два типа изомерии алкинов: изомерия положения тройной связи (углеродного скелета) и изомерия цепи. Изомеры алкинов рассмотрим на примере пентина C_5H_8:

$HC \equiv C—CH_2—CH_2—CH_3$ пентин-1

$HC \equiv C—CH(CH_3)—CH_3$ 3-метилбутин-1

$CH_3—C \equiv C—CH_2—CH_3$ пентин-2

$CH_2=CH—CH=CH—CH_3$ пентадиен-1,3

Алкины изомерны другому классу соединений – алкадиенам:

$CH_2=CH–CH=CH–CH_3$ пентадиен-1,3

В силу особенности строения тройной связи для алкинов невозможна пространственная цис-транс-изомерия.

Получение .

1. В промышленности ацетилен получают высокотемпературным разложением природного газа метана — при температуре 1500°С и быстро охлаждают, чтобы предотвратить разложение ацетилена (рис. 105):

$$2CH_4 \xrightarrow{1500°C} CH \equiv CH + 3H_2\uparrow$$

2. В технике ацетилен получают из карбида кальция, разлагая его водой:

$$CaC_2 + 2H_2O \rightarrow CH \equiv CH + Ca(OH)_2$$

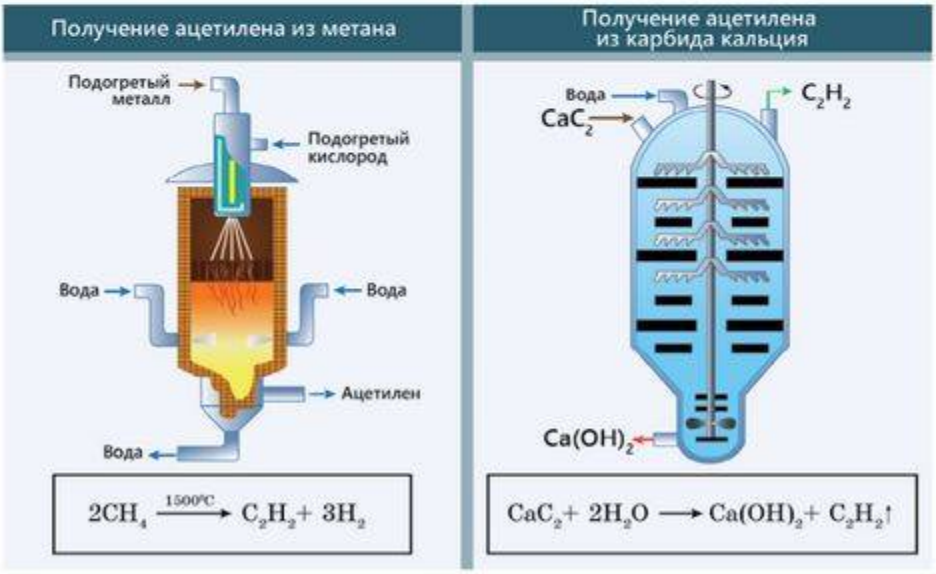


Рис. 105. Производство ацетилена

Карбид кальция получают в электропечах при прокаливании кокса с негашеной известью:

$$3C + CaO \xrightarrow{2500°C} CaC_2 + CO\uparrow$$

Теоретически 1 кг чистого карбида кальция должен давать 348 л ацетилена. Практически же получают 290–300 л (при нормальном давлении и 15°C) сырого ацетилена.

3. При нагревании этана до 1200°C он разлагается на ацетилен и водород:

$$C_2H_6 \rightarrow C_2H_2\uparrow + 2H_2\uparrow$$

4. В лаборатории ацетиленовые углеводороды можно получить из дигалогенпроизводных алканов:

$$CHBr_2—CH_2—CH_3 + 2KOH \text{ (спирт. р-р)} \rightarrow CH \equiv C—CH_3 + 2KBr + 2H_2O$$

Алкины — непредельные углеводороды, содержащие в молекуле помимо одинарных связей одну тройную связь между атомами углерода и соответствующие общей формуле C_nH_{2n-2}.

Алкинам характерна изомерия положения тройной связи, изомерия цепи и межклассовая изомерия с алкадиенами. Алкины в основном получают из алканов.

1. Какие углеводороды называют ацетиленовыми (алкинами). Приведите общую формулу данного гомологического ряда.
2. Распределите углеводороды по трем гомологическим рядам: C_2H_6, C_6H_{12}, C_3H_8, C_4H_6, C_4H_{10}, C_4H_8, C_5H_{10}, C_5H_{12}, C_5H_8, C_3H_6, C_6H_{14}, C_3H_4.
3. Напишите все возможные формулы изомеров углеводорода состава C_5H_8, относящихся к классу алкинов.
4. Назовите следующие алкины по систематической номенклатуре:

а) $HC \equiv C—CH(CH_3)—CH_2—CH_3$

б) $CH_3—C \equiv C—CH(C_2H_5)—CH_2$

в) $CH_3—C \equiv C—CH(CH_3)—C_2H_5$

г) $HC \equiv C—CH(CH_3)—CH_3$

д) $CH_3—C \equiv C—CH(CH_3)—CH_3$

е) $HC \equiv C—CH_2—CH(CH_3)—CH_3$

5. Для углеводорода $HC \equiv C—CH_2—CH_2—CH_2—CH_3$ составьте по две формулы: а) гомологов; б) изомеров. Назовите все вещества по систематической номенклатуре.
6. Напишите структурные формулы следующих углеводородов: а) 3-метилпентина-1; б) 4,4-диметилгексина-2; в) 3,3,4,4-тетраметилгексина-1; г) 5,5-диметилгептина-3; д) 3-3-диметилбутина-1; е) гептина-1; ж) 4-метилпентина-2; з) 4-этилгексина-2.

§ 77. СВОЙСТВА АЛКИНОВ

Сегодня на уроке:

- изучим свойства алкинов.

Ключевые понятия

- алкины
- ацетилен
- физические свойства
- химические свойства
- применение

Физические свойства ацетилена. Ацетилен, бесцветный газ, легче воздуха. Ацетилен способен растворяться во многих жидкостях. В производстве растворенного ацетилена используют ацетон, который при температуре 15°C растворяет до 23 объемов ацетилена. Но растворимость ацетилена в воде не очень высока. Ацетилен хранят в стальных баллонах.

Алкины по своим физическим свойствам напоминают соответствующие алкены. Низшие (до C_4) — газы без цвета и запаха, имеющие более высокие температуры кипения, чем аналоги в алкенах (табл. 55). Алкины плохо растворимы в воде, лучше — в органических растворителях.

Таблица 55

Физические свойства некоторых алкинов

Название	Формула	$t_{пл}$, °C	$t_{кип}$, °C
Этин	$HC\equiv CH$	–81,8	–75
Пропин	$HC\equiv C–CH_3$	–101,5	–23
Бутин-1	$HC\equiv C–CH_2–CH_3$	–125,9	8,1
Пентин-1	$HC\equiv C–CH_2–CH_2–CH_3$	–90,0	39,3
Гексин-1	$HC\equiv C–CH_2–CH_2–CH_2–CH_3$	–132,4	71,4

Химические свойства ацетилена. Ацетилен и его гомологи химически активные вещества. *Причина этой активности связана с тройной связью*, поэтому для алкинов, как и для алкенов, характерны реакции присоединения.

Реакции присоединения. В этих реакциях алкины присоединяют не одну, а две молекулы реагента (водорода, галогена, галогеноводорода). *При реакции присоединения тройная связь вначале переходит в двойную, а затем в простую* (σ-*связь*). Кроме реакций присоединения ацетиленовые углеводороды вступают в реакции полимеризации, замещения и окисления.

1. *Гидрирование.* Реакция протекает в присутствии катализатора (Ni, Pt, Pd). При гидрировании ацетилена сначала образуется этилен (разрывается первая π-связь), а затем этан (разрывается вторая π-связь):

$$\underset{\text{ацетилен}}{CH\equiv CH} + H_2 \xrightarrow{t,\ \text{кат.}} \underset{\text{этилен}}{CH_2=CH_2}$$

$$\underset{\text{этилен}}{CH_2=CH_2} + H_2 \rightarrow \underset{\text{этан}}{CH_3 — CH_3}$$

Ахметжан Шарифканович Шарифканов
(1908—2001)

Казахстанский химик. Доктор химических наук, член-корреспондент НАН РК. Синтезировал гетероциклические новые органические соединения и исследовал зависимость их биологической активности от строения. Внес большой вклад в подготовку молодых химиков-органиков.

$$\underset{\text{ацетилен}}{CH{\equiv}CH} + 2H_2 \xrightarrow{t,\ \text{кат.}} \underset{\text{этан}}{CH_3{-}CH_3}$$

2. *Галогенирование* . Аналогично происходит присоединение галогенов. Например, при бромировании ацетилена вначале образуется дибромэтен, а затем тетрабромэтан:

$$CH{\equiv}CH + Br_2 \rightarrow \underset{\text{1,2-дибромэтен}}{CHBr = CHBr} \rightarrow \underset{\text{1,1,2,2-тетрабромэтан}}{CHBr_2{-}CHBr_2}$$

Реакция с бромом (бромной водой) для алкинов (как и для алкенов) — **качественная реакция** .

3. *Гидрогалогенирование.* Ацетилен реагирует с галогеноводородами, реакция также протекает ступенчато:

$$CH{\equiv}CH + H{-}Cl \rightarrow \underset{\substack{\text{хлорэтен}\\ \text{(винилхлорид)}}}{CH_2 = CHCl} \xrightarrow{HCl} \underset{\text{1,1-дихлорэтан}}{CH_3{-}CHCl_2}$$

Вторая молекула хлороводорода присоединяется в соответствии с правилом Марковникова.

4. *Гидратация* . В присутствии катализатора (сульфата ртути) ацетилен реагирует с водой. В результате образуется уксусный альдегид, а из пропина образуется ацетон (кетон):

$$CH{\equiv}CH + H_2O \xrightarrow{H^+,\ Hg^{2+}} CH_3{-}C{\overset{O}{\underset{H}{\diagup\diagdown}}}$$

$$CH_3{-}C{\equiv}CH + H_2O \xrightarrow{H^+,\ Hg^{2+}} CH_3{-}\underset{\underset{O}{\|}}{C}{-}CH_3$$

Эта реакция носит имя ученого **М. Г. Кучерова.**

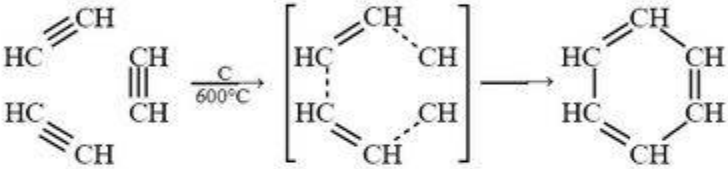
Казахстанский ученый профессор А. Ш. Шарифканов предложил во избежание образования паров ртути проводить эту реакцию в присутствии солей трехвалентного железа. В результате реакции образуется двухвалентный катион ртути:

$$Hg^0 + Fe^{3+} \rightarrow Hg^{2+} + Fe^{2+}$$

Михаил Григорьевич Кучеров
(1850–1911)

Русский химик-органик. Основные работы посвящены изучению непредельных углеводородов. В 1881 г. Кучеров открыл метод гидратации соединений ацетиленового ряда в присутствии ртутных солей (Реакция Кучерова).

Реакции полимеризации . Ацетилен, в зависимости от условий реакции, способен образовывать различные продукты полимеризации — линейные и циклические. Наиболее важная реакция — *тримеризация* ацетилена, в которой получается бензол:



бензол

Знаешь ли ты?

Наличие ацетилена в атмосфере некоторых планет доказано. Так, на спутнике Титане, что вращается вокруг Сатурна, обнаружены громадные запасы ацетилена и водорода. При помощи автоматизированного аппарата "Кассини" был выполнен расчет количества соединений ацетилена и водорода на поверхности Титана. Низкие температуры на поверхности спутника (–150...–180°C) приводят к тому, что по его поверхности текут метановые реки, которые собираются в ацетиленовых водоемах.

На Земле ацетилен в естественном виде существовать практически не может, поэтому хранится в специальных баллонах, часто смешиваемый с ацетоном (это уменьшает риск взрыва содержимого баллона).

Реакция окисления. Ацетилен легко окисляется. Реакцию окисления можно наблюдать, если ацетилен пропустить через водный раствор перманганата калия — $KMnO_4$:

$$CH{\equiv}CH + 4/O/ \rightarrow \underset{\text{щавелевая кислота}}{COOH{-}COOH}$$

Эта реакция, как мы знаем, является **качественной** на кратные связи. При полном сгорании ацетилена в воздухе образуются углекислый газ и вода, при этом развивается высокая температура около 3000°C (рис. 106):

$$2CH{\equiv}CH + 5O_2 \rightarrow 4CO_2\uparrow + 2\,H_2O + Q.$$

Ердан Нигметович Азербаев
(1912—1975)

Казахстанский химик-органик. Первый казах — доктор химических наук. С именем Азербаева связано становление и развитие различных направлений органической химии в Казахстане — углехимии, нефтехимии, химии ацетилена и тонкого органического синтеза. Проводил исследования в области синтеза новых производных ацетилена и их изомерных превращений. Изучал каталитическое окисление некоторых углеводородов мангышлакской нефти. Его работы в области углехимии послужили основой для строительства руднотермических комплексов в Темиртау и других районах страны. Азербаев также проводил исследования по изысканию новых высокоэффективных пестицидов, лекарственных препаратов и других биологически активных соединений.

При неполном сгорании ацетилена образуется углерод (сажа):

$$CH{\equiv}CH + O_2 \rightarrow C + CO\uparrow + H_2O + Q.$$

Реакции замещения. Алкины, у которых в молекуле есть концевая тройная связь (тройная связь у концевого атома углерода), могут вступать в реакции замещения с соединениями металла (проявляют кислотные свойства). В результате образуются металлопроизводные ацетилена – *ацетилениды*. При действии на ацетилен аммиачным раствором оксида серебра образуется ацетиленид серебра (осадок серого цвета):

$$CH{\equiv}CH + Ag_2O \rightarrow AgC{\equiv}CAg\downarrow + H_2O$$

Эта реакция служит **качественной реакцией** на концевую тройную связь. Изучением алкинов занимался выдающийся казахстанский химик Е. Н. Азербаев. Его работы внесли огромный вклад в изучение ацетиленовых углеводородов.

а)

б)

Рис. 106. *а*) горение ацетилена; *б*) ацетиленовая горелка

Рис. 107. Применение ацетилена

1 — для сварки и резки металла; для получения: 2 — поливинилхлорида; 3 — клея ПВА; 4,7 — синтетического волокна; 5,8 — каучука; 6 — растворителей

Знаешь ли ты?

Ацетиленовые горелки давали в 15 раз больше света, чем обычные газовые фонари, которыми освещали улицы. Постепенно они были вытеснены электрическим освещением, но еще долго использовались в небольших фонарях на велосипедах, мотоциклах, в конных экипажах.

Применение . Ацетилен используют для сварки и резки тугоплавких металлов.

Кроме того, ацетилен широко используется в органическом синтезе разнообразных веществ — уксусного альдегида и уксусной кислоты, синтетических каучуков (изопренового и хлоропренового), поливинилхлорида и других полимеров (рис. 107).

Знаешь ли ты?

Вода тушит любое пламя, но почему же у ацетилена оно видно под водой, а у других веществ — нет?

Для того чтобы ответить на вопрос, почему ацетилен горит под водой, проводился специальный эксперимент на большом водоеме. Бралось два баллона: первый — с кислородом, второй — с ацетиленом, а также ацетиленовая горелка, к которой подключались эти два баллона. Все это брал аквалангист и опускался под воду.

В ходе опыта было выяснено, что при сгорании ацетилена образуется крайне высокая температура (3000 °С), то по этой причине вода очень быстро испаряется и получается очень большой пузырь. Именно в этом пузыре и видно пламя ацетиленовой горелки, которое не тушит вода.

Ацетилен и его гомологи, химически активные вещества. *Причина этой активности связана с тройной связью*. Поэтому для алкинов характерны реакции присоединения. Кроме реакций присоединения, ацетиленовые углеводороды вступают в реакции полимеризации, замещения и окисления. Ацетилен широко используют для сварки и резки тугоплавких металлов. Кроме того, ацетилен широко используется в органическом синтезе.

1. Какие алкины можно получить при дегидрировании:
а) пропилена; б) бутана; в) бутена-2?

2. Осуществите следующую цепочку превращений. Назовите соединения А, Б и В.

а) $C_3H_4 \xrightarrow{H_2\ (1\ моль),\ Pt} A \xrightarrow{Br_2} Б \xrightarrow{KOH\ (спирт)} B$

б) $C_3H_4 \xrightarrow{H_2\ (2\ моль),\ Pt} A \xrightarrow{Cl_2,\ УФ\text{-}лучи} Б \xrightarrow{KOH\ (спирт)} B$

в) $CaC_2 \xrightarrow{H_2O} A$, $A \xrightarrow{C_{акт},\ 400°C} Б$, $A \xrightarrow[CuCl_2,\ нагревание]{} B$

1. Какая масса тетрахлорэтана образуется при взаимодействии ацетилена объемом 8 л и хлора объемом 14 л (н. у.)?

Ответ: 105 г.

2. Какой объем природного газа, объемная доля метана в котором 97%, потребуется для получения ацетилена объемом 3800 м³, если степень превращения метана в ацетилен составляет 50%?

Ответ: 15 670 м³.

3*. При сжигании 4,96 г смеси пропана, пропена и пропина образовалось 8,06 г углекислого газа (н. у.). Сколько граммов воды получилось при этом?

Ответ: 5,76 г.

4. Вычислите объем ацетилена (н. у.), который был получен из 500 г карбида кальция, содержащего 10% примесей, если выход полученного ацетилена составил 75% от теоретически возможного.

Ответ: 118,1 л.

§ 78. ИСТОЧНИКИ УГЛЕВОДОРОДОВ

Ископаемое топливо производится из соединений, известных как углеводороды (состоящих только из углерода и водорода), и образуется разложением остатков доисторических растений и животных глубоко в недрах Земли (рис. 109). В основном используются такие ископаемые топлива, как уголь, нефть и природный газ. Они сжигаются для выделения энергии, а мы, в свою очередь, можем использовать эту энергию для производства электричества. Также мы можем использовать топливо напрямую: для снабжения энергией транспортные системы, для обеспечения теплом наши дома и в качестве сырья для производства других предметов, необходимых для повседневной жизни (рис. 108).

Сегодня на уроке:

- изучим природные источники углеводородов и образование ископаемого топлива;
- узнаем об областях применения углеводородов.

Ключевые понятия

- углеводород
- невозобновляемые ресурсы

Нефть образовывается схожим с углем способом, но в результате разложения организмов, таких как планктон или водоросли, в морях и озерах. Как и растения, которые сформировали уголь, эти древние организмы были захоронены под тяжелыми слоями осадочных пород до тех пор, пока они в конечном итоге не подверглись изменениям, образовав нефть и природный газ.	Сотни миллионов лет назад погибшие обитатели водной стихии падали на дно и превращались в ил. Они не могли разлагаться, поскольку там не было ни воздуха для окисления, ни бактерий, вызывающих гниение. Высокое давление и температура вызывали химические реакции, при которых углерод органических остатков соединялся с водородом, и образовывались низкомолекулярные углеводороды. Они и называются *природными газами*.	*Уголь* образуется из остатков растительности, которые накапливались на болотах или трясинах миллионы лет назад. Когда растительность была живой, она поглощала и удерживала энергию солнца, а когда отмирала, то покрывалась отложениями и, в конце концов, была закопана глубоко в недра Земли, где высокие температура и давление видоизменяли физические и химические свойства материала, формируя уголь.

Рис. 108. Нефть. Газ. Уголь

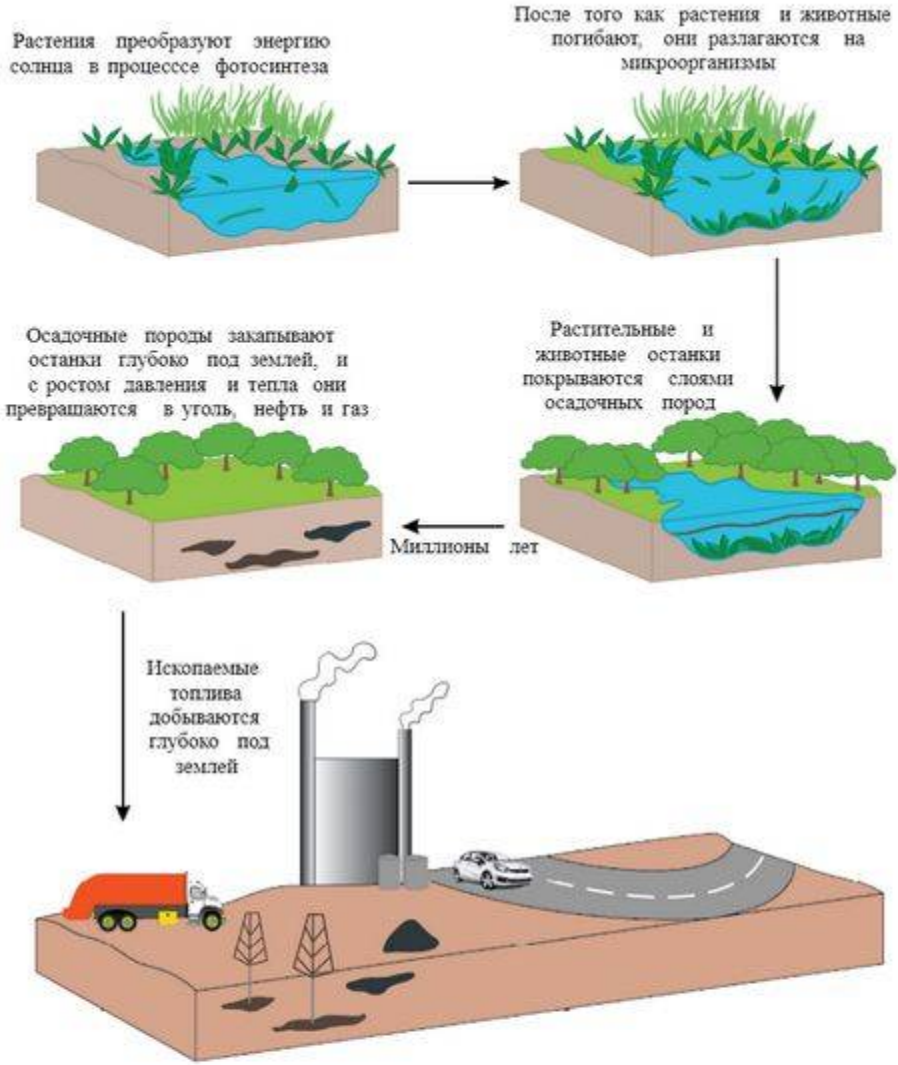


Рис. 109. Образование ископаемого топлива

Подавляющее большинство углеродсодержащих соединений получают из сырой нефти. Сырая нефть представляет собой смесь углеводородов. В составе нефти встречаются молекулы углеводородов различной формы и размеров, с различным количеством атомов углерода (от 1 до более 70).

Мы получаем электричество из углеводородов, сжигая их на электростанциях (рис. 110). Сгорание углеводородного топлива превращает химическую энергию в тепловую, которая, нагревая воду, превращает ее в пар. Пар поступает в турбины, которые соединены с генератором,

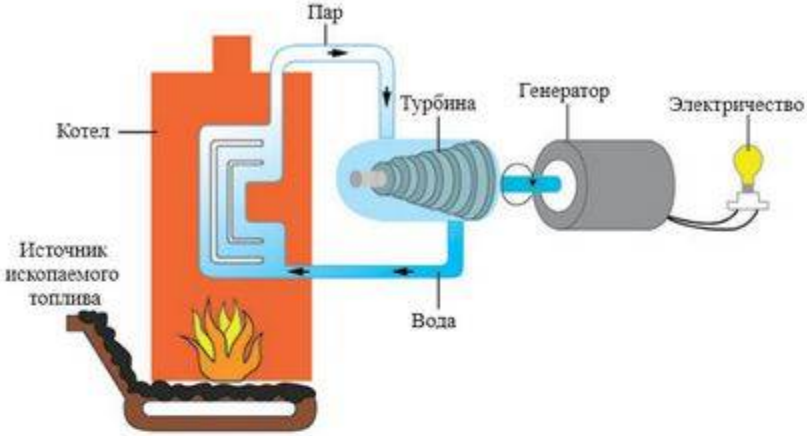


Рис. 110. Производство электричества

производящим электрическую энергию. Она распределяется как электричество, которое мы используем.

Производство электричества

Наряду с производством электричества мы применяем углеводороды для множества других целей (рис. 111). Например, нефтепродукты, такие как бензин и дизель — в наших машинах, автобусах, поездах и грузовых машинах. Мы используем нефть, газ и уголь в качестве топлива. Также находим применение добываемой сырой нефти при производстве различных химических веществ. Таким образом, углеводороды задействованы во многих сферах нашей жизни: начиная от смолы на наших дорогах, удобрений и пестицидов, используемых в сельском хозяйстве, заканчивая нефтехимическими веществами, которые нужны для производства многочисленных товаров первой необходимости.

Ежедневно во всем мире используется более 13 миллиардов литров нефти.

В Мировом океане содержится в 60 раз больше CO_2, чем в атмосфере Земли (140 триллионов тонн).

Углеводороды служат на благо человечества на протяжении долгого времени, так как они сравнительно недороги, легко добываемы и транспортируемы. Запасы углеводородов ограничены, а это означает, что они невозобновляемы; это связано с тем, что их образование под землей может занять миллионы лет, и мы используем существующие

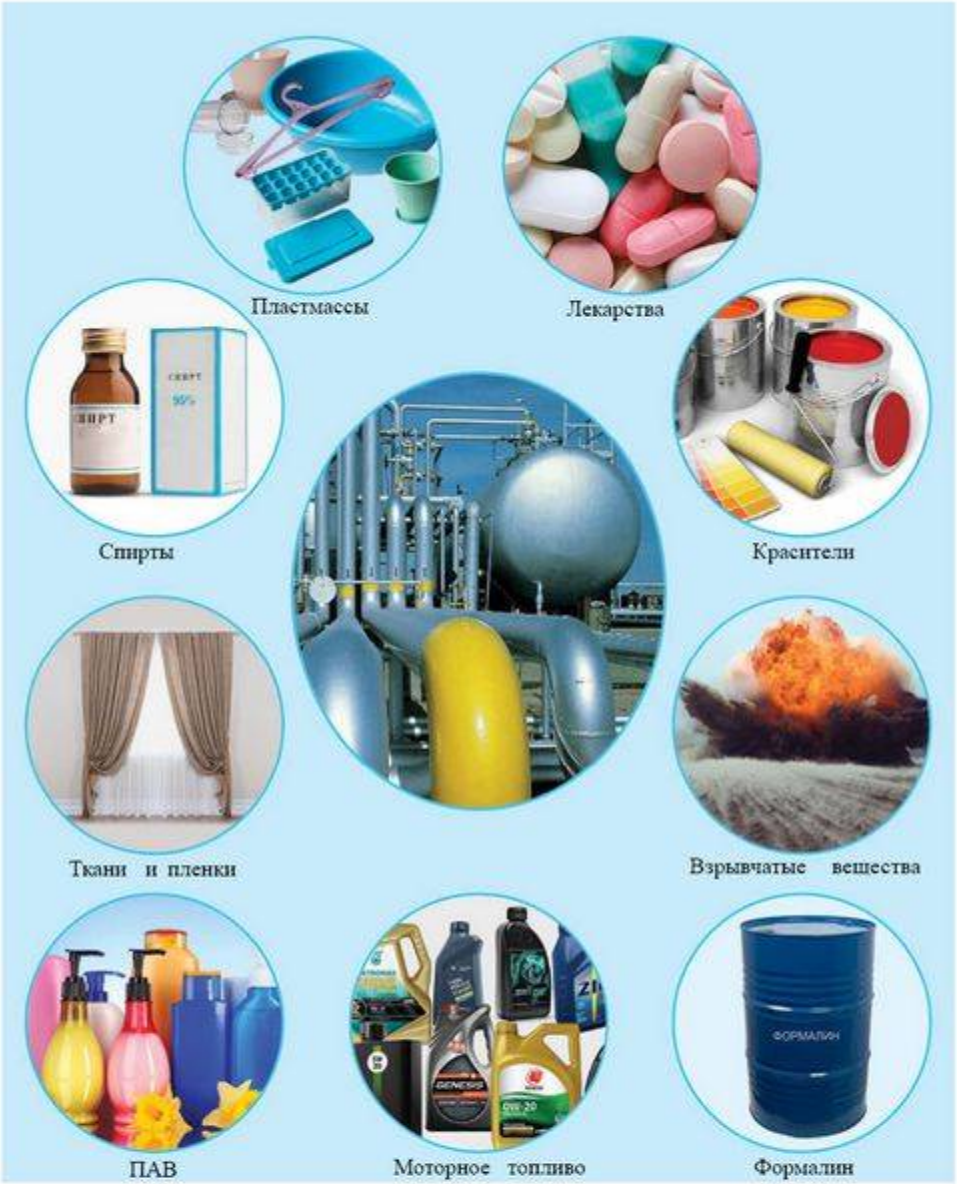


Рис. 111. Продукты переработки нефти

ресурсы намного быстрее, чем формируются новые. Сгорание углеводородов также вредит окружающей среде, что считается основной причиной глобального потепления.

Наибольшая роль в имеющем место глобальном потеплении отводится водяному пару и углекислому газу. На их долю приходится более 95% всего парникового эффекта. Именно благодаря этим двум

газообразным веществам происходит разогрев атмосферы Земли на 33°С. Примерно 65% антропогенной эмиссии CO_2 в атмосферу связано со сжиганием ископаемого топлива — нефти, газа и угля.

Ископаемое топливо производится из соединений, известных как углеводороды (состоящих только из углерода и водорода), и образуется разложением остатков доисторических растений и животных глубоко в недрах Земли. В основном используются такие ископаемые топлива, как уголь, нефть и природный газ.

Подавляющее большинство углеродсодержащих соединений широко используется в сырой нефти. Сырая нефть представляет собой смесь углеводородов.

Наряду с производством электричества мы можем использовать углеводороды для множества других целей.

1. Что является источниками углеводородов?
2. Как образовались уголь, нефть и природный газ?
3. Для каких целей используются углеводороды?
4. Какие продукты получают при переработке нефти?
5. Почему углеводороды относятся к невозобновляемым природным ресурсам?
6. Какие экологические последствия может оказать на окружающую среду сжигание топлива?

§ 79. НЕФТЬ

Сегодня на уроке:

- поймем процесс фракционирования нефти и узнаем области применения фракций.

Ключевые понятия

- нефть
- добыча
- состав
- физические свойства
- фракционирование нефти
- области применения фракций

Запасы нефти, выявленные специалистами к настоящему времени, составляют порядка 230 млрд. т. Наиболее богата нефтью Саудовская Аравия, на ее долю приходится чуть меньше половины всех запасов Аравийского полуострова. За ней идут Кувейт, Иран, Ирак, ОАЭ. Ежегодно в мире добывается порядка 8 млрд. т. Растет потребление как самой нефти, так и нефтепродуктов (рис. 112, табл. 56).

Основные месторождения нефти в Казахстане: Эмба, Доссор, Макат, Узень, Жетыбай. Ежегодно в Казахстане добывается более 50 млн. т нефти, но это число неизменно растет (табл. 55, рис. 113).

Добыча нефти. Нефть добывает наземным способом и на воде. Для этого устанавливают специальные приспособления для выкачивания нефти (рис. 114, *а*, *б*).

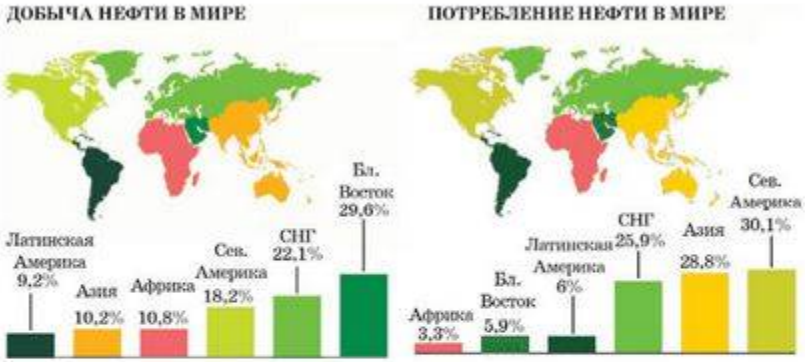


Рис. 112. Добыча и потребление нефти в мире

Таблица 56

Показатели добычи, поставок на внутренний рынок и экспорт нефти (млн. т)

	2013 год	2015 год	2020 год	2025 год	2030 год
Добыча нефти	82,000	90,000	130,000	135,000	110,000
Поставки на внутренний рынок	—	17,050	19,500	25,500	25,500
Ресурсы на экспорт	—	72,950	110,500	109,500	84,500

Нефть, добытая из земных недр, называется *сырой*. Сырую нефть практически не применяют. Чтобы смесь углеводородов приобрела действительно большое экономическое значение, ее надо очистить (рафинировать), т. е. освободить от примесей и ненужных компонентов. Таким способом сырую нефть очищают от воды и примесей и превращают в *товарную нефть*. Процесс очистки происходит на *нефтеочистительном заводе* (рис. 115).

Рис. 113. Карта трубопроводов и нефтеперерабатывающих заводов в Казахстане

а) *б*)

Рис. 114. Добыча нефти:
а) наземным способом; *б*) на воде

Состав нефти. Нефть разных месторождений неодинакова по составу, но любая содержит в разных соотношениях четыре главных класса углеводородов: *парафины, циклические углеводороды* с пяти- и шестичленными циклами и *ароматические углеводороды.* Кроме углеводородов в нефти почти всегда присутствуют соединения, содержащие серу, кислород и азот, но главную массу любой нефти всегда составляют углеводороды.

Казахстанская нефть богата парафинами (Эмба), нафтенами (Жетыбай) и ароматическими углеводородами (Прорвин).

Физические свойства нефти. Нефть представляет собой маслянистую вязкую жидкость от черного до светло-желтого цвета (зависит от содержания серы) со своеобразным запахом (рис. 116). Нефть не растворяется в воде, легче воды и растекается по поверхности (10 л

Рис. 115. Павлодарский нефтеперерабатывающий завод

Рис. 116. Нефть

нефти растекается на 10 км^2). Нефть растворяется в растворителях. Нефть — горючая жидкость (перс. *neft* — "легковоспламеняющийся").

Существует несколько способов переработки нефти.

Перегонка нефти — это процесс физического разделения нефти и газов на фракции (компоненты), отличающиеся друг от друга и от исходной смеси по температурным пределам или температурам кипения. Перегонку осуществляют в установке, которая состоит из *трубчатой печи, ректификационной колонны* и *холодильника*. В печи находится змеевик (трубопровод). По трубопроводу непрерывно подается нефть, где она нагревается до 320—350°С и в виде смеси жидкости и пара поступает в ректификационную колонну (стальной цилиндрический аппарат высотой 40 м) (рис. 117). Внутри она имеет горизонтальные перегородки с отверстиями, называемыми *тарелками* (рис. 118).

Пары нефти через отверстия поднимаются вверх, при этом они постепенно охлаждаются и сжижаются. Менее летучие углеводороды конденсируются уже на первых тарелках, образуя газойлевую фрак-

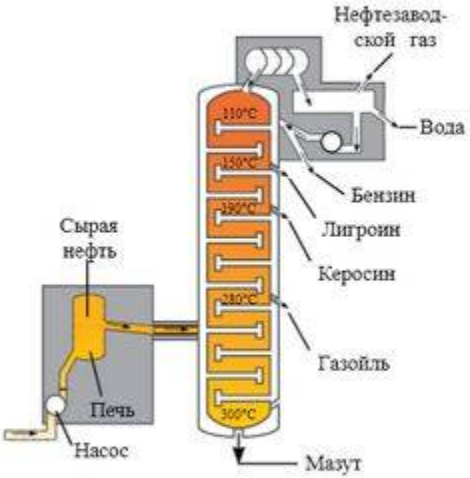


Рис. 117. Трубчатая печь и ректификационная колонна

цию. Выше собирается керосин, а затем лигроин. Наиболее летучие углеводороды выходят в виде паров из колонны и сжижаются, образуя бензин. Часть бензина подается обратно в колонну для орошения поднимающихся паров. Это способствует охлаждению и конденсации соответствующих углеводородов. Главный недостаток перегонки нефти — малый выход бензина (не более 20%) и его невысокое качество. Кроме бензина получают 75% мазута и остальные фракции всего 5%. Из нефти выпускают широкий ассортимент смазочных материалов (табл. 57). Оставшийся после перегонки нефти концентрат называется *гудроном*. Он идет на дорожные и строительные покрытия.

Рис. 118. Тарелки в ректификационной колонне

Таблица 57

Основные продукты первичной переработки нефти

Название фракции	Состав	Применение
1	2	3
Газолиновая фракция (бензин)	C_5H_{12}—$C_{11}H_{24}$ $t_{кип.}$ от 40 до 200°С	Топливо для автомобилей
Лигроиновая фракция	C_8H_{18}—$C_{14}H_{30}$ $t_{кип.}$ от 150 до 250°С	Топливо для тракторов
Керосиновая фракция (керосин)	$C_{12}H_{26}$—$C_{18}H_{38}$ $t_{кип.}$ от 180 до 300°С	Авиационное топливо

Продолжение

1	2	3
Газойль	$C_{13}H_{28}$—$C_{19}H_{40}$ $t_{кип.}$ от 250 до 350°C	Топливо для дизелей
Мазут	$C_{15}H_{32}$—$C_{50}H_{102}$ $t_{кип.}$ выше 350°C	Топливо для теплостанций
Применение вазелина и парафина		
Смазочные масла, асфальт, гудрон		

Нефть разных месторождений неодинакова по составу, но любая содержит в разных соотношениях: *парафины, циклические углеводороды* с пяти- и шестичленными циклами и *ароматические углеводороды*. **Перегонка (фракционирование)** — это процесс физического разделения нефти и газов на фракции (компоненты), отличающиеся друг от друга и от исходной смеси по температурным пределам или температурам кипения .

1. Что такое *нефть*? Можно ли написать формулу нефти?
2. Каковы физические свойства нефти? Как можно отделить нефть от воды?
3. Укажите важнейшие источники нефти в Казахстане.
4. Какие вещества входят в состав нефти? Почему непредельные углеводороды не встречаются в нефти? Объясните.
5. Какие способы переработки нефти бывают?
6. Укажите, какие продукты получают при первичной переработке нефти и где их применяют?
7. Скажите, добывается ли нефть в краях, где вы проживаете? В связи с этим существуют ли экологические проблемы? Если существуют, то как они решаются?

Владимир Григорьевич Шухов
(1853—1939)

Русский технолог и конструктор, произвел (1878) расчеты первого в России нефтепровода и руководил его постройкой, создал конструкции аппаратов дробной дистилляции нефти. Изучил крекинг-процесс.

§ 80. ПЕРЕРАБОТКА НЕФТЕПРОДУКТОВ

Сегодня на уроке:

- поймем сущность процессов каталитического и термического крекингов;
- узнаем экологические последствия разлива нефти.

Ключевые понятия

- крекинг
- термический
- каталитический
- риформинг
- детонационная устойчивость бензина
- экологические последствия разлива нефти

С целью дополнительного получения бензина мазут вторично перегоняют под вакуумом в аналогичных ректификационных колоннах (рис. 119).

Крекингом *называется процесс расщепления углеводородов, содержащихся в нефти, в результате которого образуются углеводороды с меньшим числом атомов углерода в молекуле*. При крекинге выход бензина можно увеличить до 65—70%.

Механизм крекинга очень сложен, его изучил и впервые применил русский ученый В. Г. Шухов. Существует два вида крекинга — *термический*, когда расщепление углеводородов производится при высокой температуре, и *каталитический*, идущий с применением катализаторов.

Термический крекинг осуществляют в промышленности, пропуская нефтепродукты, например мазут, через трубчатую печь, где они нагреваются до 470—550°С под давлением 20—70 атм. При этом происходит распад молекул: тяжелые и сложные молекулы углеводородов, входящих в состав мазута, расщепляются на более легкие и менее сложные.

Знаешь ли ты?

Нефть бывает не только черной, но и бесцветной, зеленой, коричневой, желтой, красной, к тому же каждый цвет имеет свои оттенки.

$$\underset{\text{гексадекан}}{C_{16}H_{34}} \rightarrow \underset{\text{октан}}{C_8H_{18}} + \underset{\text{октен}}{C_8H_{16}}$$

Рис. 119. Перегонка нефти в два этапа

$$\underset{\text{октан}}{C_8H_{18}} \rightarrow \underset{\text{бутан}}{C_4H_{10}} + \underset{\text{бутен}}{C_4H_8}$$

Бензин термического крекинга существенно отличается от бензина прямой перегонки тем, что содержит непредельные углеводороды и поэтому обладает бо́льшей детонационной стойкостью.

Каталитический крекинг проводят в присутствии природных или синтетических алюмосиликатов. Применение катализаторов позволяет вести процесс при более низкой температуре (450—500°С), с бо́льшей скоростью и получать бензин высокого качества.

Знаешь ли ты?

Первая в мире нефтяная скважина была пробурена на берегу Каспийского моря в 1846 г.

В условиях каталитического крекинга наряду с реакциями расщепления идут реакции изомеризации, т. е. превращение углеводородов нормального строения в разветвленные углеводороды. Это влияет на качество образующегося бензина, так как наличие разветвленных углеводородов сильно повышает его октановое число.

Для получения высококачественного бензина применяется метод *риформинга* . Сырьем служит бензино-лигроиновая фракция нефти. В процессе риформинга образуются ароматические углеводороды.

Знаешь ли ты?

Одна капля нефти делает непригодной для питья 25 л воды.

В настоящее время нефтехимия дает почти четверть всей химической продукции. Нефть — это синтетический каучук и пластические массы, лекарства, искусственная кожа и искусственная шерсть. Материалы, получаемые из "черного золота", заменяют медь и стекло, камень и сталь, хлопок и шерсть. Всего производных нефти насчитывают око-

Рис. 120. Продукты, получаемые из нефти

ло 3000. И хотя 90% нефти все-таки тратится как топливо, все же из нее можно получить огромное количество продуктов (рис. 120).

Детона ционная устойчивость бензина. Использование некоторых видов топлива может привести к тому, что двигатель начнет стучать или гудеть. Причиной этого может служить *преждевременное воспламенение* бензина, или *детонация* . Это может привести к разрушен ию двигателя (рис. 121).

В качестве оценки характеристик сгорания бензина была разработана шкала октановых чисел.

Ученые определили, что не все углеводороды одинаково выдерживают преждевременное сгорание. Хуже всех детонационная устойчивость у н-гептана. Его устойчивость была принята за 0. Наоборот, высокая детонационная устойчивость у 2; 2,4-триметилпентана (его обычно называют изооктаном). Его устойчивость была взята за 100. Далее разные виды топлива сжигались в стандартном двигателе, и им присваивали значение октанового числа, например 80. В таблице 58 приведены октановые числа некоторых видов чистого топлива.

Рис. 121. Разрушенный детонацией двигатель

Таблица 58

Шкала октановых чисел

Топливо	Октановое число
Этанол	108
Метанол	107
Бензол	106
Изооктан	100
Пентен-1	91
н-пентан	62
н-ге птан	0

Как видно из таблицы, у некоторых веществ октановое число может быть даже выше 100 (например, у гомологов бензола оно может быть даже 120), но они очень токсичны, и применять их в чистом виде нельзя. Таким образом, маркировка бензина, например АИ-93 (автомобильный — индустриальный), означает, что такой бензин ведет себя при сжатии как смесь, состоящая из 93 частей изооктана и 7 частей н-гептана.

Знаешь ли ты?

В 1763 г. Ломоносов опубликовал труд "О слоях земли", где он предположил, что и нефть, и каменный уголь происходят разными путями из одного и того же органического вещества.

Знаешь ли ты?

В 327 г. н. э. китайские инженеры использовали бамбуковые трубы для бурения на глубину 240 м под поверхностью земли и добычи первых капель нефти. В то время нефть называлась "горящей водой" и использовалась для испарения морской воды и производства соли.

Экологические последствия разлива нефти. Иногда в силу неправильного использования установок по добыче или эксплуатации нефтеперерабатывающих заводов могут происходить разливы нефти. Это очень опасно, поскольку нефть нерастворима в воде и растекается по ней очень тонким слоем, через который не проходит кислород воздуха. Такая авария опасна для флоры и фауны водных источников. Ежегодно в Мировой океан попадает от 2 до 10 млн. т нефти. Часть поверхности воды уже покрыта тончайшей радужной пленкой нефти (рис. 122).

Знаешь ли ты?

Дизельное топливо оценивается его *цетановым числом* — это реальное измерение *легкости воспламенения* под действием температуры и давления, а не *способности горения*. Эталоны: цетан — парафиновый углеводород с 16 атомами углерода $C_{16}H_{34}$, который легко воспламеняется под давлением, и α-метилнафталин, который не воспламеняется самопроизвольно.

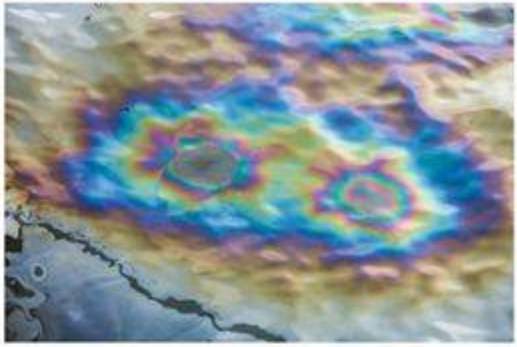


Рис. 122. Разливы нефти на воде

Рис. 123. Авария танкера

Наибольшее количество разлитой нефти приносят танкеры, перевозящие нефть (рис. 123). Общее количество нефти, разлитое танкерами за период с 1970 по 2010 г., составляет более 5 млн. т.

Методы борьбы с разлитием нефти в водных источниках:

а) самоликвидация; б) химическое рассеивание; в) поглощение; г) ограждение; д) биологическая очистка.

Чтобы уменьшить вред, наносимый природе, необходимо совершенствовать способы и технологии добычи, хранения, транспортировки нефти и обеспечивать безопасность производства.

Крекингом называется процесс расщепления углеводородов, содержащихся в нефти, в результате которого образуются углеводороды с меньшим числом атомов углерода в молекуле.

Существует два вида крекинга — *термический*, когда расщепление углеводородов производится при высокой температуре, и *каталитический*, идущий с применением катализаторов. *Преждевременное воспламенение* бензина в двигателе называется *детонацией*. Чтобы уменьшить вред, наносимый природе, необходимо совершенствовать способы и технологии добычи, хранения, транспортировки нефти и обеспечивать безопасность производства.

1. Укажите, какие продукты получают при вторичной переработке нефти и где их применяют?
2. Укажите, какие из нефтепродуктов встречаются в вашей жизни? Где их применяют?
3. Что такое *детонация бензина*? К каким последствиям может привести детонация бензина?
4. Что такое *октановое число топлива*? Что означает марка бензина АИ-80?
5. Назовите экологические последствия разлива нефти.
6. Предложите способ собирания нефти, пролившейся в воду.
7. Разрыв С – С связи при крекинге алканов возможен в любом случайном месте молекулы. Гептадекан $C_{17}H_{36}$ присутствует во фракции мазута. Напишите уравнения:
   а) в процессе крекинга гептадекана образуется алкан, содержащий три атома углерода и два алкена, имеющих одинаковые молекулярные массы;

б) образуется алкан, содержащий пять атомов углерода и два алкена, которые имеют соотношение числа атомов углерода 1 : 3.

*8. Гексадекан — шестнадцатый углеводород в ряду алканов. Запишите уравнение крекинга данного углеводорода, учитывая, что одна молекула гексадекана образует одну молекулу пропилена, одну молекулу гептана, а остаток превращается в молекулы простейшего алкена.

9. Нефть можно разделить на различные фракции. В таблице представлены 6 наиболее значимых из этих фракций.

Фракции	Температура кипения фракции (°С)	Число атомов углерода в каждой из молекул
1	от –40 до 40	от 1 до 4
2	от 40 до 100	от 4 до 8
3	от 100 до 160	от 6 до 10
4	от 160 до 250	от 10 до 16
5	от 250 до 300	от 16 до 20
6	от 300 до 350	от 20 до 25

а) В каких фракциях:
1. содержатся газы при комнатной температуре?
2. содержатся молекулы с 12 атомами углерода?
3. содержится бензин?

б) Какие из фракций 3, 4, или 5, содержат наиболее... компоненты:
1. Вязкие?
2. Горючие?
3. Летучие?

в) Фракция 6 обычно используется в крекинге.
1. Напишите уравнение крекинга для наиболее короткого и наиболее длинного по количеству углерода компонента этой фракции (учтите, что данные вещества обычно алканы).
Объясните, почему эту фракцию обычно используют для крекинга?

• 1. В бензине массовая доля гептановых изомеров составляет 80% и октановых изомеров — 20%. Какой объем кислорода потребуется для сжигания бензина массой 30 кг (н. у.)?

Ответ: 73,9 м³.

• 2. Автомашина, проехав 850 км, израсходовала бензин массой 20 кг. Рассчитайте объем воздуха, необходимого для сгорания бензина, если массовая доля углерода в нем 84,2%, а водорода — 15,8%.

Ответ: 245,6 м³.

• 3. Бак для горючего трактора содержит керосин массой 60 кг. Какой объем воздуха расходуется для сжигания керосина, если массовая доля углерода 86%, а водорода — 14%?

Ответ: 476 м³.

Умей практически применять химию

Самые распространенные пятна на одежде — жировые. Их выводят, как правило, с помощью экстракции, подбирая для этого подходящий растворитель. Для выведения свежих жировых пятен годятся бензин, скипидар. Ваткой, смоченной растворителем, протрите пятно несколько раз, и жир перейдет в раствор. Чтобы на ткани не осталось ореола, ее надо протереть мыльной водой или раствором стирального порошка.

Знаешь ли ты?

Во время Второй мировой войны некоторые машины заправляли... дровами. Конечно, печки в машине не было. В ней устанавливали реактор, в качестве двигателя внутреннего сгорания использовали продукты сухой перегонки древесины. А в Бразилии, где не хватает нефтепродуктов, но зато много растительного сырья, автомобили заправляют этиловым спиртом C_2H_5OH, полученным из сахарного тростника. Кстати, октановое число этилового спирта больше 100.

Пятно от масляного лака хорошо удаляет паста из бензина и белой глины. Тестообразную смесь наносят на пятно и оставляют до тех пор, пока бензин полностью не испарится. В этом случае к экстракции добавляется адсорбция: белая глина впитывает, поглощает вещества, экстрагируемые бензином.

Свежее пятно от масляной краски сначала смочите скипидаром (для размягчения), а потом удалите бензином. Если такая обработка может повредить окраске, то протрите пятно горячим раствором глицерина или его смесью с равным количеством винного спирта.

Знаешь ли ты?

Внимание: наиболее часто отравление оксидом углерода (II) происходит в гаражах, когда при закрытых дверях люди включают двигатель автомобиля. Ни в коем случае нельзя заводить автомобиль в закрытом гараже.

Изучение свойств продуктов переработки нефти

На полоски фильтровальной бумаги (или на часовые стекла) нанесите капли очищенного бензина, керосина, машинного масла. Отметьте, что после бензина бумажка быстро становится сухой, т. е. бензин обладает наибольшей летучестью, затем испаряется керосин (испарение его может быть ускорено осторожным подогреванием); улетучивания машинного масла практически наблюдать не удается.

TOP 10 Самые опасные пищевые добавки
1. Аспартам — Е951
2. Ацесульфам калия — Е950
3. Глутамат натрия — Е621
4. Сульфат натрия — Е514
5. Нитрит натрия — Е250
6. Диоксид серы — Е220
7. Бромат натрия — Е924
8. Формальдегид — Е250
9. Бензоат натрия — Е265
10. Амарант — Е123

§ 81. ПРИРОДНЫЙ ГАЗ. ПОПУТНЫЕ НЕФТЯНЫЕ ГАЗЫ

Сегодня на уроке:

- ознакомимся с природным и нефтяным газами.

Ключевые понятия

- природный газ
- нефтяной газ
- состав
- применение

Природные углеводородные газы находятся в недрах земли или в виде самостоятельных залежей, образуя чисто газовые месторождения, либо в растворенном виде содержатся в нефтяных залежах. Такие газы называются ***нефтяными***, или ***попутными***, так как их добывают попутно с нефтью.

Основные месторождения природного газа сконцентрированы в Западном Казахстане; крупные запасы находятся близ Каспия, на Мангышлаке, возвышенностях Устирта, около Уральска, на месторождениях Карашыганак, Жетыбай, Каламкас, в Кызылорде находятся месторождения Кумколь, Кумасай и Кызылкия. Огромные запасы природного газа имеются в России, Иране, Ираке, Кувейте, Саудовской Аравии, Катаре и других странах.

Природный газ на 98% состоит из метана CH_4. Также в его составе присутствуют гомологи метана — этан C_2H_6, пропан C_3H_8 и бутан C_4H_{10}. Иногда природный газ может содержать сероводород, гелий и углекислый газ. Природный газ разделяют на две фракции:

1) сухой газ (CH_4, C_2H_6);

2) пропан-бутановая (C_3H_8, C_4H_{10}). Первая фракция является источником сырья:

$$CH_4 \xrightarrow{>1000^\circ} C + 2H_2\uparrow$$

$$2CH_4 \xrightarrow{>1500^\circ} C_2H_2\uparrow + 3H_2\uparrow$$

$$CH_4 \xrightarrow{+O_2, t^\circ} CO \xrightarrow{+H_2, t^\circ} CH_3OH$$

$$CH_4 + 2H_2O \xrightarrow{Ni} CO_2\uparrow + 4H_2\uparrow$$

Дегидрированием пропан-бутановой фракции получают непредельные углеводороды. Затем из них синтезируют разные полимеры.

$$C_4H_{10} \xrightarrow{Ni} C_2H_6\uparrow + C_2H_4\uparrow$$

$$C_2H_6 \xrightarrow[Ni]{500^\circ} \underset{\text{этилен}}{C_2H_4}\uparrow + H_2\uparrow$$

$$n\underset{\text{этилен}}{H_2C = CH_2} \rightarrow \underset{\text{полиэтилен}}{(-H_2C - CH_2-)_n}$$

Природный газ — это важный источник энергии, позволяющий уменьшить загрязнения и способствующий поддержанию нормальной экологической обстановки. По сравнению с остальными источниками энергии обладает рядом преимуществ:

- сгорая, выделяет только углекислый газ и водный пар;
- при сгорании не выделяет копоти и дыма;
- быстро разжигается, и процесс его горения легко контролировать;
- почти не содержит твердых примесей и других вредных компонентов;
- относительная дешевизна благодаря более легкому способу добычи и транспортировки.

Попутный нефтяной газ. Попутный нефтяной газ по своему происхождению тоже является природным газом. Особое название он получил потому, что находится в залежах вместе с нефтью — он растворен в ней и находится над нефтью, образуя газовую "шапку". Прежде попутный газ не находил применения и тут же на промысле сжигался.

В настоящее время его улавливают, так как он, как и природный газ, представляет собой экологически чистое топливо и ценное химическое сырье. В попутном газе содержится меньше метана (30—60%), чем в природном газе, но зато в нем значительно больше других углеводородов — этана, пентана, бутана, пропана и др., которые легко можно превратить в этилен, пропилен и бутилен.

Для практических целей попутные газы разделяют на три фракции:

1. Сухой газ (CH_4, C_2H_6) используют для получения ацетилена, водорода, а также как топливо.

2. Пропан-бутановая (C_3H_8, C_4H_{10}). Пропан и бутан сегодня широко используются в качестве альтернативного топлива для автомобилей.

3. Газовый бензин (C_5H_{12}, C_6H_{14}) добавляют к бензину для улучшения запуска двигателя. Полное их использование в качестве сырья современной химической промышленности — задача большой экономической важности.

Природный и нефтяные газы отличаются по составу, нахождению в природе и применению. В попутном газе содержится меньше метана (30—60%), чем в природном газе. Природный и нефтяные газы представляют собой экологически чистое топливо и ценное химическое сырье.

1. Каков состав природного газа? Покажите на географической карте важнейшие месторождения природного газа.
2. Какие преимущества по сравнению с другими видами топлива имеет природный газ? Для каких целей используют природный газ в химической промышленности?
3. Напишите уравнения реакций получения: а) ацетилена из метана; б) хлорпренового каучука из ацетилена; в) тетрахлорметана из метана.

4. Чем отличаются попутные нефтяные газы от природного газа?
5. Охарактеризуйте основные продукты, получаемые из попутных газов.

1. Вычислите массу метана, который можно получить из 1 т природного газа. Массовая доля метана в газе составляет 96%.

Ответ: 960 кг.

2. Из природного газа объемом 40 л (н. у.) получен хлорметан массой 30,3 г. Определите объемную долю метана в природном газе, если массовая доля выхода хлорметана равна 40% от теоретически возможного.

Ответ: 84%.

3. Природный газ содержит (объемная доля) метан 95%, азот 2%, оксид углерода (IV) 3%. Образец этого газа объемом 4,48 л (н. у.) сожгли, а всю газовую смесь пропустили через избыток раствора гидроксида кальция. Рассчитайте массу образовавшегося осадка.

Ответ: 19,6 г.

§ 82. КОКСОВАНИЕ КАМЕННОГО УГЛЯ

Сегодня на уроке:

- ознакомимся с коксованием каменного угля и узнаем продукты коксования.

Ключевые понятия

- коксование
- продукты коксования

Химической промышленности для получения углеводородов и других органических соединений нужны кокс, смола (побочный продукт коксования) и газы, получаемые при коксовании угля.

Коксовые газы служат, кроме того, ценным горючим. Об этом свидетельствует, в частности, и наш повседневный опыт использования газа в быту.

Процесс коксования можно провести в лаборатории. Если каменный уголь сильно нагревать в железной трубке без доступа воздуха, то через некоторое время можно будет наблюдать выделение газов и паров. В U-образной трубке конденсируется *смола*, имеющая неприятный запах, и над ней *вода, содержащая аммиак*. Проходящие далее газы собираются в сосуде над водой. В железной трубке после опыта остается *кокс*. Собранный газ хорошо горит, его называют *коксовым газом* (рис. 124).

Таким образом, при нагревании каменного угля без доступа воздуха образуются четыре основных продукта: *кокс* (рис. 125), *каменноугольная смола, аммиачная вода, коксовый газ*.

Коксохимическое производство в основе своей имеет много общего с лабораторным опытом коксования угля, оно как бы воспроизводит его в крупных масштабах.

Промышленная коксовая печь состоит из длинной узкой камеры, в которую сверху через отверстия загружают каменный уголь, и отопительных простенков, в каналах которых сжигают газообразное топливо (коксовый или доменный газ) (рис. 126).

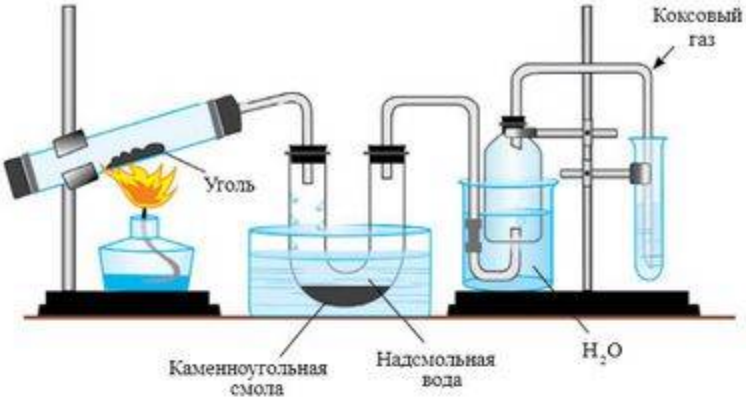


Рис. 124. Лабораторный опыт коксования каменного угля

Несколько десятков таких камер образуют батарею коксовых печей. Для достижения высокой температуры горения газ и воздух предварительно нагревают в регенераторах, расположенных под камерами, подобно тому, как это осуществляется мартеновским способом производства стали.

Рис. 125. Кокс

Нагревание угля без доступа воздуха до 900—1050°С приводит к его термическому разложению с образованием летучих продуктов и твердого остатка — кокса. Процесс коксования длится около 14 часов. После того как он закончится, образовавшийся кокс — "коксовый пирог" — выгружают из камеры в вагон и затем гасят водой или инертным газом; в камеру

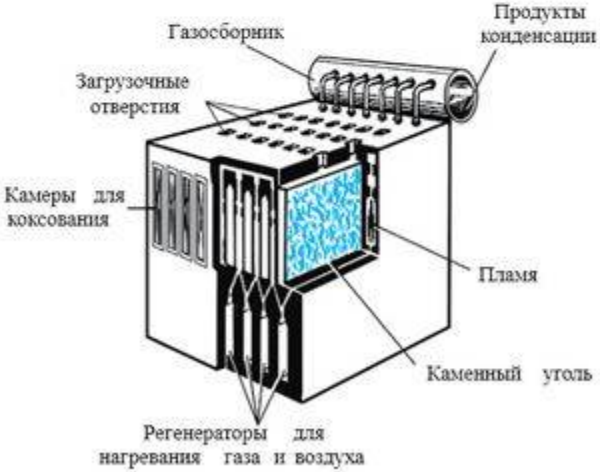


Рис. 126. Схема коксовой печи

загружают новую партию угля, и процесс коксования начинается снова. Коксование угля — периодический процесс. Основные продукты: кокс, коксовый газ и др. Побочные продукты: каменноугольная смола (бензол, толуол), аммиачная вода и др.

После остывания кокс сортируют и направляют на металлургические заводы для доменных печей.

Летучие продукты выводятся через отверстия вверху камер и поступают в общий газосборник, где из них, как в нашем опыте, конденсируется смола и аммиачная вода.

Из неконденсирующегося газа извлекают аммиак и легкие ароматические углероды (главным образом бензол). С целью извлечения аммиака газ пропускают через раствор серной кислоты; образующийся сульфат аммония используется в качестве азотного удобрения.

Ароматические углеводороды получаются путем поглощения их растворителем и последующей отгонки из образующегося раствора.

Из каменноугольной смолы путем фракционирования получают гомологи бензола, фенол (карболовую кислоту), нафталин и др. (рис. 127).

Коксовый газ после очистки применяется в качестве топлива в промышленных печах, так как содержит много горючих веществ. Состав коксового газа сложный (%) H_2—60, CH_4—25, CO—5, N_2—4, CO_2—2, C_2H_4—2 и др. Он используется и как химическое сырье. Например, из коксового газа выделяют водород для различных синтезов.

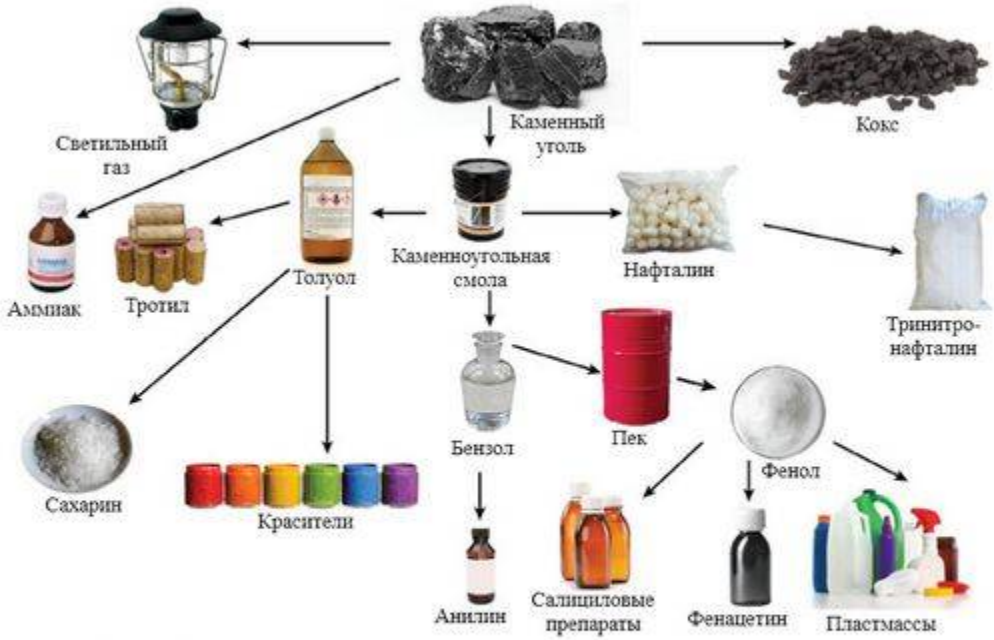


Рис. 127. Схемы применения продуктов коксования каменного угля

В настоящее время учеными разрабатываются другие экономически более выгодные методы гидрирования угля с использованием эффективных катализаторов, что даст возможность снизить температуру и давление.

Другим перспективным путем получения синтетическогося жидкого топлива является его синтез из оксида углерода (II) и водорода.

Казахстан богат запасами каменного угля, коксующегося угля, бурого угля. Ежегодно добывается около 100 млн. т каменного и бурого угля. Самая большая угольная база Казахстана — Карагандинский угольный бассейн. В нем сосредоточено 60 млрд. т угля. Основные месторождения угля — Сарань, Абай, Шерубайнура, Шахтинск, Михайловка и др. Карагандинский угольный бассейн дает порядка половины всего добываемого угля в нашей стране. Кроме Карагандинского источника есть Екибастузский угольный бассейн. В нем важнейшими месторождениями являются: Алып, Северный и Восток.

Коксование угля — периодический процесс. Основные продукты: кокс углерода; коксовый газ и др. Побочные продукты: каменноугольная смола, бензол, толуол, аммиак и др.

Коксовый газ используется как химическое сырье, а также является ценным горючим.

1. Какие основные продукты получаются при коксовании каменного угля?
2. Где применяется кокс, каменноугольная смола, коксовый газ, надсмольная вода?
3. Где добывают уголь в нашей стране? Какие месторождения угля наиболее перспективны?
4. Напишите уравнения получения из метана коксового газа: ацетилена, бензола, бутадиена, бутена.
5. Сравните состав коксового газа с составом природного газа.

1. При сжигании антрацита массой 30 г получено углекислого газа объемом 53,2 л (н. у.). Определите массовую долю углерода в антраците.

Ответ: 95%.

2. Какой объем воздуха (н. у.) потребуется для полного сгорания угля массой 30 кг, если массовая доля углерода в нем 82,2%; водорода — 4,6%; серы — 1%, кислорода — 4%; азота — 1,2%; воды — 1%; негорючей золы — 6%?

Ответ: 30,85 м^3.

3. При сгорании угля массой 2400 г выделилось 80 400 кДж теплоты. Составьте термохимическое уравнение реакции горения угля.
4. Даны термохимические уравнения следующих реакций:
$CH_4 + 2\,O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O + 880$ кДж;
$2\,C_2H_2 + 5O_2 \rightarrow 4CO_2 + 2H_2O + 3000$ кДж.
Определите, какой суммарный объем (н. у.) метана и ацетилена нужно сжечь, если в каждом случае выделилось по 5000 кДж теплоты.

Ответ: 202 л.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

Качественные реакции на ненасыщенность связи

Реактивы : этиловый спирт, концентрированная серная кислота, бромная вода, $KMnO_4$.

Химическая посуда и лабораторное оборудование : пробирки, песок, газоотводная трубка, штатив, пробка, спички.

Техника безопасности. Требуется соблюдение правил работы с растворами кислот, щелочей и нагревательными приборами.

Ход работы

1. В пробирку налейте 1 мл этилового спирта и осторожно добавьте 6—9 мл концентрированной серной кислоты. Затем всыпьте немного прокаленного песка (песок вводят для того, чтобы предотвратить толчки жидкости при кипении). Закройте пробирку пробкой с газоотводной трубкой, закрепите ее в штативе и осторожно нагрейте содержимое пробирки. Что вы наблюдаете?

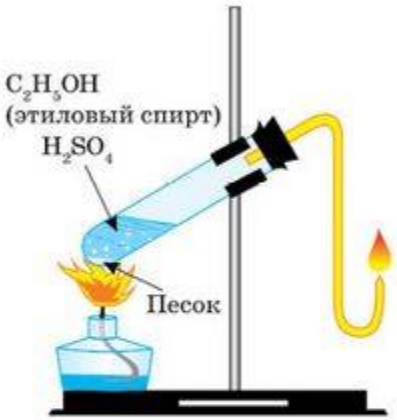
2. В другую пробирку налейте 2—3 мл бромной воды, опустите газоотводную трубку до дна этой пробирки и пропустите через бромную воду выделяющийся газ. Что вы наблюдаете?

3. В третью пробирку налейте 2—3 мл разбавленного раствора перманганата калия, подкисленного серной кислотой, и пропустите через него газ. Что вы наблюдаете?

Запишите уравнение проделанной реакции.

4. Подожгите выделяющийся газ. Каким пламенем горит этилен? Почему?

Напишите уравнения всех проведенных вами реакций 1—4.



Получение этилена в лаборатории

Глава XIV

ГАЛОГЕНАЛКАНЫ

§ 83. ПОЛУЧЕНИЕ ГАЛОГЕНАЛКАНОВ

Сегодня на уроке:

- поймем механизм реакций получения галогеналканов;
- выявим проблемы окружающей среды, связанные с влиянием галогеналканов.

Ключевые понятия

- галогеналканы
- методы получения галогеналканов

Галогенопроизводные алканов (галогеналканы) имеют очень важное значение для синтеза многих органических соединений. Замена атомов водорода на галоген делает такое соединение химически активным, т. к. связь углерода с более электроотрицательным атомом галогена является полярной и довольно *реакционноспособной* в реакциях ионного типа. Полярность ковалентной связи, к примеру C—Cl, приводит к смещению электронной плотности соседних связей в молекуле (*индуктивный эффект*).

Методы получения

1. *Заместительное галогенирование.* Объектом заместительного галогенирования могут быть алканы. Подробно об особенностях этих реакций мы говорили при изучении химических свойств алканов. Аллильное хлорирование алканов можно осуществить при высоких температурах (400—500°C) в паровой фазе. В общем виде реакции заместительного галогенирования алканов выражаются уравнением:

$$RH + Hal_2 \rightarrow RHal + HHal$$

Для получения хлор- и бромпроизводных широко применяется радикальное галогенирование алканов. Например, хлорирование этана с получением хлорэтана:

$$C_2H_6 + Cl_2 \xrightarrow{\text{свет}} C_2H_5Cl + HCl$$

Или замещение бромом в 2-метилбутане по правилу Зайцева:

$$CH_3-\underset{\underset{CH_3}{|}}{CH}-CH_2-CH_3 + Br_2 \xrightarrow{h\nu} CH_3-\overset{\overset{Br}{|}}{\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}}-CH_2-CH_3 + HBr$$

2-метилбутан 2-метил-2-бромбутан

С йодом эта реакция не идет. Прямое фторирование углеводородов из-за его высокой экзотермичности приводит к разрыву С—С-связей и деструкции углеродных цепей, и во всех случаях продуктами реакции являются CF_4 и HF:

$$C_nH_{2n+2} + (3n + 1)F_2 \rightarrow nCF_4 + (2n + 2)HF$$

2. *Присоединительное галогенирование алкенов и алкинов*.

Данные реакции идут по ионному электрофильному механизму. Например, присоединение бромоводорода к этену:

$$CH_2 = CH_2 + HBr \rightarrow \underset{\text{бромэтан}}{CH_3 - CH_2Br}$$

Или, например, присоединение хлороводорода к пропилену, идущее по правилу Марковникова:

$$CH_2 = CH - CH_3 + HCl \rightarrow \underset{\text{2-хлорпропан}}{CH_3 - CHCl - CH_3}$$

3. *Замещение на галоген других групп.*

а) реакции замещения гидроксильных групп на галоген в спиртах. Взаимодействие галогеноводородов со спиртами. Для этого на спирты действуют галогеноводородами, реакция идет по ионному нуклеофильному механизму. В общем виде уравнение имеет вид:

$$ROH + HCl \xrightarrow{ZnCl_2} RCl + H_2O$$

Важным фактором эффективности этих реакций является высокая кислотность среды, обеспечивающая стабилизацию уходящей гидроксильной группы:

$$ROH + HHal \rightleftharpoons \left[\begin{matrix} ROH \\ HHal \end{matrix}\right] \xrightarrow{Hal^-} \left[\begin{matrix} \overset{\delta-}{Hal} \ldots R \ldots \overset{\delta+}{O}H \\ \vdots \\ H \ldots \overset{\delta-}{Hal} \end{matrix}\right] \rightarrow RHal + H_2O + \overset{\delta-}{Hal}$$

В связи с важностью поддержания кислотности среды в этих реакциях в качестве гидрогалогенирующих реагентов можно использовать комбинации соль — кислота, например:

$$KBr + H_2SO_4.$$

К таким реакциям относится, например, реакция между этанолом и бромоводородом:

$$CH_3 - CH_2 - OH + HBr \rightarrow \underset{\text{бромэтан}}{CH_3 - CH_2Br} + H_2O$$

б) Взаимодействие галогенангидридов кислот (PCl_3, PBr_3, PCl_5, $SOCl_2$, PI_3 *и др.*) *со спиртами:*

Например:

$$\underset{\text{этанол}}{CH_3 - CH_2 - OH} + \underset{\text{пентахлорид фосфора}}{PCl_5} \rightarrow \underset{\text{хлорэтан}}{CH_3 - CH_2Cl} + \underset{\text{окситрихлорид фосфора (V)}}{POCl_3} + HCl$$

$$\underset{\text{пропанол 1}}{CH_3-CH_2-CH_2-OH} + \underset{\text{окситрихлорид фосфора (V)}}{POCl_3} \rightarrow \underset{\text{1-хлорпропан}}{CH_3-CH_2-CH_2Cl} + \underset{\text{оксихлорид фосфора (III)}}{POCl} + HCl$$

$$\underset{\text{этанол}}{CH_3-CH_2-OH} + \underset{\text{сульфохлорид}}{SOCl_2} \rightarrow CH_3-CH_2Cl + SO_2\uparrow + HCl$$

4. *Замещение галогена на галоген*

Замещение более легкого галогена в галогенуглеводороде более тяжелым:

$$RCl + KBr \rightarrow RBr + KCl$$

обеспечивается проведением реакции при умеренных температурах и избытке галогенирующего реагента в неполярных растворителях.

Замещение более тяжелого галогена более легким:

$$RI + KCl \rightarrow RCl + KI$$

обеспечивается проведением реакции при повышенных температурах и избытке галогенирующего реагента в высокополярной среде в присутствии катализатров — кислот Льюиса, например, Cu^+, Ag^+ и пр. Например, взаимодействие йодэтана с хлоридом калия:

$$C_2H_5I + KCl \rightarrow C_2H_5Cl + KI$$

Применение галогеналканов . Галогенопроизводные широко используются в органическом синтезе, некоторые нашли применение в медицине. Введение галогена в алифатический углеводород оказывает сильное влияние на физиологическую активность соединения.

Галогеналканы находят широкое применение в индустрии, все началось с открытия ДДТ (дихлор-дифенил-трихлорэтан) — дешевого инсектицида. Тетрахлорметан используется для приготовления фреонов — охлаждающих жидкостей. Галогеналканы винилиденхлорид и винилхлорид используются для создания поливинилхлорида (ПВХ). Дихлорэтан добавляют в бензин, чтобы оксиды ртути не оседали в цилиндрах. Бромметил — фумигант. Бромхлорметаном и бромфторметаном наполняют огнетушители. Также галогеналканом является тефлон. Наконец, в хирургии, в качестве анестезии.

• Этилхлорид (CH_3CH_2Cl) — газ, легко сжижающийся в бесцветную жидкость; применяется как местно-анестезирующее средство (быстро испаряется, вызывает сильное охлаждение) для ингаляционного наркоза.

• Хлороформ ($CHCl_3$) относительно нетоксичен, используется для общего наркоза. Но при чрезмерной дозе хлороформа при наркозе может наступить первичная остановка дыхания вследствие паралича дыхательного центра. Самые опасные осложнения во время наркоза наблюдались со стороны сердечной деятельности — вплоть до внезапной остановки сердца.

• Йодоформ (CHI_3) — антисептическое средство. Используется наружно в виде присыпок и мазей.

• Фторотан (CF_3—CHBr(Cl) — одно из эффективных средств для общего наркоза, мощное наркотическое средство.

• Производное алканов — трихлорэтилен ($ClCH=CCl_2$) — при необходимости кратковременного наркоза.

• Тетрафторэтилен ($F_2C=CF_2$) — при полимеризации — тефлон — изделия медицинской техники. Перфторуглероды обладают способностью растворять и переносить кислород по кровеносному руслу, что очень ценно при больших кровопотерях (перфторан — "голубая кровь").

В связи с внедрением в медицину новых средств и методов общего обезболивания в 1985 г. препарат хлороформ для наркоза был исключен из номенклатуры лекарственных средств.

Влияние галогеналканов. Хлорфторуглероды (ХФУ) ($CFCl_3$, CF_3Cl и др), применяемые в хладагентах и аэрозолях, рано или поздно за счет движения воздуха попадают в стратосферу. Там, на высоте 20—25 км, где содержание озона максимальное, фреоны распадаются под действием солнечного ультрафиолета с образованием свободного радикала хлора. Последний усиливает процесс естественного разрушения озона. Каждый атом хлора способен уничтожить 100 000 молекул озона! Это при том, что некоторые фреоны-долгожители, попадая в атмосферу, могут существовать в ней 70—100 лет. В настоящее время не раз предпринимались попытки ограничить выброс ХФУ в атмосферу, и тем не менее сейчас во всем мире ежегодно производится около миллиона тонн газообразных веществ, способных разрушить озоновый слой.

Самым большим отрицательным эффектом обладают так называемые *фреоны — хлорфторуглероды* (рис. 128). Они обычно использовались в домашних холодильниках. Это бесцветный, нерастворимый в воде и негорючий газ с запахом, похожим на запах эфира. Фреоны также использовали в установках для кондиционирования воздуха. Но удивительно следующее: по "шкале вредности", составленной для всех применяемых хладагентов, фреоны занимают последние места. Они даже безвреднее "сухого льда" — твердого диоксида углерода. Фреоны исключительно устойчивы, химически инертны. Тем не менее ученые Ш. Роуланд (США), М. Молина (США), П. Крутцен (ФРГ) в 1974 г. именно фреоны объявили главной причиной образования *"озоновых дыр"* и угрожающей всей планете опасности. Они сделали открытие в области химии атмосферы, доказав, что фреоны, выполнив свою рабочую функцию, попадают в верхнюю часть атмосферы, где под действием света разрушаются с образованием свободных атомов хлора, а затем

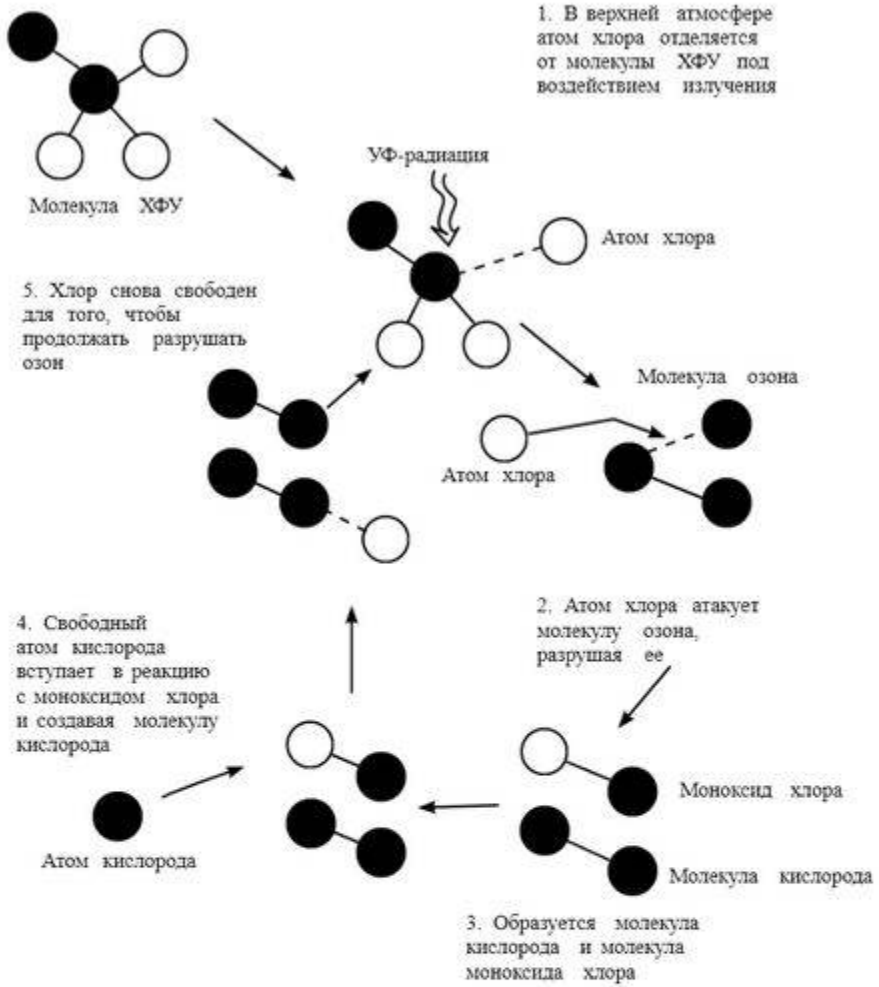


Рис. 128. Действие хлорфторуглеводородов на озоновый слой

один атом хлора может разрушить не менее 10 000 молекул озона! В 1995 г. за это открытие ученые были удостоены Нобелевской премии по химии. В 1987 г. в соответствии с Программой ООН по окружающей среде (ЮНЕП) вступил в действие "Монреальский протокол по веществам, разрушающим озоновый слой", предусматривающий постепенное сокращение производства и потребления ряда хлорфторуглеродов. К 2001 году более 60 стран мира подписали этот протокол.

Галогеналканы можно получить при взаимодействии алканов и галогенов реакцией радикального замещения. Также можно получить галогеналканы присоединением галогеноводородов к алкенам и алкинам. Возможно получение галогеналканов замещением более

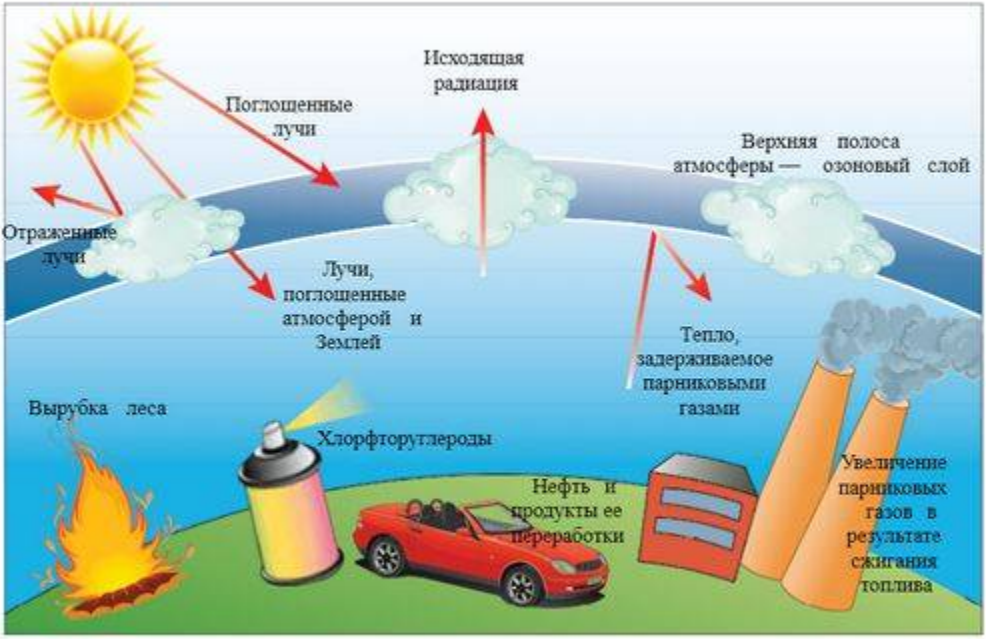


Рис. 129. Влияние фреонов на озоновый слой

реакционным галогеном менее реакционного. Галогеналканы имеют важное практическое применение в промышленности и медицине, но также могут иметь и очень отрицательное влияние, особенно фреоны (рис. 129).

1. Напишите структурные формулы следующих соединений:
а) метилбромида; б) изопропилбромида;
б) фтор-бутилхлорида; в) 2-бромо-2-метилпропана.

2. Напишите структурные формулы всех изомеров состава C_4H_9Cl и назовите их.

3. Напишите уравнения реакций: а) метан →хлорметан →дихлорметан →трихлорметан (хлороформ)→ тетрахлорметан; б) этилен →этанол →хлорэтан →этанол →диэтиловый эфир. Укажите условия реакций.

4. Напишите уравнения реакций;
а) метана с хлором; б) этана с бромом;
в) этина с хлороводородом; г) этанола с хлороводородом;
д) пропаналя и PCl_5; е) этаналя с PCl_5.
Назовите продукты реакций.

5. Предложите способ получения:
а) 2-хлоропропана из пропанола-2; б) бромметана из метанола;
в) 2-бромопропана из пропанола-1; г) дихлорэтана из этанола;

6. Наиболее распространены следующие соединения-фреоны:

Название вещества	Температура кипения	Название фреона
1	2	3
трихлорфторметан	23,8°С	Фреон R-11
дифтордихлорметан	29,8°С	Фреон R-12

Продолжение

1	2	3
трифторхлорметан	81,5°C	Фреон R-13
тетрафторметан	128°C	Фреон R-14
дифторхлорметан	40,8°C	Фреон R-22
хлорофторокарбонат	51,4°C	Фреон R-410A

Постройте структурные формулы данных веществ. Предположите, какое из этих веществ оказывает наиболее разрушающее действие на озоновый слой Земли и почему.

§84. РЕАКЦИИ НУКЛЕОФИЛЬНОГО ЗАМЕЩЕНИЯ ГАЛОГЕНАЛКАНОВ

Сегодня на уроке:

- поймем механизм реакций нуклеофильного замещения галогеналканов.

Ключевые понятия

- нуклеофильные реагенты
- нуклеофильное замещение
- субстрат
- активированный комплекс
- карбкатион

Органические реакции протекают с разрывом химических связей, которые могут идти разными путями.

Гомолитический разрыв связи, при котором образуются частицы, одинаковые по электронному строению:

$$A \overset{\cdot}{\underset{\cdot}{|}} B \rightarrow A^{\cdot} + {}^{\cdot}B'$$

Частицы с одним или более неспаренными электронами называются *свободными радикалами* .

Гетеролитический разрыв связи , при котором образуются частицы, разные по электронному строению:

$$A \vdots B \rightarrow A^{+} + B^{-}$$

Частица A^{+} называется *электрофил* (El) — это частицы с недостатком электронной плотности. Примерами электрофилов являются такие частицы: H^{+}, SO_3^{+}, NO_2^{+}, CH_3^{+} (карбкатион). Знак "+" означает свободную орбиталь, на которую электрофил может принимать электронную пару от нуклеофила. Частица B^{-} называется *нуклеофил* (Nu) — это частицы с избытком электронной плотности.

Примерами нуклеофилов являются такие частицы: H^{-}, OH^{-}, Cl^{-}, RO^{-}, $RCOO^{-}$, C^{-} (карбанион).

Частицы, которые мы рассмотрели, — это свободные радикалы, электрофилы, нуклеофилы, которые имеют простое строение и называются *реагентами* . Они взаимодействуют или атакуют более сложные молекулы, которые называются *субстратами* (рис. 130).

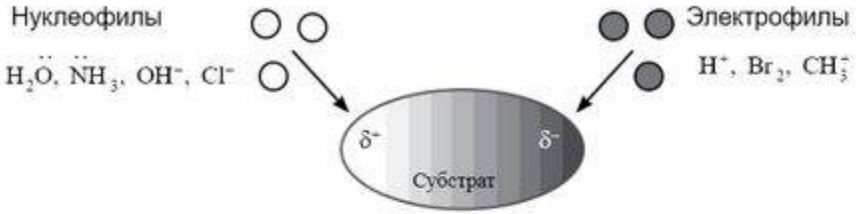


Рис. 130. Схема взаимодействия реагентов с субстратами

Галогенопроизводные углеводородов являются одним из наиболее реакционноспособных классов органических соединений. Наиболее характерны для этого класса соединений реакции нуклеофильного замещения (S_N) и отщепления (элиминирования, E). Высокая реакционная способность галогенопроизводных в этих реакциях обусловлена строением их молекул. Так, в молекуле CH_3Cl ковалентная связь между атомом углерода и галогеном поляризована из-за большой электроотрицательности атома хлора, поэтому электронная плотность у атома углерода понижается.

У углерода появляется дефицит электронной плотности δ^+, а у галогена — избыток электронной плотности δ^- (рис. 131).

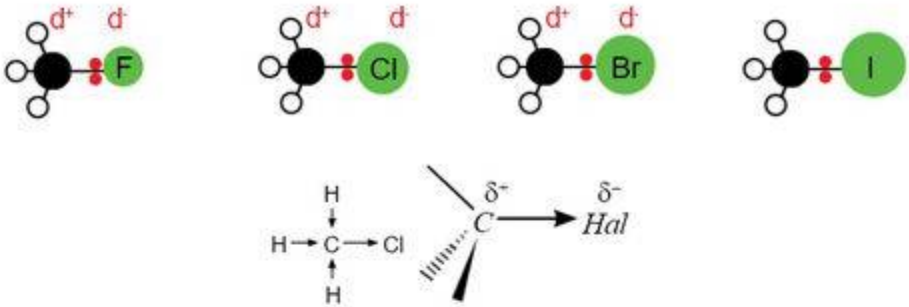
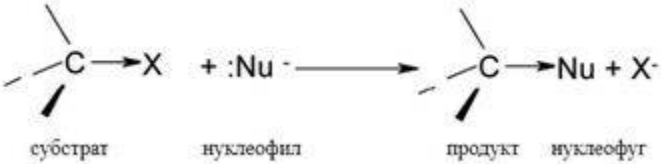


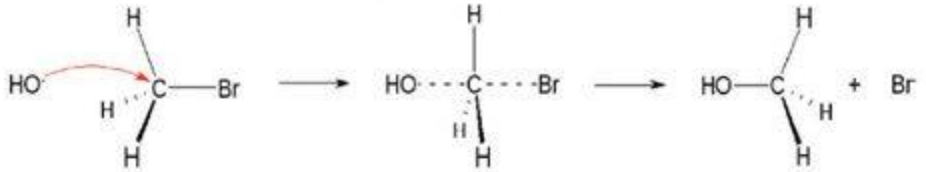
Рис. 131. Смещение электронной плотности в молекулах галогенметанов

Вследствие этого углеродный атом легко атакуется молекулами или ионами, представляющими свою электронную пару (нуклеофильный реагент) для образования новой связи.

Электроны разрывающейся связи уходят вместе с освобождающимся ионом:



В случае вторичных и первичных алкилгалогенидов, как правило, реакция идет как **бимолекулярное нуклеофильное замещение** S_{N2}:



S_{N_2} реакции являются синхронными процессами — **нуклеофил** (в данном случае OH^-) атакует атом углерода, постепенно образуя с ним связь; одновременно с этим постепенно разрывается связь C-Br. Уходящий из молекулы субстрата бромид-ион называется **уходящей группой,** или **нуклеофугом** .

$$H_3\overset{\delta+}{C} \rightarrow \overset{\delta-}{Cl} + Na^+ \boxed{OH^-} \rightarrow H_3C - OH + Na^+Cl^-$$

полярная связь

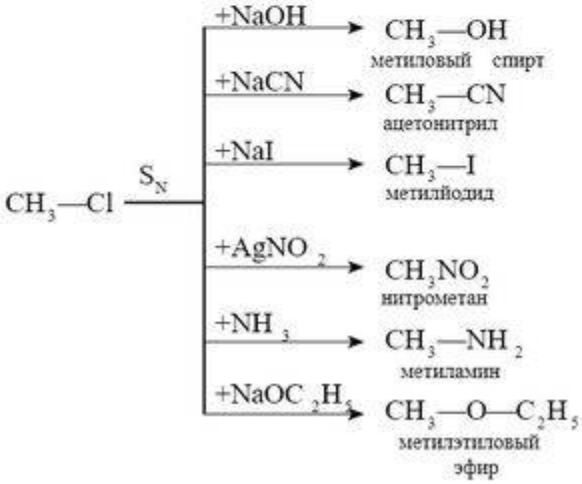
или

$$H_3\overset{\delta+}{C} : \overset{\delta-}{\underset{..}{Cl}}: + :\overset{..}{\underset{..}{O}}H \rightarrow H_3C - \overset{..}{\underset{..}{O}}H + :\overset{..}{\underset{..}{Cl}}:^-$$

$$CH_3 - Cl + KOH_{(водн.)} \rightarrow CH_3 - OH + KCl$$

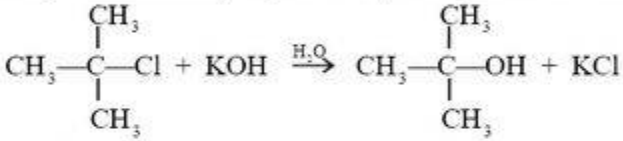
♦ По предложению английского химика К. Ингольда описанный механизм реакции получил обозначение S_{N2}. Буква S указывает на замещение, N — нуклеофильный тип реакции, а цифра 2 обозначает, что реакция является бимолекулярной, т. е. в процессе участвуют два реагента (галогеналкан и нуклеофил).

Приведем несколько примеров таких реакций, которые происходят по механизму **нуклеофильного замещения:**



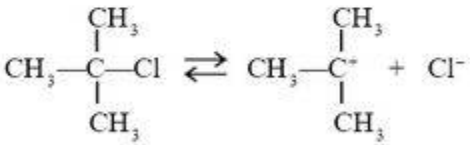
Из этих примеров видно, что *реакции нуклеофильного замещения позволяют перейти от галогеналкинов ко многим классам органических соединений.*

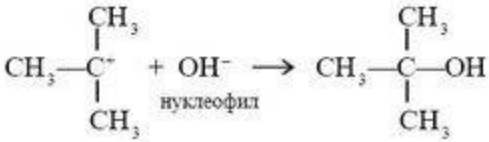
В случае третичных алкилгалогенидов нуклеофильное замещение идет по механизму **мономолекулярного нуклеофильного замещения S_{N1}**:



трет-бут илхлорид трет-бу танол

Механизм этой реакции идет в две стадии:





карбкатион продукт

В случае S_{N1} реакций скорость реакции зависит от концентрации субстрата и не зависит от концентрации нуклеофила.

Галогенопроизводные углеводородов являются одним из наиболее реакционно-способных классов органических соединений. Наиболее характерны для этого класса соединений реакции нуклеофильного замещения (S_N) и отщепления (элиминирования, Е). Высокая реакционная способность галогенопроизводных в этих реакциях обусловлена строением их молекул. *Реакции нуклеофильного замещения позволяют перейти от галогеналкилов ко многим классам органических соединений.* В результате реакций элиминирования в случае алкилгалогенидов образуется алкены.

1. Чем отличается гомолитический разрыв связи от гетеролитического разрыва связи?
2. Что такое *электрофил*? Приведите примеры.
3. Что такое *нуклеофил*? Приведите примеры нуклеофильных частиц.
4. Что такое *субстрат*?
5. В чем заключается значение нуклеофильного замещения галогеналкинов?

6. Почему для галогенпроизводных алканов характерны реакции нуклеофильного замещения?
7. Чем отличаются реакции S_{N1} и S_{N2}?

§ 85. РЕАКЦИИ ЭЛИМИНИРОВАНИЯ ГАЛОГЕНАЛКАНОВ

Сегодня на уроке:

- познакомимся с механизмом реакции элиминирования (дегидрогалогенирования).

Ключевые понятия

- галогеналканы
- элиминирование
- субстрат
- мономолекулярное элиминирование
- бимолекулярное элиминирование

Для галогеналканов характерны еще реакции элиминирования (отщепления). В результате реакции от молекулы субстрата отщепляются атомы водорода и галогена, такие реакции называются *дегидрогалогенированием*, продуктом реакции являются алкены.

Реакции элиминирования (E) и нуклеофильного замещения (SN) конкурируют друг с другом, но в определенных условиях каждая из них может стать доминирующей. Отщепление галогеноводорода от галогеналкана становится основным процессом в присутствии нуклеофильных реагентов (спиртовые растворы гидроксидов щелочных металлов или алкоголяты щелочных металлов), обладающих высокой основностью. Так, при взаимодействии йодэтана с водным раствором щелочи основным направлением реакции является нуклеофильное замещение, а продуктом реакции — этиловый спирт. При использовании спиртового раствора щелочи доминирующим процессом становится реакция элиминирования, продуктом реакции является этилен.

Для предсказания преобладающего продукта реакции дегидрогалогенирования руководствуются правилом Зайцева (1875):

В большинстве реакций дегидрогалогенирования атом водорода отщепляется преимущественно от соседнего наименее гидрогенезированного атома углерода.

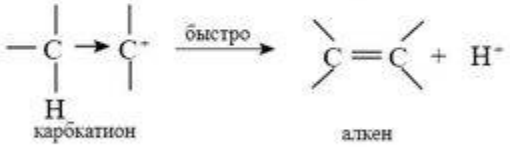
Реакции элиминирования галогеналканов могут протекать по мономолекулярному (E_1) и бимолекулярному (E_2) механизмам.

Механизм E_1 (мономолекулярное элиминирование).

Наиболее легко происходит элиминирование по данному механизму у третичных галогеналканов. Реакция не требует основания как реагента, но для ее протекания необходим ионизирующий растворитель. Процесс является двустадийным:

Стадия 1

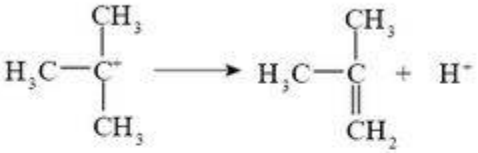
Стадия 2



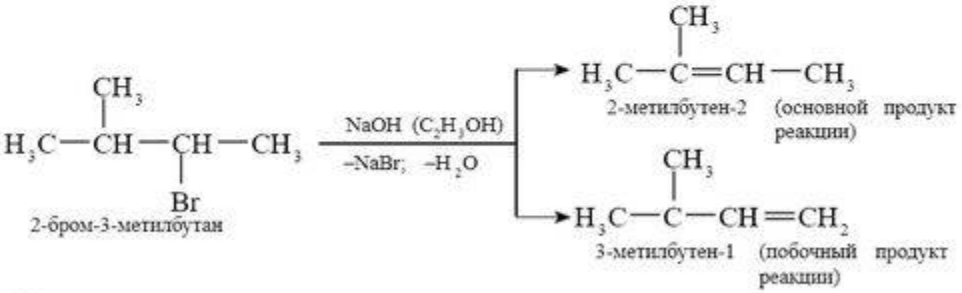
Стадией, определяющей скорость реакции, является образование карбкатиона. Вторая стадия включает в себя стабилизацию карбкатиона путем отщепления протона.

Пример образования карбкатиона, т. е. отсоединения уходящей группы:

Далее во II стадии протекает отщепление протона и образование продукта элиминирования:

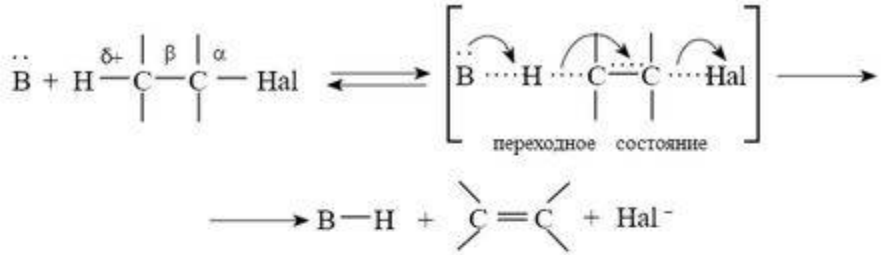


Если в молекуле галогеналкана имеется несколько альтернативных путей отщепления галогеноводорода, то вместе с галогеном уходит водород от наименее гидрогенизированного соседнего атома углерода.



Механизм E_2 (бимолекулярное элиминирование).

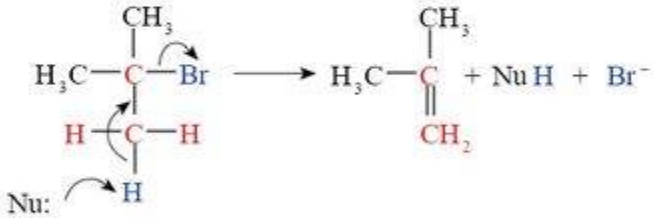
В реакции отщепления по механизму E2 наиболее легко вступают первичные галогеналканы.



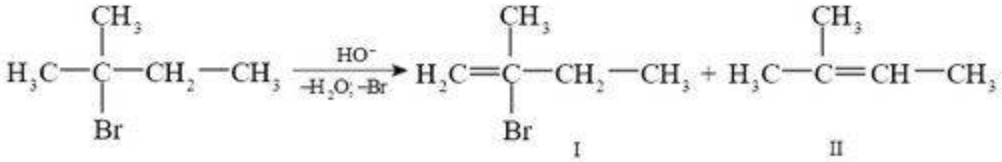
Реакция отщепления, протекающая по бимолекулярному механизму, требует присутствия основания, идет в одну стадию с образованием переходного состояния, в формировании которого принимают участие молекулы двух реагентов. Следовательно, скорость такой реакции зависит от концентрации обоих реагентов. Процессы разрыва и образования связей в переходном состоянии происходят синхронно.

В отличие от механизма S_{N2} в механизме E_2 частица с неподелённой парой электронов или несущая отрицательный заряд действует не как нуклеофил, а как основание, атакуя атом водорода при β-углеродном атоме.

Механизм реакции общих этапов с реакцией S_{N2} не имеет. Обычно протекает транс-элиминирование по схеме:



В случае алкилгалогенидов с различными алкильными остатками существует возможность образования двух алкенов:



Для большинства реакций отщепления типа E2 характерно образование алкена типа II.

Для галогеналканов кроме нуклеофильного замещения характерны еще **реакции элиминирования** (отщепление атомов водорода и галогена). Реакция идет по правилу Зайцева. В результате реакции образуются алкены.

1. Что такое *реакции элиминирования*?
2. В каких конкурирующих случаях доминирующим процессом является реакция элиминирования (Е)?
3. Сформилируйте правило Зайцева. Приведите примеры.
4. Чем отличается мономолекулярное элиминирование от бимолекулярного элиминирования?
5. От каких факторов зависит скорость реакции элиминирования?

Глава XV

СПИРТЫ ОДНОАТОМНЫЕ, МНОГОАТОМНЫЕ

§ 86. КЛАССИФИКАЦИЯ И ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПИРТОВ

Сегодня на уроке:

- изучим классификацию и химические свойства спиртов.

Ключевые понятия

- спирты
- функциональная группа
- одноатомные
- многоатомные
- первичные
- вторичные
- третичные

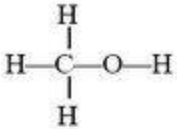
До сих пор мы изучали органические вещества, образованные двумя элементами — углеродом и водородом. Известно много веществ, в состав которых наряду с этими элементами входит кислород.

В кислородсодержащих органических соединениях функциональные группы содержат кислород. *Функциональными группами называют группы атомов, которые обуславливают характерные химические свойства данного класса веществ*. Гидроксильная группа (–OH) является функциональной группой спиртов и фенолов. Из них рассмотрим прежде всего класс спиртов. **Спиртами называют производные углеводородов, в молекулах которых один или несколько атомов водорода замещены гидроксильными группами.**

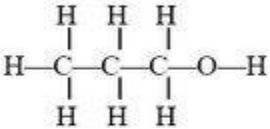
По количеству гидроксильных групп в молекуле все спирты делятся на *одноатомные* и *многоатомные*. По типу углеводордного радикала спирты можно разделить на: *предельные*, *непредельные* и *ароматические*. Соединения, имеющие общую формулу $C_nH_{2n+1}OH$, или ROH, называются *предельными одноатомными спиртами*. R — углеводородный радикал.

Спирты образуют гомологический ряд, в котором каждый последующий член отличается от предыдущего на гомологическую разность CH_2^-. Чтобы подчеркнуть, что в молекуле спирта содержится гидроксильная группа (гидроксогруппа) –OH, соединенная с углеродным радикалом, молекулярную формулу этилового спирта пишут так: $CH_3—CH_2—OH$ или C_2H_5OH.

Гомологический ряд спиртов. Этиловый спирт — один из членов гомологического ряда. Другие спирты ряда имеют аналогичное химическое и электронное строение. Первый член ряда здесь метиловый спирт:



Ближайший следующий гомолог этилового спирта — пропиловый спирт:



Сведения о гомологическом ряде спиртов представлены в таблице 59.

Таблица 59

Важнейшие одноатомные предельные спирты

Химическая формула	Сокращенная структурная формула	Название
CH_3OH	$CH_3—OH$	Метанол, или метиловый спирт
C_2H_5OH	$C_2H_5—OH$	Этанол, или этиловый спирт
C_3H_7OH	$C_3H_7—OH$	Пропанол-1, или пропиловый спирт
C_3H_7OH	$H_3\overset{1}{C}—\underset{\underset{OH}{\vert}}{\overset{2}{C}H}—\overset{3}{C}H_3$	пропанол-2, или изопропиловый спирт
C_4H_9OH	$\overset{4}{C}H_3—\overset{3}{C}H_2—\overset{2}{C}H_2—\overset{1}{C}H_2—OH$	Бутанол-1, или первичный бутиловый спирт
C_4H_9OH	$\overset{4}{C}H_3—\overset{3}{C}H_2—\underset{\underset{OH}{\vert}}{\overset{2}{C}H}—\overset{1}{C}H_3$	Бутанол-2, или вторичный бутиловый спирт
C_4H_9OH	$\overset{3}{C}H_3—\underset{\underset{CH_3}{\vert}}{\overset{2}{C}H}—\overset{1}{C}H_2—OH$	2-метилпропанол-1, или изобутиловый спирт
C_4H_9OH	$\overset{1}{C}H_3—\underset{\underset{OH}{\vert}}{\overset{2}{C}(CH_3)}—\overset{3}{C}H_3$	2-метилпропанол-2, или третичный бутиловый спирт
$C_5H_{11}OH$	$\overset{5}{C}H_3—\overset{4}{C}H_2—\overset{3}{C}H_2—\overset{2}{C}H_2—\overset{1}{C}H_2—OH$	Пентанол-1, или первичный амиловый спирт

В гомологическом ряду спиртов имеют место два вида изомерии: изомерия углеродного скелета и изомерия положения гидроксильной группы. Рассмотрим ее на примере бутиловых спиртов.

В зависимости от строения углеродного скелета изомерами будут два спирта – производные бутана и изобутана:

$\overset{4}{C}H_3—\overset{3}{C}H_2—\overset{2}{C}H_2—\overset{1}{C}H_2—OH$	$CH_3—\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{\vert}{CH}}—CH_2—OH$
бутанол-1, или н-бутиловый спирт	2-метилпропанол-1, или изобутиловый спирт.

В зависимости от положения гидроксильной группы при том или ином углеродном скелете возможны еще два изомерных спирта:

$\overset{1}{C}H_3—\underset{\displaystyle OH}{\underset{\vert}{\overset{2}{C}H}}—\overset{3}{C}H_2—\overset{4}{C}H_3$	$\overset{1}{C}H_3—\overset{2}{\underset{\displaystyle OH}{\underset{\vert}{\overset{\displaystyle CH_3}{\overset{\vert}{C}}}}}—\overset{3}{C}H_3$
бутанол-2	2-метилпропанол-2

Нумерацию углеродных атомов начинают с того конца, к которому ближе функциональная группа (табл. 58).

В зависимости от того, при каком углеродном атоме стоит гидроксильная группа, различают *первичные, вторичные* и *третичные* спирты.

Физические свойства. Спирты, содержащие в молекуле до 12 углеродных атомов, являются жидкостями, более 12 — твердыми веществами. Все они легче воды.

Низшие спирты, до пропилового C_3H_7OH включительно, смешиваются с водой в любых соотношениях. С повышением молекулярной массы растворимость спиртов в воде уменьшается. Спирты имеют высокую по сравнению с алканами или галогеналканами (при равных молярных массах) температуру кипения. Причина этого — ассоциация молекул спирта из-за образования между ними водородной связи.

Водородная связь может возникнуть как между молекулами спирта, так и между молекулами спирта и воды (рис. 132).

Рис. 132. Образование водородных связей между: *а*) молекулами спирта; *б*) молекулами спирта и воды

Метанол, этанол и пропанол имеют специфический алкогольный запах, у следующих за ними гомологов сильный запах, у некоторых — неприятный. Высшие спирты запаха не имеют.

Метанол (метиловый спирт) CH_3OH очень ядовит! Уже небольшая его доза может вызвать слепоту или оказаться смертельной.

Рис. 133. Модель молекулы этанола

Химические свойства.

1. Кислотные свойства спиртов выражены слабо. Водные растворы спиртов на индикаторы не действуют.

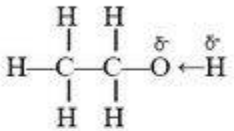
2. Атом водорода гидроксильной группы спирта обладает некоторой подвижностью и способен вступать в реакции замещения. Так, в результате взаимодействия спиртов со щелочными металлами образуются алкоголяты и выделяется водород:

$$2C_2H_5OH + 2Na \rightarrow \underbrace{2C_2H_5ONa}_{\text{этилат натрия}} + H_2\uparrow$$

Возникает вопрос, почему же в молекуле спирта атом водорода, соединенный с углеродным радикалом через атом кислорода, обладает особыми свойствами (подвижностью) (рис. 133).

Рассмотрим электронную формулу соединения.

Характер связей C—C, C—H и O—H нам уже хорошо известен — это σ-ковалентные связи. Однако связь O—H ковалентная полярная, наибольшая электронная плотность ее смещена к атому кислорода как элементу более электроотрицательному. Атом водорода оказывается как бы более свободным от электронов, менее связанным с молекулой и поэтому может сравнительно легко вытесняться натрием. Смещение электронной плотности в молекуле можно показать так:



3. В присутствии концентрированной серной кислоты спирты реагируют с галогеноводородными кислотами, вследствие чего образуются галогенопроизводные углеводородов:

$$H_3C{-}CH_2OH + HCl \xrightarrow{H_2SO_4(\text{конц.})} \underbrace{C_2H_5Cl}_{\text{хлорэтан}} + H_2O$$

4. В присутствии водоотнимающих веществ и при повышенной температуре спирты подвергаются реакции дегидратации, в результате реакции образуется соответствующий алкен:

$$CH_3—CH_2—OH \xrightarrow{t^\circ > 140^\circ C,\ H_2SO_4(конц.)} \underbrace{H_2C = CH_2}_{\text{этилен}}\uparrow + H_2O$$

При избытке спирта и более низкой температуре получаются простые эфиры:

$$C_2H_5OH + HOC_2H_5 \xrightarrow{t^\circ < 140^\circ C,\ H_2SO_4(конц.)} \underset{\text{диэтиловый эфир}}{C_2H_5OC_2H_5} + H_2O$$

5. Спирты, как и многие органические соединения, подвергаются окислению. При окислении первичных спиртов происходит образование альдегидов. Если, например, в этанол опустить прокаленную медную спираль, покрытую оксидом меди (II), то спираль становится блестящей, появляется специфический неприятный запах ацетальдегида:

$$C_2H_5OH + CuO \xrightarrow{t^\circ} \underset{\text{ацетальдегид}}{CH_3—C\begin{matrix}\diagup O \\ \diagdown H\end{matrix}} + Cu + H_2O$$

6. Как и большинство органических соединений, спирты сгорают в кислороде с образованием большого количества тепла. Чем больше молекулярная масса спирта, тем хуже он горит. При сгорании спиртов образуются углекислый газ и вода. Так, при сжигании этанола протекает следующая реакция:

$$C_2H_5OH + 3O_2 \rightarrow 2CO_2 + 3H_2O$$

7. При реакции спиртов с карбоновыми кислотами происходит образование сложных эфиров:

$$CH_3—C\begin{matrix}\diagup O \\ \diagdown \boxed{OH}\end{matrix} + \boxed{H}—O—CH_2—CH_3 \xrightarrow{t^\circ,\ H_2SO_4} \underset{\text{этиловый эфир уксусной кислоты}}{CH_3—C\begin{matrix}\diagup O \\ \diagdown O—CH_2—CH_3\end{matrix}} + H_2O$$

Эта реакция получила название реакции *этерификации* .

8. Спирты можно подвергать реакциям дегидрирования и дегидратации.

$$2H_3C—CH_2—OH \xrightarrow{425^\circ C,\ Al_2O_3,\ ZnO} \underset{\text{бутадиен-1,3}}{H_2C = CH—CH = CH_2} + 2H_2O + H_2\uparrow$$

Спиртами называют производные углеводородов, в молекулах которых один или несколько атомов водорода замещены гидроксильными группами. По количеству гидроксильных групп в молекуле все спирты делятся на *одноатомные* и *многоатомные* .

В зависимости от того, при каком углеродном атоме стоит гидроксильная группа, различают *первичные* , *вторичные* и *третичные* спирты. В гомологическом ряду спиртов имеют место два вида изомерии: изомерия углеродного скелета и изомерия положения гидроксильной группы. Кислотные свойства спиртов выражены слабо. Водные растворы спиртов на индикаторы не действуют. Атом водорода гидроксильной группы спирта обладает некоторой подвижностью и способен вступать в реакции замещения. Как и большинство органических соединений, спирты сгорают в кислороде с образованием большого количества тепла.

1. Составьте структурные формулы всех изомерных спиртов, отвечающих формуле $C_5H_{11}OH$. Назовите их.
2. Составьте структурные формулы следующих спиртов: а) 2-метилбутанол-1, б) 3,3-диметилпентанол-2.
3. Составьте структурные формулы трех изомеров спирта $C_6H_{13}OH$.
4. Какие спирты называют *первичными*, *вторичными* и *третичными*?
5. Один из атомов водорода в молекулах одноатомных спиртов является более подвижным. Поясните почему.
6. Приведите уравнения реакций, характеризующие способность спиртов реагировать с металлами Na, Mg, Al и с кислотами HBr, H_2SO_4, HCOOH.
7. Составьте уравнения реакций с бромоводородом для следующих спиртов:
   а) 3-метилбутанол-1
   б) 3-метилгексанол 3.
8. Составьте уравнения реакций, при помощи которых можно осуществить следующие превращения:
   а) $CH_4 \rightarrow C_2H_6 \rightarrow C_2H_5Br \rightarrow C_2H_5OH \rightarrow C_2H_4 \rightarrow C_2H_6$
   б) $C_2H_5OH \rightarrow CH_2 = CH - CH = CH_2 \rightarrow C_4H_8 \rightarrow C_4H_{10}$

- **1.** Какой объем (н. у.) займет водород, полученный действием 2,5 г натрия на раствор 23 г этилового спирта в бензоле? *Ответ*: 1,2 *л*.
- **2.** Какой одноатомный спирт был взят, если при взаимодействии 16 мл спирта (ρ=0,8 г/мл) с натрием выделился водород в количестве, достаточном для гидрирования 4,48 л этилена. *Ответ*: CH_3OH.
- **3.** При сгорании 4,6 г органического вещества образовалось 0,2 моль оксида углерода (IV) и 0,3 моль воды. Определите химическую формулу этого вещества, если известно, что относительная плотность его паров по воздуху равна 1,59.
  1) C_2H_6O; 2) C_3H_8; 3) C_3H_7O; 4) C_2H_6.
- **4.** Дегидратацией предельного одноатомного спирта получили алкен симметричного строения с неразветвленной цепью массой 8,4 г, который взаимодействует с бромом массой 24 г. Определите структурную формулу исходного спирта. *Ответ*: бутанол-2.

§ 87. ПРОМЫШЛЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЭТИЛОВОГО СПИРТА

В промышленности этиловый спирт (этанол) получают различными способами. Наиболее старый из них заключается в отгонке спирта из вина, который образуется при брожении сахаристых веществ. Позднее процесс брожения был применен для промышленного получения

спирта из крахмалсодержащих продуктов. По этому способу крахмал или семена злаков превращают сначала в мальтозу, которую затем при помощи дрожжей сбраживают в спирт. Дрожжевые грибки вырабатывают ферменты, которые являются биокатализаторами процесса брожения. В результате образуется этиловый спирт, и выделяется углекислый газ:

$$C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{фермент}} 2C_2H_5OH + 2CO_2\uparrow$$

спирт, полученный эти способом, отличается особой чистотой и применяется в пищевой промышленности и медицине.

Однако производство этилового спирта по этому способу требует большого расхода пищевого сырья.

Сегодня на уроке:

- ознакомимся с промышленным способом получения этилового спирта;
- изучим токсичные действия спиртов на организм человека.

Ключевые понятия

- этиловый спирт
- получение
- применение
- токсичность

Именно поэтому в промышленных масштабах этиловый спирт получают гидролизом целлюлозы:

$$(C_6H_{10}O_5)_n + nH_2O = nC_2H_5OH$$

полученный спирт называется *гидролизным спиртом* .

Наиболее совершенным способом получения спирта является синтетический. Он заключается в каталитической гидратации этилена водяным паром:

$$\underset{\text{этилен}}{H_2C = CH_2} + HOH \xrightarrow[7—8\ \text{МПа},\ H_3PO_4]{280—300°C} \underset{\text{этанол}}{CH_3—CH_2OH} + 46\text{кДж}.$$

Мы уже знаем, что эта реакция обратима. Так как этилен и вода взаимодействуют в газообразном (парообразном) состоянии и реакция в этом направлении идет с уменьшением числа молекул, то смещению равновесия в сторону образования спирта содействует повышение давления. Для того чтобы при этом реакция шла с достаточной скоростью, необходимо воспользоваться катализатором и нагревать вещества. Но т. к. реакция экзотермическая, сильное нагревание вызовет разложение образовавшегося спирта и равновесие смещается в обратном направлении.

Установлено, что оптимальными условиями гидратации этилена являются температура 280—300°C и давление 7—8МПа, катализатором реакции служит фосфорная кислота, нанесенная на силикагель, активированный уголь или асбест.

Контактный аппарат для синтеза этилового спирта представляет собой цилиндрическую полую стальную колонну высотой около 10 м. Изнутри он футерован листовой медью с целью предохранения его от коррозии и заполнен слоем катализатора. Этилен нагревается в тепло-

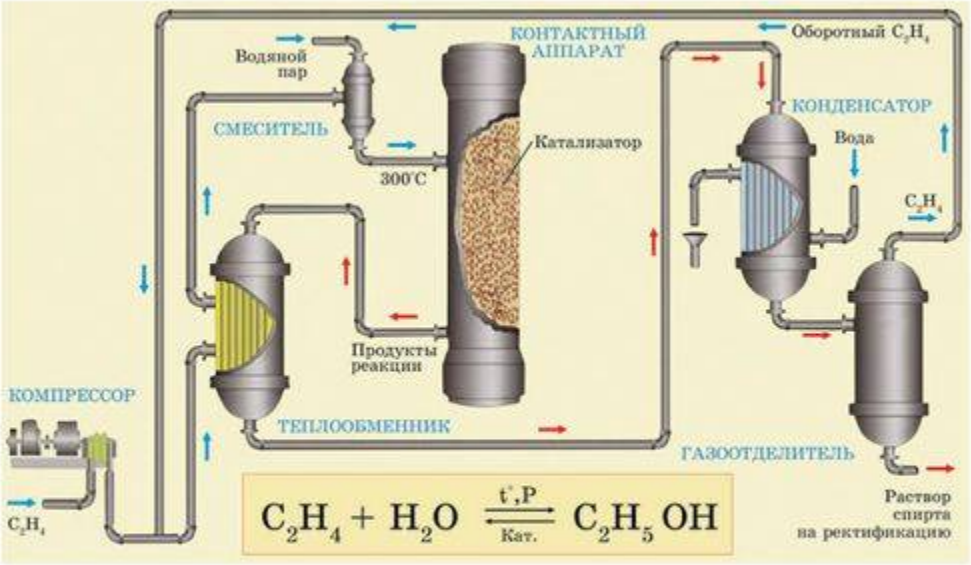


Рис. 134. Получение этанола из этилена

обменнике до необходимой температуры, смешивается с перегретым водяным паром и поступает в верхнюю часть контактного аппарата. Продукты реакции отводятся из нижней части аппарата. В их составе пары этилового спирта, непрореагировавшие вещества и побочные продукты (диэтиловый эфир). Эта реакция осложняется параллельной реакцией образования диэтилового эфира.

Все последующие операции направлены на выделение чистого этилового спирта из этой смеси. Прежде всего продукты реакции обрабатываются щелочью с целью нейтрализации уносимой частично фосфорной кислоты. Затем они поступают в теплообменник, где охлаждаются, отдавая теплоту реакции этилену, поступающему на гидратацию (рис. 134).

Применение. Спирты широко применяются в качестве растворителей в органическом синтезе, при производстве кислот и других органических веществ.

Метиловый спирт используется для производства формальдегида, полимерных материалов, этиловый — для получения синтетического каучука, уксусной кислоты, диэтилового эфира.

Этиловый спирт также применяется в пищевой промышленности — для изготовления алкогольных напитков, в медицине — в качестве дезинфицирующего средства.

Пентиловые спирты применяют при производстве сложных эфиров, необходимых в парфюмерии. Изопентиловый спирт — реагент для определения жирности молочных продуктов.

Этиловый спирт крайне негативно воздействует на организм человека. Повышенное содержание этанола вызывает спазм сосудов и сердечной мышцы, возникает вероятность закупорки сосудов и острой сердечной недостаточности. Спирт быстро воздействует на мозг, замедляет активность нервных клеток, выключается кора головного мозга, человек теряет контроль над собой, утрачивает способность рассуждать.

Знаешь ли ты?

Что этанол — это ядовитое наркотическое вещество! Спиртные напитки вызывают тяжелые заболевания нервной системы. Около 90% этанола временно задерживается в печени, где с помощью ферментов он окисляется в ядовитый для организма уксусный альдегид.

В промышленных масштабах этиловый спирт получают из целлюлозы. Наиболее совершенным способом получения спирта является каталитическая гидратация этилена. Спирты широко применяются в качестве растворителей в органическом синтезе, при производстве кислот и других органических веществ.

1. Напишите уравнения реакций, при помощи которых можно получить : а)метанол из метана; б)бутанол-1 из бутана.
2. Приведите два способа получения этанола, исходя из этена.
3. Назовите оптимальные условия промышленного процесса гидратации этилена и дайте им обоснование.
4. Назовите общие научные принципы химического производства, имеющие место при получении этанола гидратацией этилена.
5. Перечислите области применения спиртов.
6. Этанол может быть получен двумя разными способами: гидратацией этилена и спиртовым брожением глюкозы. Сравните эти два способа получения этанола, результаты представьте в следующей таблице:

Параметры	Гидратация этилена	Спиртовое брожение глюкозы
1. Уравнение реакции		
2. Условия реакции: а) t°C б) катализатор в) длительность		
3. Тепловой эффект		
4. Обратимость		
5. Количество сырья, необходимого для получения 1 л спирта		

§ 88. МНОГОАТОМНЫЕ СПИРТЫ

Сегодня на уроке:

- изучим многоатомные спирты.

Ключевые понятия

- двухатомные спирты
- трехатомные спирты
- строение
- получение
- физические свойства
- химические свойства
- применение

Строение. Многоатомные спирты содержат в молекуле несколько гидроксильных групп, соединенных с углеводородным радикалом.

Формулы многоатомных спиртов, как и одноатомных, можно вывести из формул соответствующих углеводородов, заменяя в них атомы водорода гидроксильными группами. Если в молекуле углеводорода заменены гидроксильными группами два атома водорода, то получится формула двухатомного спирта. Простейшим представителем таких спиртов является этиленгликоль (*этандиол*- 1,2) (рис. 135).

$$\begin{array}{c} CH_3 \\ | \\ CH_3 \end{array} \rightarrow \begin{array}{c} CH_2—OH \\ | \\ CH_2—OH \end{array}$$

Если в молекуле углеводорода заменены гидроксильными группами три атома водорода, то образуется трехатомный спирт. Например, из формулы пропана можно вывести формулу простейшего трехатомного спирта — глицерина (рис. 136):

$$CH_3—CH_2—CH_3 \rightarrow \begin{array}{c} CH_2—CH—CH_2 \\ | \quad\quad | \quad\quad | \\ OH \quad\quad OH \quad\quad OH \end{array}$$

глицерин
(1,2,3-пропантриол)

Известны спирты и бо́льшей атомности. Во всех многоатомных спиртах гидроксильные группы находятся при разных атомах углерода.

По международной номенклатуре названия многоатомных спиртов состоят из названия соответствующего алкана путем добавления суффиксов -диол-, -триол- и т. д., затем через дефис цифрами указывают положение гидроксильных групп в углеродной цепи.

У многоатомных спиртов имеет место изомерия углеродного скелета и изомерия положения гидроксильных групп.

Получение. Нам уже известно, что этиленгликоль образуется при окислении этилена перманганатом калия. Подобно одноатомным спир-

Рис. 135. Модель молекулы этиленгликоля

Рис. 136. Модель молекулы глицерина

там этиленгликоль и глицерин могут быть получены из соответствующих углеводородов через их галогенопроизводные:

$$\begin{array}{l} CH_2{-}Cl \\ | \\ CH_2{-}Cl \end{array} + \begin{array}{c} H_2O \\ H_2O \end{array} \rightarrow \begin{array}{l} CH_2{-}OH \\ | \\ CH_2{-}OH \end{array} + 2HCl$$

Глицерин получают расщеплением растительных и животных жиров, а в настоящее время все больше синтетическим способом из пропилена, образующегося при крекинге нефтепродуктов.

Физические свойства. Этиленгликоль и глицерин — бесцветные сиропообразные жидкости, сладковатого вкуса, хорошо растворимые в воде и этаноле. Этиленгликоль кипит при 197,6°С, а глицерин — при 290°С.

Этиленгликоль — очень ядовитое вещество!

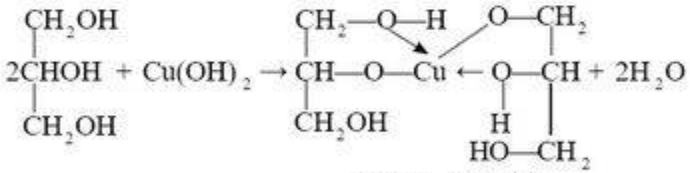
Химические свойства. Как вещества, содержащие гидроксильные группы, многоатомные спирты имеют сходные свойства с одноатомными спиртами. Например, натрий вытесняет из них водород:

$$\begin{array}{l} CH_2OH \\ | \\ CH_2OH \end{array} + 2Na \rightarrow \begin{array}{l} CH_2{-}ONa \\ | \\ CH_2{-}ONa \end{array} + H_2\uparrow$$

При действии галогенопроизводных кислот на спирты происходит замещение гидроксильной группы:

$$CH_2OH{-}CH_2OH + HCl \rightarrow CH_2OH{-}CH_2Cl + H_2O$$

Для многоатомных спиртов характерны и некоторые специфические свойства. Если к свежеприготовленному гидроксиду меди (II) в присутствии щелочи прилить глицерин и смесь встряхнуть, то осадок растворяется и образуется прозрачный раствор глицерата меди ярко-синего цвета:



глицерат меди (II)

Эта качественная реакция многоатомных спиртов. Данная реакция доказывает, что многоатомные спирты обладают слабыми кислотными свойствами.

Увеличение гидроксильных групп в молекулах многоатомных спиртов придает бо́льшую подвижность атомам водорода по сравнению с одноатомными спиртами.

Взаимодействие глицерина с органическими и неорганическими кислотами приводит к образованию сложных эфиров. При взаимодействии глицерина с азотной кислотой образуется нитроглицерин – сложный эфир азотной кислоты и глицерина:

$$\begin{array}{l} CH_2—OH \\ | \\ CH—OH \\ | \\ CH_2—OH \end{array} + \begin{array}{l} HONO_2 \\ HONO_2 \\ HONO_2 \end{array} \xrightarrow{H_2SO_4} \begin{array}{l} CH_2—O—NO_2 \\ | \\ CH—O—NO_2 \\ | \\ CH_2—O—NO_2 \end{array} + 3H_2O$$

Однако название "нитроглицерин" историческое и не соответствует строению молекулы этого вещества.

Применение . Этиленгликоль используют для получения волокон (лавсана) и как антифриз (незамерзающая жидкость), используемый в радиаторах автомобилей.

Знаешь ли ты?

66%-ный водный раствор этиленгликоля замерзает только при 60°С. Добавка глицерина к этиленгликолю удлиняет срок службы водяных насосов автомашин.

Глицерин применяют для получения нитроглицерина и динамита, для приготовления антифризов, в парфюмерной и пищевой промышленности, в медицине для изготовления мазей, смягчающих кожу. В текстильной промышленности — для придания тканям мягкости и эластичности. В медицине 1%-ный раствор и таблетки нитроглицерина служат в качестве средств, расширяющих кровеносные сосуды.

Генетическая связь между спиртами и углеводородами. Выше мы видели, что спирты можно рассматривать как производные углеводородов, содержащие гидроксильные группы.

Непосредственно заменить атом водорода на гидроксильную группу или внедрить атом кислорода в молекулу углеводорода довольно трудно, поэтому процесс осуществляется через галогенопроизводные. Например, чтобы получить этиловый спирт из этана, надо сначало получить бромэтан:

$$C_2H_6 + Br_2 \rightarrow C_2H_5Br + HBr$$

а затем бромэтан превратить в спирт, нагрев воду и используя щелочи:

$$C_2H_5Br + HOH \leftrightarrow C_2H_5OH + HBr$$

Щелочь при этом нужна, чтобы нейтрализовать бромоводород и устранить возможность реакции его со спиртом, т. е. сместить химическое равновесие в сторону образования нужного продукта.

Многоатомные спирты содержат в молекуле несколько гидроксильных групп, соединенных с углеводородным радикалом. По международной номенклатуре название многоатомных спиртов состоят из названия соответствующего алкана путем добавления суффиксов — -диол-, -триол- и т. д., затем через дефис цифрами указывают положение гидроксильных групп в углеродной цепи.

У многоатомных спиртов имеет место изомерия углеродного скелета и изомерия положения гидроксильных групп. Как вещества, содержащие гидроксильные группы, многоатомные спирты имеют сходные свойства с одноатомными спиртами.

Увеличение гидроксильных групп в молекулах многоатомных спиртов придает бо́льшую подвижность атомам водорода по сравнению с одноатомными спиртами.

1. Какие соединения называют *многоатомными спиртами*? Приведите молекулярную, структурную и электронную формулу бутантриола-1,2,4.
2. Охарактеризуйте химические свойства этиленгликоля и глицерина. Напишите уравнения соответствующих реакций и перечислите одинаковые и различные свойства одноатомных и многоатомных спиртов.
3. Для каких целей применяют этиленгликоль и глицерин?
4. Напишите уравнения реакций синтеза спиртов:
   а) этиленгликоля — гидроксилированием этилена с помощью водного раствора $KMnO_4$;
   б) глицерина — гидролизом 1,2,3 трихлорпропана в щелочной среде;
   в) этанола — гидратацией этилена при катализе серной кислотой.

1. Какой объем газа (н. у.) (в л) выделился, если на 3,6 г глицерина подействовали металлическим натрием, взятым в избытке.

   Ответ: 1,3 л.
2. Какую массу этиленгликоля можно получить из 108 м^3 этилена (н. у.), если известно, что массовая доля выхода составляет 0,78 от теоретического?

   Ответ: 233 кг.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

Растворимость спиртов в воде, горение спиртов, качественные реакции на одноатомные и многоатомные спирты

Реактивы: этанол, бутанол-1, раствор фуксина, вода, раствор глицерина, раствор этиленгликоля, 3%-ный раствор сульфата меди (II), 10%-ный раствор гидроксида натрия, лучинка, спички.

Химическая посуда и лабораторное оборудование:

пробирки и штатив для пробирок;

фарфоровые чашки;

лучинка, спички.

Техника безопасности. Требуется соблюдение правил работы с растворами кислот, щелочей и нагревательными приборами.

Ход работы:

Опыт 1. *Растворимость в воде.*

В пробирки налейте по 5 мл этанола и бутанола-1. К спиртам добавьте по 20 мл воды, окрашенной фуксином. Спирты имеют плотность меньше единицы, поэтому они образуют верхний слой. Пробирки взболтайте. При этом можно заметить, что хорошо растворяется этанол, ограниченно растворяется бутанол-1. На основании опыта сделайте соответствующий вывод о растворимости спиртов в воде.

Опыт 2. *Горение.*

В две фарфоровые чашки налейте примерно по 2 мл этанола и бутанола-1, поднесите горящую лучину. Этанол горит голубоватым, слабосветящимся пламенем, бутанол — светящимся пламенем.

На основании опыта сделайте соответствующий вывод.

Опыт 3. *Качественная реакция на многоатомные спирты.*

В пробирку налейте 5 мл раствора глицерина и прибавьте 5—6 капель 3%-ного раствора сульфата меди (II) и избыток 10%-ного раствора гидроксида натрия или калия до появления ярко-синей окраски. На основании опыта сделайте соответствующий вывод.

§ 89. ФЕНОЛЫ

Сегодня на уроке:

- ознакомимся с фенолами.

Ключевые понятия

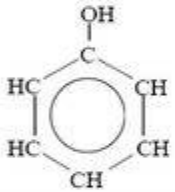
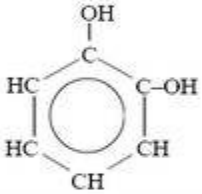
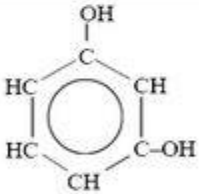
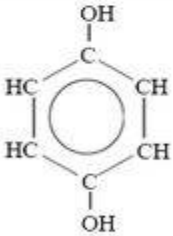
- фенолы
- строение
- изомерия
- получение

Фенолы — производные ароматических углеводородов, в молекулах которых один или несколько атомов водорода бензольного кольца замещены на соответствующее число гидроксильных групп. В этих соединениях гидроксильные группы непосредственно связаны с бензольным ядром.

В зависимости от числа гидроксильных групп в молекуле фенолы бывают одно-, двух-, трехатомные. Простейший одноатомный фенол так и называется — фенол. Формулы других фенолов, их систематическое и тривиальное (в скобках) названия приведены в таблице 60.

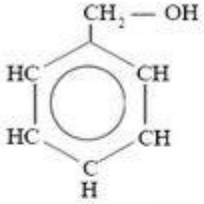
Таблица 60

Формулы фенолов и их названия

	
фенол	1,2- дигидроксибензол (пирокатехин)
	
1,3- дигидроксибензол (резорцин)	1,4- дигидроксибензол (гидрохинон)

Изомерия фенолов связана с изомерией взаимного положения гидроксильных групп в бензольном кольце, изомерией положения других групп в кольце и т. д.

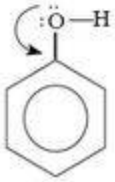
• Производные ароматических углеводородов, содержащие гидроксильные группы в боковой цепи, относят к ароматическим спиртам. Например:



бензиловый спирт $C_6H_5CH_2OH$

Ароматические спирты по своим химическим свойствам сходны с одноатомными предельными спиртами.

Строение. В состав молекулы фенола входит ароматический радикал фенил – O — H, который влияет на гидроксильную группу, ослабляя с ней связь атома водорода с кислородом. Вследствие чего электронная плотность связи O — H в большей степени смещается от водорода к кислороду. Связь становится более полярной, а водородный атом более подвижным и реакционноспособным (рис. 137).



Получение. Для промышленных нужд используется прежде всего фенол, получаемый из каменноугольной смолы. Однако этот источник не может полностью удовлетворить потребность в феноле. Разработаны синтетические способы получения фенола из бензола по следующей схеме:

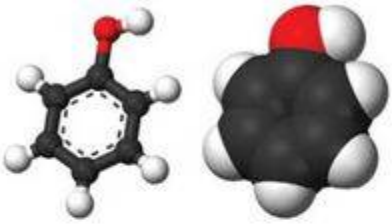
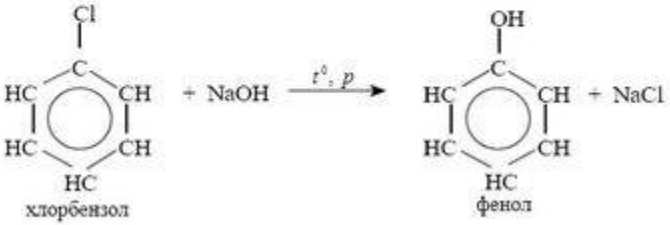


Рис 137. Шаростержневая и масштабная модели молекулы фенола

$$C_6H_6 \rightarrow C_6H_5Cl \rightarrow C_6H_5OH$$

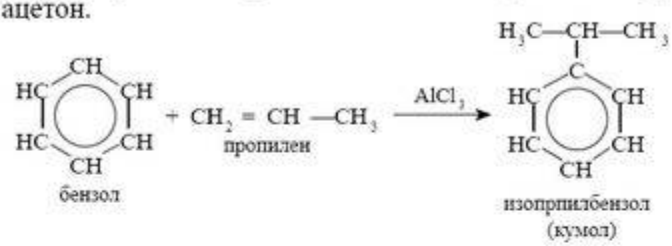
Атом галогена с бензольным кольцом связан более прочно, чем с радикалами предельных углеводородов, поэтому гидролиз галогенопроизводного протекает в жестких условиях (t = 300°C, p = 200 атм):

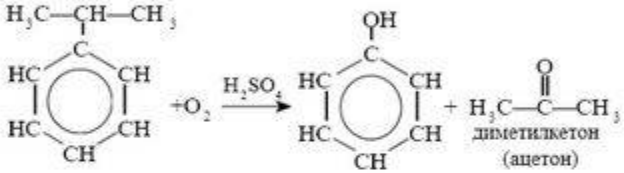


хлорбензол фенол

Но этот способ экономически относительно дорогой, в настоящее время практически утратил свое значение.

На данный момент применяют недорогой и наиболее известный кумольный метод получения фенола. В нем фенол получают из бензола и пропилена. В результате процесса также получается другой ценный продукт – ацетон.





Сейчас во всем мире практически вся масса вырабатываемого фенола и ацетона производится этим способом.

Фенолы — производные ароматических углеводородов, в молекулах которых один или несколько атомов водорода бензольного кольца замещены на соответствующее число гидроксильных групп. В этих соединениях гидроксильные группы непосредственно связаны с бензольным ядром. Для получения фенола применяют недорогой и наиболее известный кумольный метод. В нем фенол получают из бензола и пропилена. В результате процесса также получается другой ценный продукт — ацетон.

1. Какие вещества относят к фенолам, а какие — к ароматическим спиртам? Изобразите структурные формулы трех представителей, принадлежащих: а) фенолам; б) ароматическим спиртам.
2. Составьте электронную формулу фенола и поясните, почему атом водорода в гидроксильной группе более подвижен, чем в молекулах одноатомных спиртов?
3. Составьте уравнения реакций, при помощи которых можно осуществить следующие превращения: $CH_4 \rightarrow C_2H_2 \rightarrow C_6H_6 \rightarrow C_6H_5Cl \rightarrow C_6H_5OH$.

§ 90. СВОЙСТВА ФЕНОЛА И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ

Сегодня на уроке:

- ознакомимся со свойствами фенола и узнаем области его применения.

Ключевые понятия

- фенол
- физические свойства
- химические свойства
- применение

Физические свойства. Фенол — кристаллическое бесцветное вещество с характерным запахом (рис. 138). Вследствие частичного окисления на воздухе он бывает часто розового цвета.

Фенол легкоплавок, в чем легко убедиться: если пробирку с веществом поместить в горячую воду, то он быстро плавится (температура плавления 40,9°С). В холодной воде он малорастворим, но при 70°С – в неограниченных количествах. Следует помнить, что фенол ядовит, при попадании на кожу вызывает сильные ожоги.

Рис. 138. Фенол

Химические свойства. Химические свойства фенола обусловлены наличием в его молекуле гидроксильной группы и бензольного кольца, которые влияют друг на друга.

Наличие в молекуле фенола гидроксильной группы обуславливает некоторые его сходства по химическим свойствам со спиртами. Влияние бензольного ядра на гидроксильную группу является причиной подвижности ее водородного атома, поэтому фенол в отличие от спиртов обладает свойствами слабых кислот и реагирует со щелочами. Гидроксильная группа придает атомам водорода бензольного кольца бо́льшую реакционную способность в положении 2,4,6.

Здесь мы вновь встречаемся с проявлением взаимного влияния атомов в молекулах, подтверждающего тезис теории А. М. Бутлерова.

Химические свойства фенолов, обусловленные гидроксильной группой :

1. Свойство, сходное со свойствами спиртов:

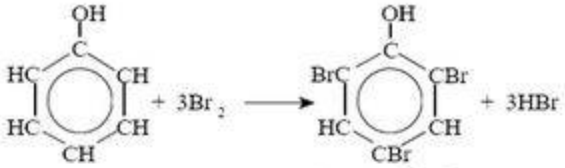
$$2C_6H_5OH + 2Na \rightarrow \underset{\text{фенолят натрия}}{2C_6H_5ONa} + H_2\uparrow$$

2. Свойство, отличающееся от свойства спиртов:

$$C_6H_5OH + NaOH \rightarrow C_6H_5ONa + H_2O$$

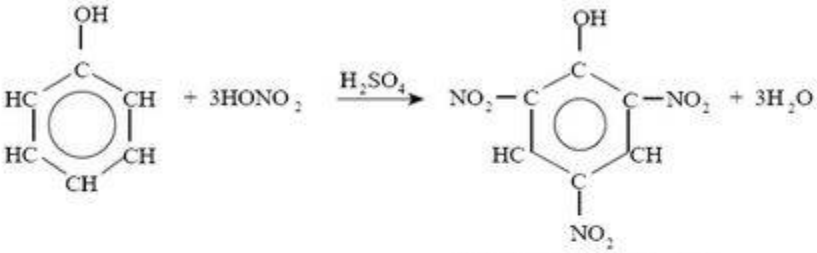
Химические свойства фенолов, обусловленные бензольным кольцом:

1. Реакция бромирования:



2,4,6-трибромфенол

2. Реакция нитрования



2, 4,6-тринитрофенол или пикриновая кислота

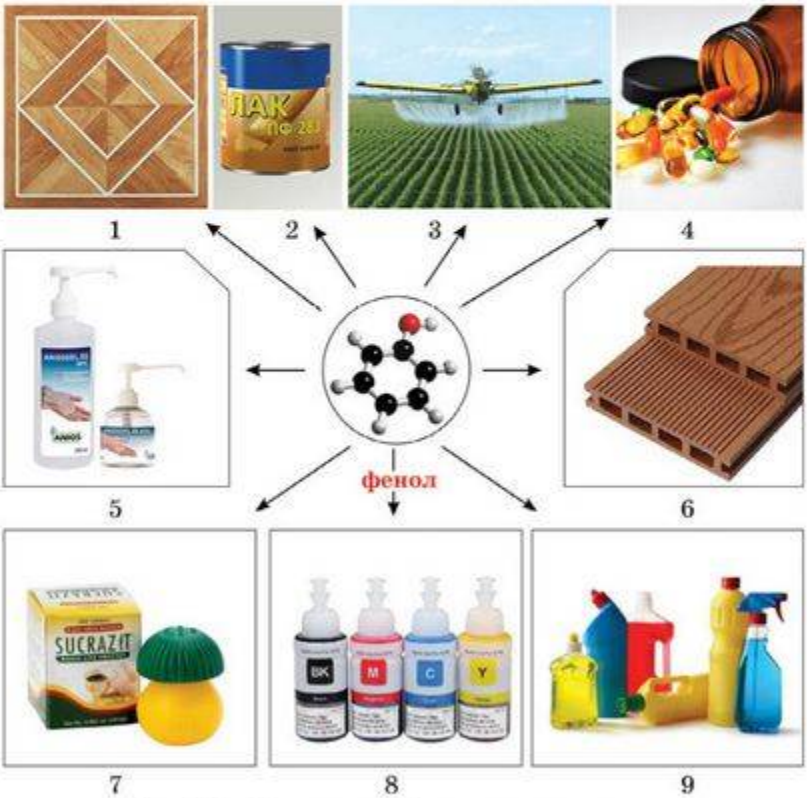


Рис. 139. Применение фенола для получения:

1 — капролактама; 2 — фенолформальдегидных смол; 3 — пестицидов; 4 — лекарственных препаратов; 5 — антисептиков; 6 — стабилизаторов полимеров; 7 — заменителей сахара; 8 — красителей; 9 — моющих средств

Применение . Фенол и его производные используются для получения лекарств, пластмасс, красителей, взрывчатых веществ, пестицидов, антисептиков (рис. 139). Пирокатехин используется для получения адреналина — гормона, вырабатываемого надпочечниками. Раствор фенола в воде имеет дезинфицирующие свойства.

Пластмассы на основе фенолформальдегидных смол обладают высокой прочностью, химической стойкостью, электроизоляционными свойствами. Из нее делают детали для радиотехнической аппаратуры и для аппаратуры, работающей при высокой температуре и в агрессивных средах. Нужно помнить, что фенол и его производные в ядовитые вещества как для человека, так и для окружающей среды, поэтому при помощи специальных устройств остатки фенола улавливают, побочные производственные продукты, содержащие фенол, каталитически окисляют, сточные воды обрабатывают озоном и т. д. Ученые разрабатывают и другие пути по защите окружающей среды.

Для качественного определения фенола используют реакцию взаимодействия фенола с хлоридом железа (III). Фенол с хлоридом железа (III) дает фиолетовое окрашивание.

Химические свойства фенола обусловлены наличием в его молекуле гидроксильной группы и бензольного кольца, которые взаимно влияют друг на друга. Фенол в отличие от спиртов обладает свойствами слабых кислот и реагирует со щелочами. Гидроксильная группа придает атомам водорода бензольного кольца большую реакционную способность в положении 2,4,6.

Знаешь ли ты?

Пикриновая кислота — кристаллическое вещество желтого цвета, поэтому ее еще в XIX столетии применяли в качестве желтого красителя… до случая, когда в Париже (1871) одно текстильное предприятие в результате взрыва было снесено с поверхности земли.

1. Составьте уравнения химических реакций, при помощи которых можно осуществить следующие превращения: $CH_4 \rightarrow C_2H_6 \rightarrow C_2H_4 \rightarrow C_2H_2 \rightarrow C_6H_6 \rightarrow C_6H_5OH \rightarrow$ 2,4,6-тринитрофенол.
2. Напишите уравнения химических реакций, подтверждающих генетическую связь между классами органических соединений по схеме: алкан L алкен L алкин → ароматические углеводороды → галогенопроизводные ароматических углеводородов → фенолы.

1. При обработке избытком натрия некоторого количества раствора фенола в этаноле выделилось 6,72 л (н. у.) газа, а при взаимодействии такого же количества смеси с бромной водой выпало 16,55 г осадка. Каков количественный состав спиртового раствора фенола?

   Ответ: 11,5 г этанола и 4,7 г фенола.
2. Вычислите, какая масса брома в растворе, если при действии на него избытком фенола выпало 24 г осадка.

   Ответ: 34,4 г.

ГЛОССАРИЙ

(словарь терминов на русском, казахском и английском языках)

Закон Авогадро — в равных объемах любых газов при одинаковых температуре и давлении содержится одинаковое число молекул.
Авогадро заны — бірдей жағдайда (температура мен қысымда) әртүрлі газдардың бірдей көлеміндегі молекулалар саны бірдей болады.
Avogadro's Law — if you've got two gases under the same conditions of temperature, pressure, and volume, they've got the same number of particles (atoms or molecules). This law only works for ideal gases, none of which actually exist.

Акцептор — частица или молекула, способная принять электронную пару от донора и образовать с ним ковалентную донорно-акцепторную связь.
Акцептор — донордан электрон жұбын қабылдай алатын және онымен ковалентті донорлы — акцепторлы байланыс түзетін бөлшек немесе молекула.
Acceptor — in chemistry an atom or compound to which electrons are donated during the formation of a coordinate covalent bond.

Алканы — или предельные углеводороды, парафины (алкандар; alkanes), с общей формулой C_nH_{2n+2}, содержащие только одинарные ковалентные связи.
Алкандар — (қаныққан көмірсутектер, парафиндер). Жалпы формуласы C_nH_{2n+2}, құрамында тек дара коваленттік байланыстар болатын көмірсутектер.
Alkane — an organic molecule which contains only single carbon-carbon bonds with general formula C_nH_{2n+2}.

Алкены (этиленовые, олефины) — непредельные углеводороды с общей формулой C_nH_{2n}, содержащие одну двойную связь.
Алкендер (этилен көмірсутектері, олефиндер) — жалпы формуласы C_nH_{2n}, құрамында бір қос байланыс болатын қанықпаған көмірсутектер
Alkene — an organic molecule containing at least one C=C bond with general formula C_nH_{2n}

Алкины — непредельные углеводороды с общей формулой C_nH_{2n-2}, содержащие одну тройную связь.
Алкиндер жалпы формуласы C_nH_{2n-2}, құрамында бір үш байланыс болатын қанықпаған көмірсутектер.
Alkyne — an organic molecule containing at least one C—C triple bond with general formula C_nH_{2n-2}.

Аллотропия — явление существования нескольких простых веществ для данного элемента, например кислород и озон.
Аллотропия — бір химиялық элементтің бірнеше жай зат түрінде болуы, мысалы оттек пен озон оттек химиялық элементінің аллотропиялық түрөзгерістері.
Allotrope — two or more elements with the same physical components, but different structural forms. The physical, and chemical properties of allotropic forms of an element are totally different from each other.

Альфа-распад (α-ыдырау, α- disintegration) — радиоактивный распад, при котором выделяются ядра атомов гелия.
Альфа-ыдырау — нәтижесінде гелий атомдарының ядросы бөлінетін радиоактивті ыдырау.
Alpha-particle decay — a common mode of decay for radioactive nuclides in which the mass number changes

Альфа-частицы (α-сәуле шығару, α-particle) — ядра атомов гелия, излучаемые при радиоактивном распаде.

Альфа-бөлшектер — радиоактивті ыдырау кезінде түзілген гелий атомдарының ядросы.
Alpha particle — a radioactive particle equivalent to a helium nucleus (2 protons, 2 neutrons)

Анион — отрицательно заряженный ион.
Анион — теріс зарядталған ион.
Anion — a negatively charged particle or ion.

Анод — электрод в электрохимической ячейке, на котором происходит процесс окисления.
Анод — электрохимиялық ұяшықтағы тотығу процесі жүзеге асатын электрод.
Anode — the electrode where oxidation occurs. In other words, this is where electrons are lost by a substance.

Атом — химически неделимая мельчайшая частица вещества.
Атом — заттың химиялық жолмен бөлінбейтін ең кіші бөлшегі.
Atom — the smallest structural unit of any chemical element is called an atom.

Атомная масса — относительная атомная масса, отношение массы атома данного элемента к 1/12 массы атома углерода ^{12}C.
Атомдық масса — химиялық элементтің салыстырмалы атомдық массасы деп берілген элементтің атомдық массасының көміртек атомы ^{12}C массасының 1/12 бөлігіне қатынасын айтады.
Atomic mass unit (a.m.u.) — this is the smallest unit of mass we use in chemistry, and is equivalent to 1/12 the mass of carbon-12. To all intents and purposes, protons and neutrons weigh 1 a.m.u.

Атомный номер (порядковый номер) — показывает число протонов, электронов и заряд ядра в атоме любого элемента.
Атомдық нөмір (реттік нөмір) — кез келген элемент атомындағы протон, электрон сандарын және ядро зарядын көрсетеді.
Atomic Number — the number of protons present in the nucleus of an atom.

Бета-частицы (β-частица) — электроны, испускаемые при радиоактивном распаде.
Бета-бөлшектер — радиоактивті ыдырау нәтижесінде бөлінетін электрондар.
Beta Particle (β-particle) — negatively charged particles emitted by the nucleus of radioactive elements.

Валентность — число химических связей, которыми данный атом соединен с другими атомами в молекуле.
Валенттілік — молекуладағы бір химиялық элемент атомының басқа химиялық элемент атомдарымен түзетін байланыс саны.
Valency — valency is a chemical property of an element, that defines the highest number of bonds that its atom can form with other univalent atoms like hydrogen, chlorine etc.

Внутренняя энергия — внутренняя энергия *U* вещества (или системы) — это полная энергия частиц, составляющих данное вещество. Она слагается из кинетической и потенциальной энергий частиц.
Ішкі энергия — заттың (жүйенің) ішкі энергиясы U осы затты құрайтын барлық бөлшектердің энергиясы, ол кинетикалық және потенциалдық энергиялардан тұрады.
Internal Energy — internal energy can be defined as the sum of kinetic energy, potential energy and all other forms of energy that exist inside metals or crystals or molecules.

Восстановление — процесс присоединения атомом или частицей электронов.
Тотыксыздану — атомның немесе бөлшектердің электронды қосып алу процесі.
Reduction — the chemical process that involves gaining of electrons by an atom or an ion.

Восстановители — атомы, молекулы или ионы, отдающие электроны.
Тотықсыздандырғыш — электронын беретін атом, молекула, иондар.
Reducing Agent — a chemical substance that oxidizes itself for the reduction of another reactant, in a chemical reaction is known as reducing agent.

Газ — такое состояние, в котором вещество не имеет ни своей формы, ни объема.
Газ — заттың көлемі мен пішінін сақтамайтын агрегаттық күйі.
Gas — matter in a form that has low density, is easily compressible and expandable, and expands spontaneous.

Гамма-частицы (γ-частицы; γ-particle) — электромагнитное излучение высокой энергии, испускаемое при радиоактивном распаде.
Гамма бөлшектер — радиоактивті ыдырау нәтижесінде бөлінетін үлкен энергиялы электромагниттік сәулелелер.
Gamma particles — gamma rays to form are a type of electromagnetic radiation with high energy and penetrating power and are released by atoms of radioactive elements.

Гетерогенные системы — такие системы, которые содержат вещества в различных агрегатных состояниях.
Гетерогенді жүйелер — агрегаттық күйлері әртүрлі заттардан тұратын жүйе.
Heterogeneous systems — a heterogeneous mixture is made by combining two or more substances with different structures or phases.

Гибридизация — смешивание и выравнивание электронных облаков по форме и энергии.
Гибридтену — пішіні әртүрлі, энергиясы шамалас орбитальдардың араласып, пішіні мен энергиясы бірдей гибридтенген жаңа орбитальдардың түзілуі.
Hybridization — the term hybridization is used to define the merging of one set of atomic orbitals, for the formation of new orbitals.

Гидрирование — реакция присоединения водорода к органическим веществам, имеющим кратные связи.
Гидрлену — еселі байланыстары бар органикалық заттардың сутекті қосып алу реакциясы.
Hydrogenation — when hydrogen is added to a carbon-carbon multiple bond.

Гидролиз — реакция взаимодействия сложных веществ с водой. Например, гидролиз солей или сложных эфиров.
Гидролиз — күрделі заттардың сумен әрекеттесу реакциясы. Мысалы тұздар мен күрделі эфирлердің гидролизі.
Hydrolysis — the decomposition of a compound by means of water (OH^- or OH^+), the water also being decomposed in the reaction.

Гомогенные системы — такие системы, которые содержат вещества в одинаковых агрегатных состояниях, системы, где нет границы раздела поверхностей.
Гомогенді жүйелер — агрегаттық күйлері бірдей заттардан тұратын беттердің бөліну шекарасы жоқ жүйе.
Homogeneous systems — a type of mixture made up of substances that have uniformity in terms of composition and property.

Группа (в периодической системе) — вертикальный столбец элементов в периодической таблице, обладающих общими свойствами.
Топ — периодтық жүйедегі қасиеттері ұқсас элементтер орналасқан тік қатар.
Group (Periodic Table) — in the periodic table, the vertical columns in which elements with similar properties are placed are known as groups.

Дегидрирование — реакция отщепления водорода от органических веществ.
Дегидрлену — органикалық заттардан сутектің бөліну реакциясы.

Dehydrogenatio n — is a chemical reaction that involves the removal of hydrogen from an organic molecule. It is the reverse of hydrogenation.

Диссоциация (электролитическая) — распад электролита на катионы и анионы.
Диссоциация (электролиттік) — электролиттің катиондар мен аниондарға ыдырауы.
Dissociation — when water dissolves a compound.

Диффузия — перемешивание молекул или других частиц при соприкосновении двух или более материалов за счет теплового движения молекул, например распространение запахов в воздухе.
Диффузия — екі немесе одан да көп заттар жанасқанда молекулалардың жылулық қозғалысынан молекулалар мен басқа бөлшектердің араласуы, мысалы, ауада иістің таралуы.
Diffusion — when particles move from areas of high concentration to areas of low concentration. For example, if you open a bottle of ammonia on one end of the room, the concentration of ammonia molecules in the air is very high on that side of the room. As a result, they tend to migrate across the room, which explains why you can smell it after a little while.

Донор — частица, имеющая свободные пары электронов, например атом азота в молекуле аммиака NH_3.
Донор — бос электрон жұбы бар бөлшек, мысалы аммиак NH_3 молекуласындағы азот атомы.
Donor — a donor atom is the one that shares or donates its electrons to a Lewis acid to form a coordination complex.

Жесткая вода — вода, содержащая ионы кальция и магния.
Кермек су — құрамында кальций мен магний иондары болатын су.
Hard water — hard water is water which will not readily form lather with soap due to the presence of dissolved calcium or magnesium salts in the water.

Жидкость — такое состояние, при котором вещество сохраняет свой объем, но не имеет собственной формы.
Сұйықтық — заттың өзінің көлемін сақтайтын күйі, бірақ пішіні болмайды.
Liquid — a state of matter that has a high density and is incompressible compared to a gas.

Изотопы — атомы одного и того же элемента, различающиеся количеством нейтронов в ядре атома.
Изотоптар — атом ядросындағы нейтрон сандары әртүрлі бір элементтің атомдары.
Isotope — when an element has more than one possibility for the number of neutrons, these are called isotopes.

Ингибитор — катализатор, замедляющий скорость химической реакции, но сам не расходующийся при этом.
Ингибитор — химиялық реакцияның жылдамдығын баяулататын, бірақ реакция барысында жұмсалмайтын зат тежегіштер деп аталады.
Inhibitor — a substance that slows down a chemical reaction.

Ион — электрически заряженный атом или группа атомов.
Ион — электрлік заряды бар атом немесе атомдар тобы.
Ion — an atom or a molecule carrying an electric charge is called an ion. It is formed as a result of losing or gaining of electrons.

Ионная связь — химическая связь, образованная за счет электростатического притяжения противоположно заряженных ионов в ионном соединении.
Иондық байланыс — қарама-қарсы зарядталған иондардың электростатикалық тартылуы есебінен пайда болған химиялық байланыс.

Ionic Bond — a kind of chemical bond formed as a result of attraction between oppositely charged particles or ions.

Ионные соединения — соединения, образованные ионами.
Иондық қосылыс — иондардан түзілген қосылыс.
Ionic compound — a compound that results when a metal reacts with a nonmetal to form a cation and an anion.

Изомеры — соединения, имеющие одинаковый состав, но разное строение и свойства.
Изомерлер — құрамы бірдей, бірақ құрылысы мен қасиеттері әртүрлі қосылыстар.
Isomers — molecules whose molecular formulas are same but the structural formulas are different are known as isomers.

Изобары — разновидности разных химических элементов, имеющие одинаковые атомные массы, например, $^{40}_{18}Ar$, $^{40}_{20}Ca$.
Изобаралар — атомдық массалары бірдей әртүрлі химиялық элемент атомдары, мысалы, $^{40}_{18}Ar$, $^{40}_{20}Ca$.
Isobars — are atoms of different Chemical elements that have the same number of nucleons. Example $^{40}_{18}Ar$, $^{40}_{20}Ca$

Изотоны — разные химические элементы, имеющие равное число нейтронов, например, $^{23}_{11}Na$, $^{24}_{12}Mg$.
Изотондар — нейтрон сандары бірдей әртүрлі химиялық элемент атомдары, мысалы, $^{23}_{11}Na$, $^{24}_{12}Mg$.
Isotone — any of two or more species of atoms or nuclei that have the same number of neutrons. Example — $^{23}_{11}Na$, $^{24}_{12}Mg$.

Испарение — переход веществ из жидкого или твердого состояния в газообразное состояние.
Булану — заттардың қатты немесе сұйық күйден буға айналуы.
Evaporization — the change in state that occurs when a liquid evaporates to form a gas.

Катализатор — вещество, ускоряющее скорость реакции, но само при этом не расходующееся.
Катализатор (өршіткі) — химиялық реакцияның жылдамдығын арттыратын, бірақ реакция барысында жұмсалмайтын зат.
Catalyst — a substance that speeds up a chemical reaction without being used up by the reaction.

Катион — положительно заряженный ион.
Катион — он зарядталған ион.
Cation — a positively charged particle.

Катод — электрод в электрохимической ячейке, на котором происходит процесс восстановления.
Катод — электрохимиялық ұяшықтағы тотықсыздану процесі жүретін электрод.
Cathode — the electrode in which reduction occurs. Reduction is when a compound gains electrons.

Квантовые числа — числа, описывающие состояние электрона в атоме.
Квант сандары — атомдағы электрон күйін сипаттайтын сандар.
Quantum numbers — indices that label quantized energy states. Quantum numbers are used to describe the state of a configuration .

Кислота — электролит, диссоциирующий на ионы водорода M^+ и анионы кислотного остатка.
Қышқыл — сутек иондары H^+ мен қышқыл қалдығының аниондарына диссоциацияланатын электролит.

Acid — this is anything that gives off H^+ ions in water. Acids have a pH less than 7 and are good at dissolving metals. They turn litmus paper red and phenolphthalein colorless.

Ковалентная связь — химическая связь между атомами, возникающая путем обобществления электронных пар.
Коваленттік байланыс — атомдардың ортақ электрон жұбы арқылы түзілетін химиялық байланыс.
Covalent Bond — a type of chemical bond in which sharing of electrons takes place between the reacting atoms.

Концентрация раствора — количество растворенного вещества в определенном количестве (масса) раствора или растворителя.
Концентрация — ерітіндінің немесе еріткіштің белгілі мөлшерінде еріген заттың мөлшері.
Concentration — a measurement of the amount of stuff (solute) dissolved in a liquid (solvent).

Коррозия — разрушение металлов и сплавов под действием окружающей среды.
Коррозия — қоршаған ортаның әсерінен металдар мен олардың құймаларының жемірілуі.
Corrosion — corrosion is a reaction that involves action of an oxidizing agent on a metal.

Крекинг — разложение углеводородов нефти на более мелкие молекулы углеводородов.
Крекинг — мұнай көмірсутектерінің кіші молекулалы қосылыстарға бөлшектенуі.
Cracking — is the process breaking down of long-chain hydrocarbon molecules into smaller molecules.

Массовое число — сумма чисел протонов и нейтронов в ядре атома данного изотопа.
Массалық сан — атомның берілген изотопының ядросындағы протон мен нейтрондар санының қосындысы.
Mass number is sum of number of protons and number of neutrons.

Молекула — наименьшая частица вещества, сохраняющая его состав и свойства.
Молекула — заттың құрамы мен қасиетін сақтайтын ең кіші бөлшегі.
Molecule — a small, neutrally charged particle formed as a result of chemical bonding between two or more atoms.

Моль — количество вещества, содержащее $6{,}02 \cdot 10^{23}$ (число Авогадро) его структурных частиц (атомов, ионов, молекул, электронов).
Моль — құрамында $6{,}02 \cdot 10^{23}$ (Авогадро саны) құрылымдық бөлшек (атом, ион, молекула, электрон) болатын заттың бөлігі.
Mole [mol] — that amount of a substance which contains the Avogadro Constant number of particles.

Молярная концентрация — концентрация раствора, выраженная в молях (n) на литр (V).
Молярлық концентрация — мольдің көлемге (литр) қатынасымен өрнектелетін ерітіндінің концентрациясы.
Molarity — a unit of concentration equal to moles of solute divided by liters of solution.

Молярная масса — масса в граммах одного моля вещества.
Мольдік масса — бір моль заттың граммен алынған массасы.
Molar mass — the mass of one mole of particles.

Молярный объем — объем, занимаемый одним молем газа. При нормальных условиях этот объем равен 22,4 л.
Молярлық (мольдік) көлем — бір моль газдың қалыпты жағдайдағы алатын көлемі, ол 22,4 л.

Molar volume — the volume of one mole of a substance at STP. If you believe that everything is an ideal gas, this is always 22.4 liters. Unfortunately, there's no such thing as an ideal gas.

Насыщенные углеводороды — углеводороды, содержащие только одинарные (сигма) связи.
Қаныққан көмірсутектер молекула құрамындағы көміртек — атомдары өзара тек дара (δ-сигма) байланыстар арқылы байланысқан көмірсутектер.
Saturated Hydrocarbons — the simplest forms of hydrocarbon compounds, where all the carbon atoms are bonded to each other with the help of single bonds.

Насыщенный раствор — раствор, концентрация которого такова, что он может находиться в равновесии с осадком растворенного вещества при данной температуре.
Қаныққан ерітінді — берілген температурада еріген зат тұнбасымен тепе-теңдікте болатын ерітіндінің концентрациясы.
Saturated solution — when the maximum amount of solute is dissolved in a liquid.

Нейтрон — нейтральная частица, входящая в состав ядра атома.
Нейтрон — атом ядросының құрамына кіретін бейтарап бөлшек.
Neutron — a sub atomic particle with no electrical charge, present in the nucleus of an atom.

Ненасыщенные углеводороды — углеводороды, содержащие кратные (двойные и тройные) связи.
Қанықпаған көмірсутектер — құрамында еселі (екі немесе үш) байланысы бар көмірсутектер.
Unsaturated Hydrocarbons — a type of organic compound that consists of one or more number of double or triple bonds between the carbon atoms.

Неэлектролит — раствор и расплав веществ, не проводящих электрических ток.
Бейэлектролит — ерітіндісі мен балқымасы электр тогын өткізбейтін заттар.
Nonelectrolyte — a substance that, when dissolved in water, gives a nonconducting solution.

Нейтрализация — реакция между кислотой и основанием с образованием соли и воды.
Бейтараптау — қышқыл мен негіз арасындағы тұз және су түзіле жүретін реакция.
Neutralization — the reaction of an acid with a base to form water and a salt.

Нуклеофилы — частицы, имеющие отрицательный заряд.
Нуклеофилдер — теріс зарядты бөлшектер.
Nucleoful — particle with negative charge.

Нуклоны — частицы атомного ядра любого химического элемента, протоны и нейтроны.
Нуклондар — кез келген химиялық элемент атомының ядросына кіретін — протондар мен нейтрондар.
Nucleons — those particles that constitute the nucleus of an atom. In other words, protons and neutrons are collectively known as nucleons.

Нуклиды — разновидности химических элементов, имеющие определенный порядковый номер и атомную массу.
Нуклидтер — белгілі атомдық нөмірі мен атомдық массасы бар химиялық элементтің түрі.
Nuclide — the general term applied to each unique atom, represented by ^{Y}X, where X is the symbol for a particular element.

Окисление — процесс отдачи электронов атомами, ионами и молекулами.
Тотығу — атом, ион және молекуланың электронын беру процесі.
Oxidation — when a substance loses electrons.

Окислительно-восстановительные реакции (ОВР) — реакции, при которых происходит перенос электронов от одного атома к другому.
Тотығу-тотықсыздану реакциялары (ТТР) — электрондардың бір атомнан екінші атомға ауысуы нәтижесінде жүретін реакция.
Oxidation-reduction (redox) reaction — a reaction in which one or more electrons are transferred.

Окислители — атомы, молекулы или ионы, принимающие электроны.
Тотықтырғыш — электронды қабылдайтын атом, молекула немесе иондар.
Oxidizer — a chemical substance that undergoes reduction in order to oxidize another reactant, during a chemical reaction is known as oxidizing agent.

Оксид — бинарное соединение, содержащее кислород.
Оксид — құрамында оттек болатын бинарлы қосылыс.
Oxide — a binary compound that contains oxygen in the -2 oxidation state.

Октановое число — детонационная характеристика жидкого топлива (бензина).
Октан саны — сұйық отынның (бензин) детонациялық сипаттамасы.
Octane number (of a fuel) — the percentage of iso-octane in an iso-octane/heptane mixture that gives the same engine performance of the fuel.

Органические соединения — это углеводороды и их производные.
Органикалық заттар — көмірсутектер мен олардың туындылары.
Organic compound — a compound that contains carbon (except carbon dioxide, carbon monoxide, and carbonates).

Основание — электролит, диссоциирующий на катионы металла и на гидроксид-анионы.
Негіз — металл катионы мен гидроксид анионға диссоциацияланатын электролит.
Base — a compound that gives off OH- ions in water. They are slippery and bitter and have a pH greater than 7.

Парниковый эффект — нагрев внутренних слоев атмосферы из-за частичного экранирования теплового излучения Земли углекислым газом и другими газами атмосферы.
Жылыжайлық эффект — көміркышқыл газы мен басқа да газдардың жер бетінен бөлінген жылулық сәулелерді жартылай бүркемелеуі салдарынан атмосфераның ішкі қабаттарының қызуы.
Greenhouse effect — a warming effect exerted by the earth's atmosphere (particularly CO_2 and H_2O) due to thermal energy retained by absorption of infrared radiation.

Период — горизонтальный ряд химических элементов, расположенных в порядке возрастания атомных масс.
Период — периодтық кестедегі элементтердің атомдық массасының өсу ретімен орналасқан элементтердің көлденең қатары.
Period — a row (left to right) in the periodic table.

Природные источники углеводородов — нефть, природный газ и уголь.
Көмірсутектердің табиғи көздері — мұнай,табиғи газ және таскөмір.
Natural resources of hydrocarbons — natural gas, naphtha and coal.

Позитрон — частица, равная по массе электрону, но с противоположным зарядом.
Позитрон — массасы электронның массасына тең, бірақ заряды қарама-қарсы бөлшек.
Positron — a positron is the tiny particle produced and released during radioactive decay. It carries a single positive charge and its mass is equal to that of an electron.

Протон — положительно заряженная частица, входящая в состав атомного ядра.
Протон — атом ядросының құрамына кіретін оң зарядты бөлшек.

Photon — a primary particle that forms the basic unit of various forms of electromagnetic radiations, including light. It shows dual properties of both a wave as well as a particle.

Полимеризация — процесс соединения множества молекул вещества с небольшой молекулярной массой в макромолекулы полимера, например полиэтилен.
Полимерлену — молекулалық массасы кіші қосылыстын көптеген молекулаларынын қосылу реакциясы нәтижесінде үлкен молекулалы қосылыстың түзілуі.
Polymerization — the process where the smaller units of molecules are combined to form a large three-dimensional structure of polymer chains is called polymerization.

Риформинг — изменение структуры молекул углеводородов, ароматизация углеводородов.
Риформинг — көмірсутектер молекуласынын құрылысынын өзгеруі көмірсутектердін ароматтануы.
Reforming — processing technique by which the molecular structure of a hydrocarbon is rearranged to alter its properties.

Радиоактивный распад — излучение альфа-, бета- и гамма-лучей радиоактивными изотопами.
Радиоактивті ыдырау — радиоактивті изотоптардың альфа-, бета- және гамм-сәулелер шығарып ыдырауы.
Radioactivity — the phenomenon of the disintegration of the nuclei of unstable atoms, that results in loss of energy in the form of different types of radiations like alpha and beta particles, gamma rays etc. is known as radioactivity.

Равновесие (химическое) — состояние в обратимом процессе, когда скорость прямой и обратной реакций равны.
Химиялық тепе-теңдік — қайтымды процестегі тура және кері реакциялардын жылдамдығынын өзара теңескен күйі.
Equilibrium — when the forward rate of a chemical reaction is the same as the reverse rate. This only takes place in reversible reactions because these are the only type of reaction in which the forward and backward reactions can both take place.

Радикал — частица, имеющая неспаренный электрон.
Радикал — жұптаспаған электроны бар бөлшек.
Radical — a radical is an atom, molecule, or ion that has an unpaired valence electron.

Ряд активностей — последовательность металлов, расположенных в соответствии с их относительной химической активностью.
Белсенділік қатары — металдардың салыстырмалы химиялық белсенділігі бойынша орналасқан қатар.
Reactivity series of metals — reactivity series in chemistry is an experimental, structural and logical progression of series of metals in order of reactivity from highest to lowest.

Спирты — предельные одноатомные спирты с общей формулой $C_nH_{2n+1}OH$, содержащие одну гидроксильную группу (OH).
Спирттер — қаныққан біратомды спирттер — молекуласындағы бір сутек атомы гидроксил (OH) тобына алмасқан алкандардың туындысы, жалпы формуласы $C_nH_{2n+1}OH$.
Alcohol — an organic molecule containing an –OH group.

Сплавы (құймалар; alloys) — однородные системы, состоящие из двух или более металлов с характерными металлическими свойствами.
Құймалар — екі немесе оданда көп металдардан тұратын металдық қасиеті бар біртекті жүйе.
Alloy — a mixture of two metals. Usually, you add very small amounts of a different element to make the metal stronger and harder.

Структурная (графическая) формула — формула вещества, показывающая последовательность соединения атомов в молекуле.

Құрылымдық формула — зат молекуласындағы атомдардың байланысу тәртібін көрсететін формула.
Structural Formula — when the structure of the molecule of a compound is represented in the graphical form, it is called a structural formula.

Соль — сложное вещество, состоящее из ионов металлов (и иона аммония) и анионов кислотного остатка.
Тұз — металл катиондары (аммоний ионы) мен қышқыл қалдығының аниондарынан тұратын күрделі зат.
Salt — salt is a chemical compound obtained by the neutralization of acidic and basic substances. An ionic compound.

Сырая нефть — нефть, непосредственно добытая из скважины.
Шикі мұнай — тікелей ұңғымадан (скважина) алынған мұнай.
Naphtha — naphtha is a flammable liquid hydrocarbon mixture.

Тепловой эффект — количество выделяемой или поглощаемой энергии при протекании химической реакции.
Жылу эффектісі — химиялық реакция нәтижесінде бөлінетін немесе сінірілетін жылу мөлшері.
Heat of reaction — the heat change which occurs when a reaction takes place according to a given chemical equation.

Теплота сгорания — теплота, выделяемая при сгорании одного моль вещества.
Жану жылуы — заттың бір молі жанғанда бөлінетін жылу.
Heat of combustion — the heat of combustion is the energy liberated when a substance undergoes complete combustion, at constant pressure usually in an environment with excess oxygen.

Теплота образования — это количество теплоты, необходимое для образования соединения из простых веществ при постоянном давлении, обозначается ΔHf.
Түзілу жылуы — жай заттардан бір моль күрделі зат түзілгенде бөлінетін немесе сінірілетін жылу мөлшері.
Heat of formation — released or absorbed (enthalpy change) during the formation of a pure substance from its elements at constant pressure an usually denoted by ΔHf.

Химия — наука о веществах и их превращениях.
Химия — заттар мен олардың өзгерісі туралы ғылым.
Chemistry is the scientific discipline involved with compounds composed of atoms, i.e. elements, and molecules, i.e. combinations of atoms — their composition, structure, properties, behavior and the changes they undergo during a reaction with other compounds.

Химические явления — явления, в которых происходит превращение одних веществ в другие.
Химиялық құбылыстар — нәтижесінде бастапқы заттардан жаңа заттар түзілетін құбылыс.
Chemical properties — the process by which atoms of one or more chemical substances interact with each other, to produce new products with different composition and properties.

Химическая связь — взаимодействие двух атомов, осуществляемое путем обмена электронами.
Химиялық байланыс — екі атомның электрондарын алмастыруы арқылы байланысуы.
Chemical Bond — a force of attraction that binds two or more atoms together, in order to form a compound is known as a chemical bond.

Углеводороды — вещества, состоящие из углерода и водорода.
Көмірсутектер — құрамы көміртек пен сутектен тұратын заттар.
Hydrocarbon — a molecule containing carbon and hydrogen.

Углеродная цепь — атомы углерода, связанные друг с другом в молекулах.
Көміртек тізбегі — молекуладағы көміртек атомдарының бір-бірімен байланысуы.
Carbon chain — a number of carbon atoms bonded together in a sequence and forming part of a molecule, polymer, etc.

Ультрафиолетовое излучение — электромагнитное излучение с энергией бо́льшей, чем видимый свет. Может повреждать ткани тела, вызывает загар.
Ультракүлгін сәуле шығару — көрінетін жарыққа қараған да энергиясы жоғары электромагниттік сәулелену. Дененің тканьдерін зақымдауы мүмкін, күнге күю.
Ultraviolet solar radiation — (**UV**) is electromagnetic radiation with a wavelength, shorter than that of visible light but longer than X-rays.

Физические явления — такие явления, в которых не происходит превращение одних веществ в другие.
Физикалық құбылыстар — бастапқы заттар басқа заттарға айналмайтын құбылыс.
Physical property — that aspect of any substance which can be evaluated without bringing any change to its chemical structure is known as physical property.

Функциональная группа — группа атомов, определяющая характерные свойства данного вещества, например гидроксогруппа (OH) в спиртах.
Функционалдық топ — берілген заттың қасиеттерін анықтайтын атомдар тобы, мысалы спирттерде гидроксотоптар (-OH).
Functional Group — in the molecule of an organic compound, a certain set of atoms characterize the chemical properties of the organic molecule. These groups of atoms are known as functional groups.

Электроны — отрицательно заряженные частицы атома.
Электрондар — атомдағы теріс зарядталған бөлшектер.
Electron — electron is a negatively charged subatomic particle that revolves around the nucleus of an atom.

Электролиты — расплавы и растворы веществ, проводящие электрический ток.
Электролиттер — балқымалары мен ерітінділері электр тогын өткізетін заттар.
Electrolyte — an electrolyte is a chemical substance that splits up into ions in aqueous state or molten state and acts as a medium to conduct electricity.

Электроотрицательность атома — способность атома притягивать к себе валентные электроны других атомов в химических соединениях.
Электртерістілік — химиялық қосылыстағы бір химиялық элемент атомының екінші элемент атомының валенттілік электрондарын өзіне тарту қабілеті.
Electronegativity — in a covalent bond between two dissimilar atoms, electronegativity can be defined as the capacity of the atom of an element to draw the valence electrons towards itself.

Электрофилы — частицы, имеющие положительный заряд.
Электрофилдер — оң зарядты бөлшектер.
Enthalpy — enthalpy is a thermodynamic property of a substance used to quantify the heat content of its any given amount.

Энтальпия — энтальпия характеризует энергетическое состояние вещества и включает в себя внутреннюю энергию и энергию, затраченную на преодоление внутреннего давления (т. е. на работу, расширения).
Энтальпия — заттың энергетикалық жағдайын сипаттайтын энергия, ол ішкі энергия мен ішкі кедергіні (жұмыс, ұлғаю) жоюға жұмсалатын энергиядан тұрады.
Enthalpy — an electrophile is a reagent attracted to electrons.

Энтропия — энтропия характеризует состояние и возможные изменения состояний материальных систем.
Энтропия — материалды жүйенің күйі мен оның өзгеру мүмкіндігін сипаттайды.
Entropy — entropy is a thermodynamic property, used to measure that energy of a given system which cannot be utilized to carry out any external work.

Этерификация — реакция обмена между карбоновой кислотой и спиртом, в результате которой образуется сложный эфир и вода.
Этерификация — карбон қышқылдары мен спирттер арасындағы күрделі эфир мен су түзілетін алмасу реакциясы.
Esterification — esterification is the general name for a chemical reaction in which two reactants (typically an alcohol and an acid) form an ester as the reaction product.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1

Периодическая система химических элементов

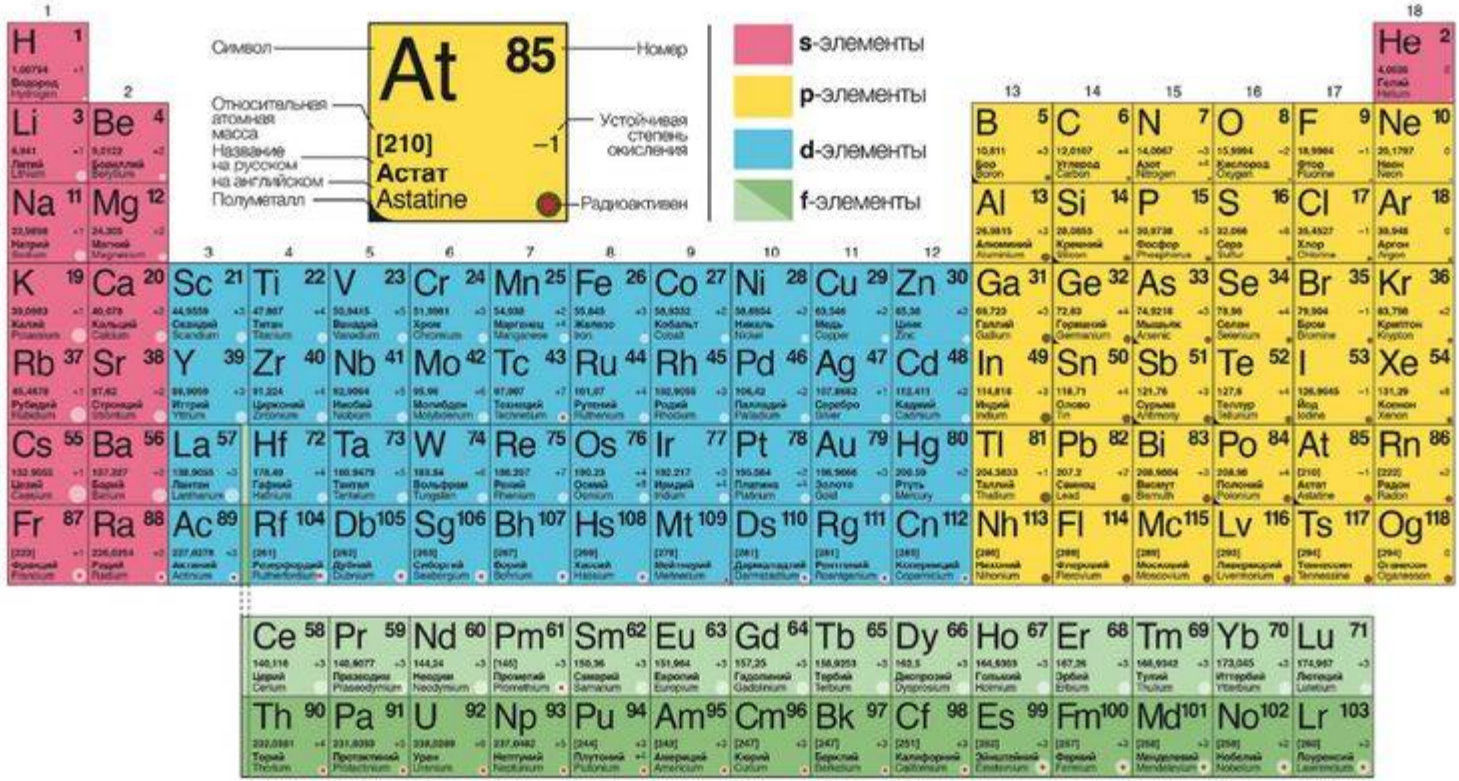


Таблица 2

Закономерности изменения свойств атомов химических элементов главных подгрупп в Периодической системе Д. И. Менделеева

Характеристика атома химического элемента	С увеличением порядкового номера элемента	
	в периоде	в главной подгруппе
Заряд ядра атома	Увеличивается	Увеличивается
Число энергетических уровней	Не изменяется	Увеличивается
Радиус атома	Уменьшается	Увеличивается
Число электронов на внешнем уровне	Увеличивается	Не изменяется
Электроотрицательность	Увеличивается	Уменьшается
Металлические свойства (способность атомов отдавать электроны)	Ослабевают	Усиливаются
Неметаллические свойства (способность атомов принимать электроны)	Усиливаются	Ослабевают
Высшая положительная степень окисления	Увеличивается от +1 до + 7 (+ 8)	Постоянная и равна номеру группы
Низшая степень окисления	Увеличивается от –4 до –1	Не изменяется

Таблица 3

Классификация оснований

Признак классификации	Группы оснований	Примеры
Кислотность	Однокислотные MOH	KOH, $LiOH$, $NaOH$, $NH_3 \cdot H_2O$
	Двухкислотные $M(OH)_2$	$Ca(OH)_2$, $Ba(OH)_2$, $Fe(OH)_2$
Степень электролитической диссоциации	Сильные ($\alpha \to 1$)	$LiOH$, $Ca(OH)_2$
	Слабые ($\alpha \to 0$)	$NH_3 \cdot H_2O$
Растворимость	Растворимые	$NaOH$, $Ba(OH)_2$
	Нерастворимые	$Cu(OH)_2$, $Fe(OH)_2$

Таблица 4

Классификация кислот

Признак классификации	Группы кислот	Примеры
Наличие кислорода	Кислородсодержащие	H_2SO_4, HNO_3, H_3PO_4, CH_3COOH
	Бескислородные	H_2S, HCl, HF
Основность	Одноосновные	HCl, HNO_3, CH_3COOH
	Двухосновные	H_2S, H_2SO_4
	Трехосновные	H_3PO_4
Растворимость	Растворимые	H_2SO_4, HCl, H_3PO_4, CH_3COOH
	Нерастворимые	H_2SiO_3
Степень электролитической диссоциации	Сильные ($\alpha \to 1$)	H_2SO_4, HCl, HNO_3
	Слабые ($\alpha \to 0$)	H_2CO_3, H_2S, CH_3COOH
Стабильность	Стабильные	H_2SO_4, HCl
	Нестабильные	HNO_3, H_2CO_3, H_2SiO_3
Летучесть	Летучие	HCl, H_2S, CH_3COOH
	Нелетучие	H_2SO_4, H_2SiO_3

Таблица 5

Классификация химических реакций

Признак классификации	Типы реакций, их характеристика, примеры
1	2
Число и состав исходных продуктов реакции	Реакции соединения — реакции, при которых из двух и более веществ образуется одно сложное вещество. Например: $CaO + CO_2 = CaCO_3$
	Реакции разложения — реакции, при которых из одного сложного вещества образуется несколько новых веществ. Например: $2H_2O_2 = 2H_2O + O_2\uparrow$
	Реакции замещения — реакции, в которых атомы простого вещества замещают атомы одного из элементов в сложном веществе. Например: $Zn + 2HCl = ZnCl_2 + H_2\uparrow$

1	2
	Реакции обмена — реакции, при которых два сложных вещества обмениваются своими составными частями. Например: $Cu(NO_3)_2 + 2NaOH = Cu(OH)_2\downarrow + 2NaNO_3$
Направление реакции	Обратимые реакции в данных условиях протекают одновременно в двух противоположных направлениях. Например : $2SO_2 + O_2 \rightleftharpoons 2SO_3$ $N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3$ $N_2 + O_2 \rightleftharpoons 2NO$
	Необратимые реакции протекают в данных условиях только в одном направлении. Например: $NaOH + HCl = NaCl + H_2O$
Изменение степени окисления элементов	Окислительно-восстановительные реакции — реакции, идущие с изменением степеней окисления элементов. Например: $N_2^0 + O_2^0 \rightleftharpoons 2N^{+2}O^{-2}$
	Реакции, идущие без изменения степеней окисления элементов. Например: $Na^{+1}O^{-2}H^{+1} + H^{+1}Cl^{-1} \rightleftharpoons Na^{+1}Cl^{-1} + H_2^{+1}O^{-2}$
Участие катализатора	**Каталитические реакции** протекают с участием катализатора. Например: $2SO_2 + \overset{кат.}{O_2} \rightleftharpoons 2SO_3$, $N_2 + \overset{кат.}{3H_2} \rightleftharpoons 2NH_3$
	Некаталитические реакции протекают без участия катализатора. Например: $NaOH + HCl = NaCl + H_2O$
Тепловой эффект реакции	**Экзотермические реакции** протекают с выделением теплоты. Например: $NaOH + HCl = NaCl + H_2O + Q$
	Эндотермические реакции протекают с поглощением теплоты. Например: $N_2 + O_2 = 2NO - Q$

Таблица 6

Относительные молекулярные массы органических соеденений

	Радикалы	H	CH_3	Cl	Br	OH	COH	COOH	
H	1	2	16	36,5	81	18	30	46	H
CH_3	15	16	30	50,5	95	32	44	60	CH_3
C_2H_5	29	30	44	64,5	100	46	58	74	C_2H_5
C_3H_7	43	44	58	78,5	123	60	72	88	C_3H_7
C_4H_9	57	58	72	92,5	137	74	86	102	C_4H_9
C_5H_{11}	71	72	86	106,5	151	88	100	116	C_5H_{11}
C_6H_{13}	85	86	100	120,5	165	102	114	130	C_6H_{13}
$C_{15}H_{31}$	211	212	226	246,5	291	228	240	256	$C_{15}H_{31}$
$C_{17}H_{35}$	239	240	254	274,5	319	256	268	284	$C_{17}H_{35}$
$C_{17}H_{33}$	237	238	252	272,5	317	254	266	282	$C_{17}H_{33}$
C_6H_5	77	78	92	112,5	157	94	106	122	C_6H_5

Таблица 7

Анилин	92	Тринитрофенол	229
Аминоуксусная кислота	75	Сахароза	342
Ацетилен	26	Молочная кислота	90
Бутадиен	54	Трибромфенилин	330
Глицерин	92	Трибромфенол	331
Глюкоза	180	Тринитроанилин	228
Гексахлоран	291	Тринитротолуол	227
Дихлорэтан	99	Тринитроцеллюлоза	297
Изопрен	68	Тripальмитин	806
Карбид кальция	64	Тристеарин	890
Крахмал (элементарное звено)	162	Триолеин	884
Монохлоруксусная кислота	94,5	Этиламин	45
Стеарат натрия (мыло)	306	Этилацетат	88
Нитрометан	61	Этиленгликоль	62

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Врублевский А. И.* Химия. Базовый школьный курс. Минск, 2009. 566 с.
2. *Рубинов П. Д.* Химия. Полный курс для 8—11 классов. Санкт-Петербург, 2010. 336 с.
3. *Грибанова О. В.* Общая и неорганическая химия. Ростов-на-Дону: Феникс, 2013. 249 с.
4. *Хомченко Г. П.* Пособие по химии. М.: Новая волна, 2009. 479 с.
5. *Кузьменко Н. Е., Еремин В. В., Попков В. А.* Учебное пособие по химии. Школьный курс. М.: Оникс, 2014. 429 с.
6. Лабораторный практикум по общей и неорганической химии под ред. Таланова В. М. и Житного Г. М. Ростов-на-Дону: Феникс, 2008. 411 с.
7. *Литвинова Т. Н., Мельникова Е. Д., Соловьева М. В.* и др. Химия в задачах. 2500 задач с решениями. М.: Оникс, Мир и образование, 2009. 832 с.
8. *Еремин В. В., Кузьменко Н. Е.* Сборник задач и упражнений по химии. Школьный курс. М.: Экзамен, 2008. 527 с.
9. *Кузьменко Н. Е., Еремин В. В.* Сб. задач и упражнений по химии для школьников и абитуриентов. М.: Экзамен, Оникс, 2011. 547 с.
10. Тесты. Химия, 8—9 класс. М.: Дрофа, 2002. 121 с.
11. Контрольные и проверочные работы по химии для 8—9 классов. М.: Дрофа, 2012. 141 с.
12. Химия в схемах, терминах, таблицах. Ростов-на-Дону: Феникс, 2013. 95 с.
13. 100 дней до ЕГЭ. Химия. М.: Эксмо, 2012. 240 с.
14. Готовимся к экзаменам ГИА. М.: Дрофа, 2011. 207 с.
15. *Киреев В. А.* Курс физической химии. М.: Химия, 1975. 775 с.
16. *Грандберг И. И.* Органическая химия. М.: Высшая школа, 1977. 217 с.
17. *Левкин А. Н., Кузнецова Н. Е.* Задачник по химии для 11 классов. М., Вентана-граф. 2009, 237 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Глава IX. АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

§ 52. Аналитические методы в современных исследованиях 5
§ 53. Хроматография 7
Лабораторная работа № 4 13

Глава X. ЭЛЕМЕНТЫ 17 (VIIA) ГРУППЫ

§ 54. Закономерности изменения свойств галогенов 14
§ 55. Окислительно-восстановительные свойства галогенов 18
§ 56. Применение галогенов и их соединений 22
Лабораторная работа № 5 27

Глава XI. ЭЛЕМЕНТЫ 2 (IIA) ГРУППЫ

§ 57. Физические свойства элементов 2 (IIA) группы 28
§ 58. Химические свойства элементов 2 (IIA) группы 32
§ 59. Природные карбонаты 35
Лабораторная работа № 6 39
Практическая работа № 4 39

Глава XII. ВВЕДЕНИЕ В ОРГАНИЧЕСКУЮ ХИМИЮ

§ 60. Введение в органическую химию 41
§ 61. Виды формул, применяемых в органической химии 45
§ 62. Состав и структура органических веществ. Изомерия 49
§ 63. Классификация органических веществ 55
§ 64. Номенклатура органических соединений 60
§ 65. Предельные углеводороды. Алканы 64
§ 66. Номенклатура и изомерия алканов 68
§ 67. Химические свойства алканов 72
§ 68. Циклоалканы 76
§ 69. Решение задач на тему: "Определение молекулярной формулы вещества по продуктам сгорания и гомологическим рядам" 80
Лабораторная работа № 7 83

Глава XIII. НЕПРЕДЕЛЬНЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ

§ 70. Алкены, их гомологи и изомеры 84
§ 71. Физические и химические свойства алкенов 89
§ 72. Реакция полимеризации 95
§ 73. Производство полиэтилена 99
§ 74. Алкадиены (диеновые углеводороды) 102
§ 75. Каучук. Резина 106
§ 76. Алкины 111
§ 77. Свойства алкинов 115
§ 78. Источники углеводородов 121
§ 79. Нефть 125
§ 80. Переработка нефтепродуктов 131
§ 81. Природный газ. Попутные нефтяные газы 138
§ 82. Коксование каменного угля 140
Лабораторная работа № 8 144

Глава XIV. ГАЛОГЕНАЛКАНЫ

§ 83. Получение галогеналканов 145
§ 84. Реакции нуклеофильного замещения галогеналканов 151
§ 85. Реакции элиминирования галогеналканов 155

Глава XV. СПИРТЫ ОДНОАТОМНЫЕ, МНОГОАТОМНЫЕ

§ 86. Классификация и химические свойства спиртов 159
§ 87. Промышленное производство этилового спирта 164
§ 88. Многоатомные спирты 168
Лабораторная работа № 9 172
§ 89. Фенолы 173
§ 90. Свойства фенола и его применение 176
Глоссарий 179
Приложение 191
Список использованной литературы 196

Учебное издание

Оспанова Мейрамкуль Кабылбековна
Аухадиева Кырмызы Сейсенбековна
Белоусова Татьяна Геннадьевна

ХИМИЯ

Часть 2

Учебник для 10 классов естественно-математического направления общеобразовательных школ

Редактор *Л. Байтенова*
Худож. редактор *А. Акыл*
Техн. редактор *И. Тарапунец*
Корректор *И. Скуратова*
Компьютерная верстка *Г. Хашировой*

Государственная лицензия № 0000001 выдана издательству Министерством образования и науки Республики Казахстан 7 июля 2003 года

ИБ № 5843

Подписано в печать 03.06.19. Формат 70 · 100 1/16. Бумага офсетная.
Гарнитура "SchoolBook Kza". Печать офсетная.
Усл. печ. л. 16,13 + 0,32 форзац.
Усл. кр.-отт. 64,51. Уч.-изд. л. 9,86 + 0,54 форзац.
Тираж 60 000 экз. Заказ №

Издательство "Мектеп", 050009, г. Алматы, пр. Абая, 143
Факс: 8(727) 394-37-58, 394-42-30.
Тел.: 8(727) 394-41-76, 394-42-34.
E-mail: mektep@mail.ru
Web-site: www.mektep.kz