

равную 30 г/моль (110 °С, атмосферное давление). Установите молекулярную формулу углеводорода.

Вы можете познакомиться с циклоалканами — насыщенными углеводородами, в молекулах которых имеется цикл из атомов углерода, перейдя по ссылке в QR-коде.

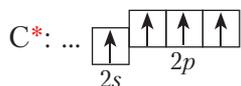


* Циклоалканы

§ 12. Алкены. Строение молекул

Атомы углерода могут быть связаны между собой не только одинарными, но и двойными связями. Простейшим углеводородом, содержащим двойную связь, является *этилен* $\text{CH}_2=\text{CH}_2$. Рассмотрим строение его молекулы.

Как и в случае алканов, углерод в молекуле этилена четырёхвалентен. Образование четырёх связей происходит за счёт четырёх атомных орбиталей:



Напомним, что в молекулах изученных нами алканов каждый атом углерода находится в состоянии sp^3 -гибридизации (§ 7). То есть одна s - и три p -орбитали атома углерода смешиваются, образуя четыре одинаковые по форме sp^3 -гибридные орбитали. Эти орбитали располагаются в пространстве на максимальном удалении друг от друга под углом примерно 109° .

Двойная связь в молекуле этилена образуется между атомами углерода, находящимися в состоянии sp^2 -гибридизации. В sp^2 -гибридизации принимают участие: одна s - и две p -орбитали (рис. 12.1).

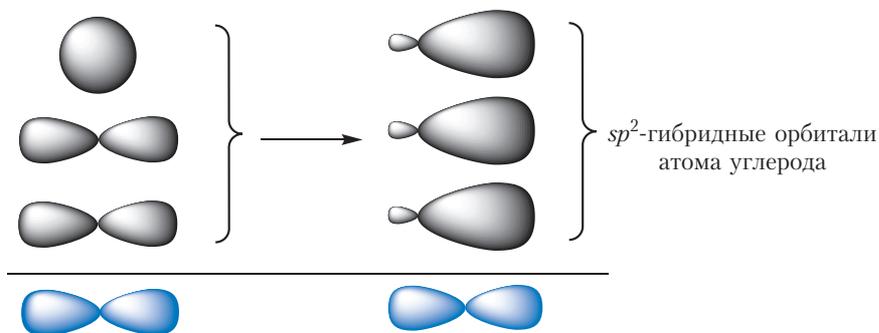


Рис. 12.1 sp^2 -Гибридизация орбиталей атома углерода

Три sp^2 -гибридные орбитали располагаются на максимальном удалении друг от друга. Это достигается, если они находятся в одной плоскости под углом 120° (рис. 12.2).

Одна p -орбиталь атома углерода (рис. 12.3, синего цвета) сохраняет свою первоначальную форму и располагается перпендикулярно плоскости, в которой лежат три sp^2 -гибридные орбитали.

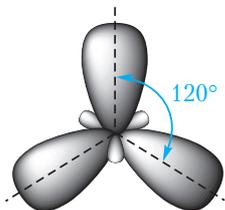


Рис. 12.2. sp^2 -Гибридные орбитали атома углерода

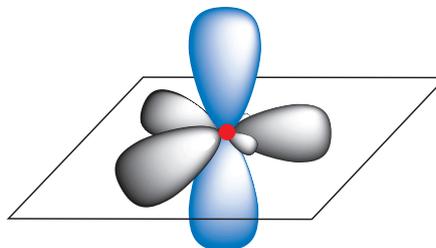


Рис. 12.3. Орбитали sp^2 -гибридизованного атома углерода

За счёт перекрывания гибридных орбиталей каждый атом углерода образует три связи — одну с соседним атомом углерода и две — с атомами водорода (рис. 12.4).

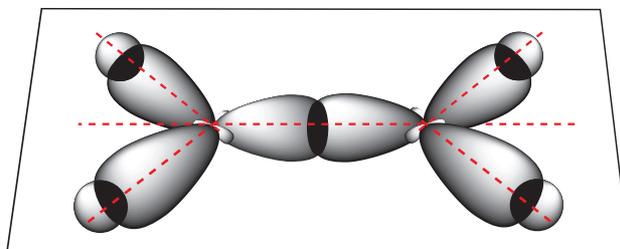


Рис. 12.4. Схема образования σ -связей в молекуле этилена

Как видно из рисунка 12.4, при образовании этих связей электронные облака перекрываются вдоль линии, соединяющей ядра атомов. Такие связи называются σ -связями (сигма-связями). Вторая связь между атомами углерода в молекуле этилена образуется за счёт бокового перекрывания негибридных p -орбиталей (рис. 12.5).

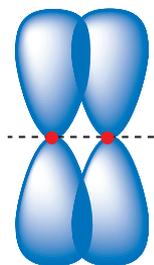


Рис. 12.5. Схема образования π -связи

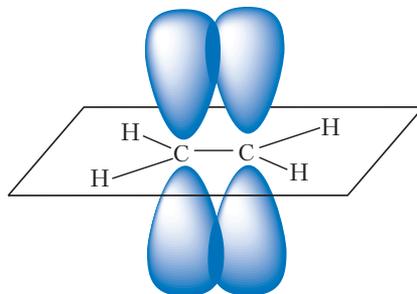
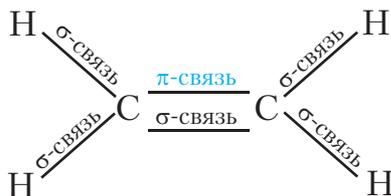


Рис. 12.6. Схема образования π -связи в молекуле этилена

Такая связь называется **π -связью**.

Таким образом, атомы углерода в молекуле этилена связаны двойной связью, одна из которых σ -связь, а другая — π -связь.

Все одинарные связи являются σ -связями. Двойная связь состоит из одной σ - и одной π -связи. Всего в молекуле этилена имеется пять σ -связей и одна π -связь:



Так как π -связь образуется за счёт слабого бокового перекрывания орбиталей, она менее прочная, чем σ -связь, которая образована за счёт перекрывания орбиталей, вытянутых навстречу друг другу. Тем не менее, атомы углерода, связанные двойной связью, сильнее сближаются друг с другом.

В молекуле этилена расстояние между атомами углерода равно 0,134 нм, что заметно меньше, чем в молекуле этана (0,154 нм).

Строение молекулы этилена может быть отображено с помощью шаростержневой модели (рис. 12.7).

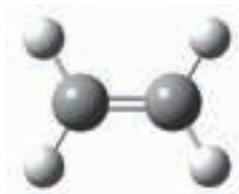
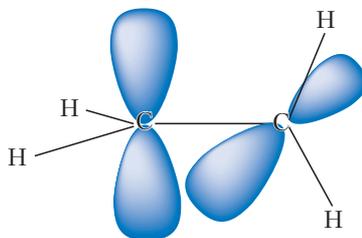


Рис. 12.7.
Шаростержневая модель молекулы этилена

Молекула этилена плоская, валентные углы примерно равны 120° . В плоскости молекулы располагается система σ -связей, а π -связь образуется

в результате перекрывания электронных облаков над и под плоскостью молекулы (рис. 12.6).

Как вы уже знаете (§ 7), в молекулах алканов легко происходит вращение вокруг одинарных связей С — С. Вокруг двойной связи С = С подобное вращение невозможно, так как оно приведёт к тому, что электронные облака π -связи разомкнутся, π -связь при этом разрушится:



Этилен является простейшим представителем **алкенов** — нециклических углеводородов, молекулы которых содержат одну двойную связь.

Ближайший гомолог этилена — *пропилен* $\text{CH}_3\text{—CH=CH}_2$. Молекулярная формула пропилена C_3H_6 . Соседние члены гомологического ряда, как и в случае алканов, различаются по составу на группу CH_2 . Совершенно очевидно, что следующий гомолог должен иметь состав C_4H_8 . Отсюда легко можно вывести общую формулу алкенов — C_nH_{2n} .

Углеводороды нециклического строения, в молекулах которых имеется одна двойная связь, называются алкенами.

Общая формула алкенов C_nH_{2n} .

Атомы углерода, образующие двойную связь, находятся в состоянии sp^2 -гибридизации.

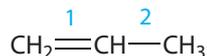
Ковалентная связь, образованная за счёт перекрывания электронных облаков вдоль линии, соединяющей ядра атомов, называется σ -связь.

Ковалентная связь, образованная за счёт бокового перекрывания негибридных p -орбиталей, называется π -связь.

Двойная связь включает одну σ - и одну π -связь. π -Связь менее прочная, чем σ -связь.

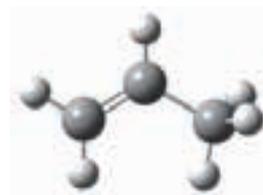
Вопросы и задания

1. Нарисуйте схему перекрывания атомных орбиталей при образовании σ - и π -связей в молекуле этилена.
2. Какая из связей углерод-углерод в молекуле пропилена имеет меньшую длину?



Какая из указанных связей прочнее?

3. Для алкенов характерны реакции присоединения по месту двойной связи. Какая связь, σ - или π - будет при этом разрываться и почему?
4. Сколько σ -связей в молекуле этана? Имеются ли π -связи в молекуле этана или других алканов?
5. На рисунке приведена шаростержневая модель молекулы пропилена. Сколько σ - и π -связей в молекуле пропилена? В каком состоянии гибридизации находятся атомы углерода, связанные двойной связью в молекуле пропилена? В каком состоянии гибридизации находится атом углерода метильной группы в молекуле пропилена?

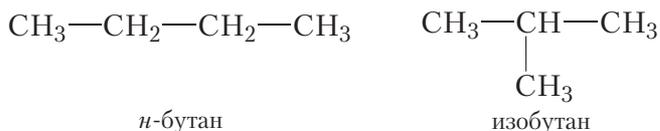


§ 13. Алкены. Структурная изомерия и номенклатура

Структурная изомерия алкенов

Ранее отмечалось, что многообразие органических соединений во многом обусловлено явлением изомерии — возможностью существования соединений одинакового состава, но различного строения. Соединения, имеющие одинаковую молекулярную, но разную *структурную* формулу, называются *структурными изомерами*. Рассмотрим структурную изомерию алкенов.

Очевидно, что не существует алкенов, изомерных этилену и пропилену. Аналогичная ситуация наблюдалась и для алканов с числом атомов углерода, равным два и три — у этана и пропана также нет изомеров. Явление изомерии у алканов проявляется, начиная с бутана. Вспомним строение молекул *n*-бутана и изобутана:



Изомеры бутана имеют разное строение углеродного скелета: у *n*-бутана линейное, у изобутана — разветвлённое.