

4. Установите строение молекулы алкена и дайте ему название по номенклатуре ИЮПАК, если про этот алкен известно следующее: а) молярная масса алкена равна 56 г/моль; б) молекулы алкена имеют неразветвлённое строение; в) алкен не может существовать в виде *цис*-, *транс*-изомеров.

§ 15. Физические и химические свойства алкенов

Физические свойства

По физическим свойствам алкены мало отличаются от алканов с тем же числом атомов углерода в молекуле. Так, алкены с числом атомов углерода в молекуле 2–4 при комнатной температуре являются бесцветными газами. Алкены с числом атомов углерода в молекуле от 5 до 17 – жидкости. Алкены с ещё бóльшим числом атомов углерода в молекуле (от 18 и более) представляют собой твёрдые вещества. Температуры кипения некоторых алкенов неразветвлённого строения приведены в таблице 15.1.

Таблица 15.1. Температуры кипения алкенов

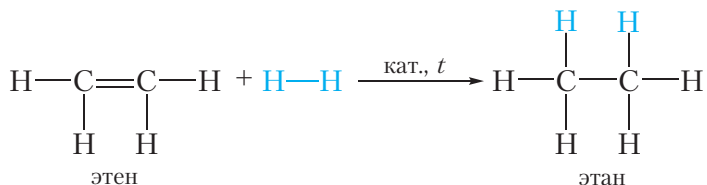
Название	Структурная формула	Температура кипения ($t_{\text{кип}}$, °C)
Этен	$\text{CH}_2=\text{CH}_2$	-104
Пропен	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$	-48
Бутен-1	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	-6
Пентен-1	$\text{CH}_2=\text{CH}-(\text{CH}_2)_2-\text{CH}_3$	30
Гексен-1	$\text{CH}_2=\text{CH}-(\text{CH}_2)_3-\text{CH}_3$	64
Гептен-1	$\text{CH}_2=\text{CH}-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}_3$	93
Октен-1	$\text{CH}_2=\text{CH}-(\text{CH}_2)_5-\text{CH}_3$	122

Так же, как и алканы, алкены нерастворимы в воде, но хорошо растворяются в органических растворителях.

Плотность алкенов меньше, чем у воды.

Химические свойства

Благодаря наличию в молекуле π -связи реакционная способность алкенов намного выше, чем у алканов. Напомним, что для алканов характерны реакции замещения. Для алкенов характерными являются **реакции присоединения**:



Эти реакции сопровождаются разрывом π -связи, так как она менее прочная, чем σ -связь.

В реакции присоединения алкены вступают в более мягких условиях, чем алканы в реакции замещения. Реакции замещения для алкенов нехарактерны.

Реакции присоединения

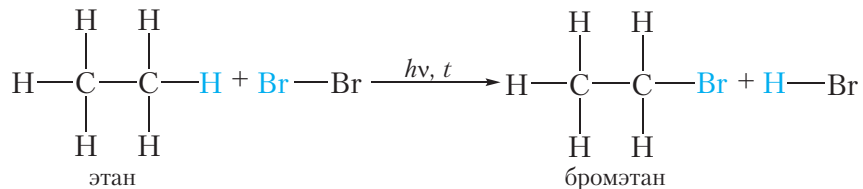
1. Галогенирование. Присоединение галогенов

Алкены так же, как и алканы, взаимодействуют с галогенами. Однако в случае алкенов происходит реакция присоединения, а не замещения. Сравним эти реакции.

Бромирование этилена (реакция **присоединения**):



Бромирование этана (реакция **замещения**):



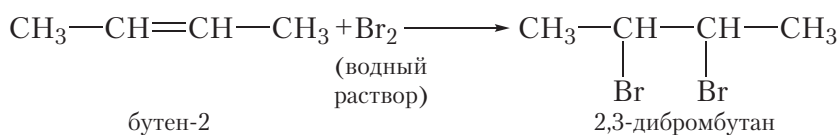
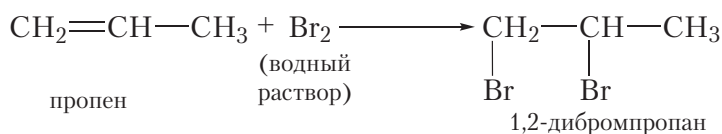
Этилен реагирует с водным раствором брома (бромной водой) при обычных условиях, в то время как реакция этана с бромом возможна только в жёстких условиях — при нагревании или ультрафиолетовом облучении.

При пропускании этилена через бромную воду протекает реакция присоединения брома по двойной связи. В результате оранжевый раствор брома обесцвечивается.

В молекуле этана нет двойных связей, поэтому при пропускании этана через бромную воду химическая реакция не протекает и раствор брома остаётся оранжевым.

Следовательно, **реакция с бромной водой является качественной реакцией на двойную связь.**

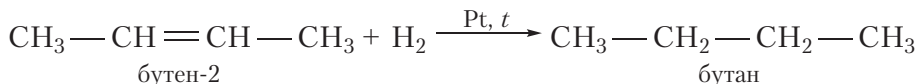
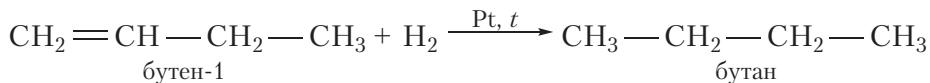
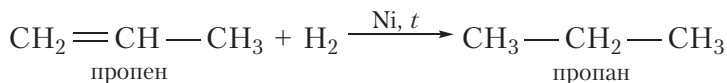
Подобно этилену, другие алкены легко присоединяют бром, обесцвечивая бромную воду:



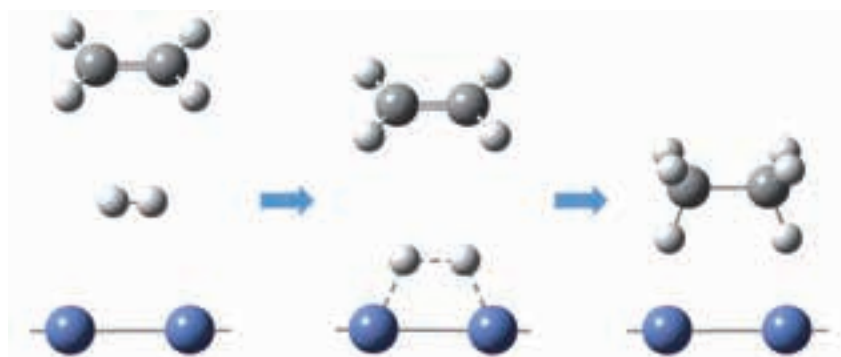
2. Гидрирование. Присоединение водорода

Присоединение водорода к органическому веществу называется реакцией *гидрирования*. При обычных условиях алкены не присоединяют водород. Для протекания реакции необходим катализатор (Pt или Ni).

В результате гидрирования алкенов образуются алканы. В начале данного параграфа приведено уравнение реакции гидрирования этена. Приведём уравнения реакций гидрирования некоторых других алкенов:



Как вы уже знаете, катализатор ускоряет протекание химической реакции, но сам при этом не расходуется. Роль катализатора в реакции гидрирования заключается в том, чтобы ослабить химическую связь в молекуле водорода и, таким образом, активировать эту молекулу для реакции присоединения:

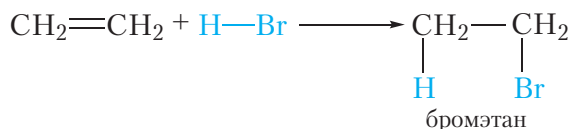


Поверхность катализатора Поверхность катализатора Поверхность катализатора

Рис. 15.1. Каталитическое гидрирование этилена

3. Гидрогалогенирование. Присоединение галогеноводородов

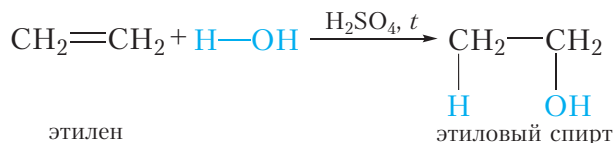
Алкены могут вступать в реакции присоединения не только с простыми, но и со сложными веществами. Например, этилен легко присоединяет бромоводород:



Реакции присоединения галогеноводородов к органическим веществам называются реакциями *гидрогалогенирования*. Эти реакции протекают при обычных условиях.

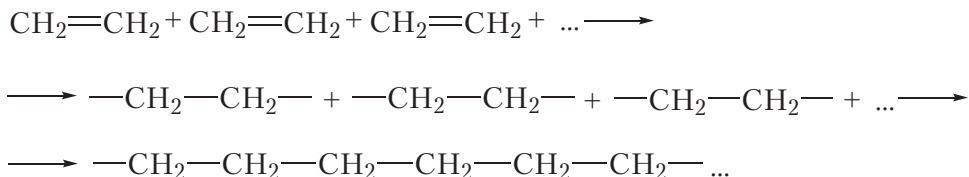
4. Гидратация. Присоединение воды

Гидратацией называется реакция присоединения воды к органическому веществу. При нагревании в присутствии катализатора (H_2SO_4) этилен присоединяет воду. При этом образуется этиловый спирт:



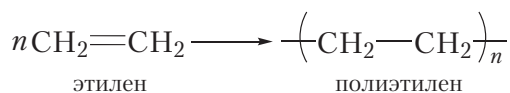
Реакция полимеризации

За счёт раскрытия двойных связей отдельные молекулы этилена могут соединяться друг с другом, образуя длинные цепи. Схематично этот процесс можно изобразить так:

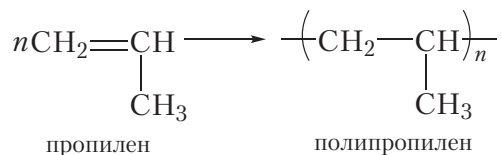


В результате соединения сотен или даже тысяч молекул этилена образуется одна гигантская молекула — *полимер*. Протекающая реакция называется *реакцией полимеризации*.

Более кратко процесс полимеризации этилена можно выразить следующим уравнением:



Полимеризоваться могут и другие алкены, в частности пропилен:



Исходное вещество в реакции полимеризации называется *мономером*, а продукт — *полимером*. Молекулы полимера также называют *макромолекулами*.

Число мономерных звеньев в молекуле полимера называется *степенью полимеризации*. В формуле полимера степень полимеризации обозначают индексом «*n*».

Полиэтилен и полипропилен нам хорошо знакомы. Из полиэтилена изготавливают полиэтиленовую плёнку, посуду, предметы домашнего обихода и т. д. Полипропилен очень похож на полиэтилен и отличается от него только повышенной прочностью и термостойкостью. Из полипропилена изготавливают плёнку для теплиц, корпуса автомобильных аккумуляторов и многое другое. Со многими полимерами вы познакомитесь далее.

Реакции окисления

1. Горение. Взаимодействие с кислородом

Так же, как и алканы, алкены горят с образованием углекислого газа и воды:

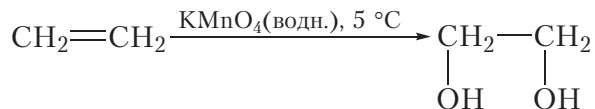


Приведём уравнение реакции горения алкенов в общем виде:



2. Неполное окисление. Реакция с KMnO_4

Окисление алкенов может протекать и без разрушения углеродного скелета. Так, при пропускании этилена через разбавленный водный раствор перманганата калия (KMnO_4) фиолетового цвета окраска исчезает. Перманганат калия расщепляет π -связь в молекуле этилена, при этом σ -связь между атомами углерода сохраняется. Протекание этой реакции отобразим не с помощью уравнения, а упрощенно в виде *схемы*. Схема реакции окисления этилена водным раствором перманганата калия выглядит следующим образом:



В схемах обычно изображают формулы исходного органического вещества и продукта его превращения. При этом легче проследить за изменениями органического вещества в ходе реакции. В схемах, как правило, ставят коэффициенты только перед формулами органических веществ. Формулы реагентов, под действием которых происходит превращение органического вещества, принято писать над стрелкой. В данном случае это перманганат калия (KMnO_4) и растворитель (вода).

Из схемы видно, что π -связь в ходе данной реакции раскрывается, к атомам углерода присоединяются две кислородсодержащие группы — OH , то есть этилен окисляется. В результате образуется этиленгликоль, представитель многоатомных спиртов.

Написание схем часто оказывается более удобным, чем уравнений, поэтому их широко используют в органической химии.

Так же, как и реакция с бромной водой, **реакция с раствором перманганата калия является качественной реакцией на двойную связь**. В результате данной реакции наблюдается обесцвечивание фиолетового раствора перманганата калия.



Видео 15.1.
Качественные реакции
на двойную связь

Характерными для алкенов являются реакции присоединения по двойной связи. При этом происходит расщепление π -связи. Алкены могут присоединять галогены, водород, галогеноводороды, воду.

Реакция полимеризации — это многократно повторяющаяся реакция присоединения. В результате этой реакции образуются гигантские молекулы полимеров, широко применяемых в нашей жизни.

Низкомолекулярное вещество, из которого синтезируют полимер, называется мономером; число мономерных звеньев в макромолекуле полимера называется степенью полимеризации.

Реакции обесцвечивания бромной воды и раствора перманганата калия являются качественными реакциями на двойную связь.

Вопросы и задания

1. Напишите уравнения реакций присоединения к этилену и пропилену: а) водорода; б) хлора. Назовите продукты реакций. Как на практике можно различить метан и этилен?

2. Напишите уравнение реакции бромоводорода с бутеном-2. Назовите продукт реакции.

3. К бромной воде добавили избыток раствора гексена-1 в гептане. Какие явления будут наблюдаться при этом? Напишите уравнение протекающей реакции.

4. Напишите схему реакции взаимодействия пропилена с водным раствором перманганата калия.

5. В результате полимеризации этилена получен полимер массой 140 г, содержащий $1,505 \cdot 10^{22}$ макромолекул. Вычислите: а) среднюю молярную массу полимера; б) степень полимеризации.



* Правило
Марковникова

6. После пропускания через склянку с бромной водой (избыток) 20 дм³ (н. у.) смеси этана и этилена масса склянки увеличилась на 20 г. Определите объём (н. у.) этана в смеси газов.

Вы можете познакомиться с особенностями протекания реакций присоединения к несимметричным алкенам, перейдя по ссылке в QR-коде.

§ 16. Получение и применение алкенов

Алкены являются химически более активными веществами, чем алканы, поэтому в составе природных источников углеводородов (нефти и природном газе) их содержание невелико.

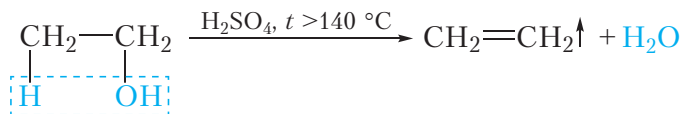
Основная область применения алкенов — получение полимеров посредством реакции полимеризации. Промышленное производство алкенов и полимеров на их основе занимает важное место в экономике многих стран. В нашей стране полиэтилен и полипропилен получают в Новополоцке (ОАО «Нафтан»).

Рассмотрим способы получения этилена и других алкенов.

1. Дегидратация спиртов

Алкены можно получить в результате реакции отщепления воды от спиртов. Реакция отщепления молекулы воды называется реакцией *дегидратации* (приставка *де-* означает отщепление).

Этилен образуется в результате реакции дегидратации этилового спирта. Для этого смесь этилового спирта с концентрированной серной кислотой нагревают в пробирке с газоотводной трубкой (см. видео 15.1, с. 85). При этом от молекулы спирта отщепляется молекула воды и образуется этилен. Уравнение реакции:



Выделяющийся этилен легко обнаружить с помощью качественных реакций на алкены. Если этилен пропустить через бромную воду либо разбавленный водный раствор перманганата калия, они обесцветятся.

В предыдущем параграфе мы изучали обратную реакцию — присоединение воды к молекуле этилена с образованием этилового спирта. Катализатором и прямой и обратной реакции является серная кислота, но условия