

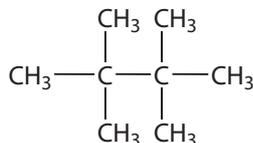
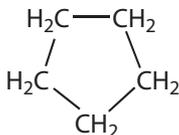
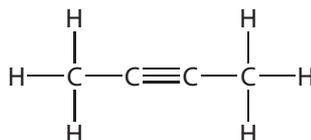
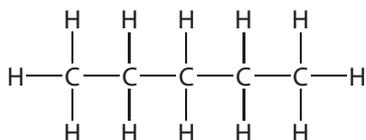
Углеводороды нециклического строения, в молекулах которых имеются только одинарные связи, называются алканами.

Общая формула алканов C_nH_{2n+2} .

Существуют два изомерных алкана состава C_4H_{10} и три изомерных алкана состава C_5H_{12} .

Вопросы и задания

1. Среди перечисленных укажите формулы алканов:



2. Напишите структурные формулы *n*-бутана и изобутана.

3. Что такое изомеры? Почему метан, этан и пропан не имеют изомеров?

4. Напишите структурные формулы всех углеводородов состава C_7H_{16} .

5. Составьте молекулярные формулы алканов, в молекулах которых содержится:
а) восемь атомов углерода; б) двадцать атомов водорода.

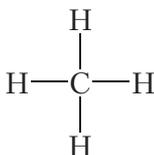
6. Какое число атомов водорода — чётное или нечётное — может содержаться в составе молекул алканов и почему?

7. Для изомерных углеводородов состава C_4H_{10} укажите первичные, вторичные и третичные атомы углерода.

§ 7. Пространственное строение молекул алканов. sp^3 -Гибридизация

В предыдущем параграфе мы рассмотрели структурные формулы некоторых алканов. Структурные формулы отражают не только состав, но и последовательность соединения атомов в молекуле. В то же время структурные формулы могут не показывать пространственного строения молекулы.

Например, структурную формулу метана часто изображают следующим образом:



Экспериментально установлено, что молекула метана не является плоской, а имеет форму правильного тетраэдра, в центре которого находится атом углерода, а в вершинах — атомы водорода:

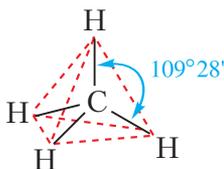
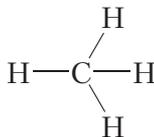


Рис. 7.1. Пространственное строение молекулы метана

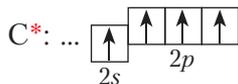
Угол между связями (*валентный угол*) в молекуле метана равен $109^{\circ}28'$.

В структурной формуле метана связи часто изображают под углом 90° . Возможны и другие варианты, например:



Все эти варианты структурных формул являются правильными, так как верно отображают последовательность соединения атомов в молекуле.

Рассмотрим строение молекулы метана более подробно. Образование связей в молекулах происходит в результате перекрывания атомных орбиталей. Строение электронной оболочки атома углерода в возбуждённом состоянии показывает электронно-графическая схема:



В возбуждённом состоянии у атома углерода имеется один электрон на *s*-орбитали и три электрона на *p*-орбиталях. При образовании ковалентных связей с атомами водорода возможны два способа перекрывания электронных облаков (рис. 7.2 и 7.3).

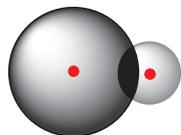


Рис. 7.2. Перекрытие $2s$ -облака атома углерода и $1s$ -облака атома водорода

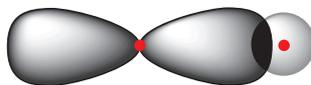


Рис. 7.3. Перекрытие $2p$ -облака атома углерода и $1s$ -облака атома водорода

Связь, образованная в результате перекрытия $2s$ -орбитали атома углерода и $1s$ -орбитали атома водорода (рис. 7.2), должна отличаться от трёх других связей, которые образуются в результате перекрытия $2p$ -орбиталей атома углерода и $1s$ -орбитали атома водорода (рис. 7.3). В действительности все четыре связи в молекуле метана совершенно одинаковы. Для объяснения этого факта используются представления о **гибридизации атомных орбиталей**.

При образовании ковалентных связей в молекуле метана четыре валентные орбитали атома углерода смешиваются и образуют четыре орбитали одинаковой формы (гибридные орбитали):

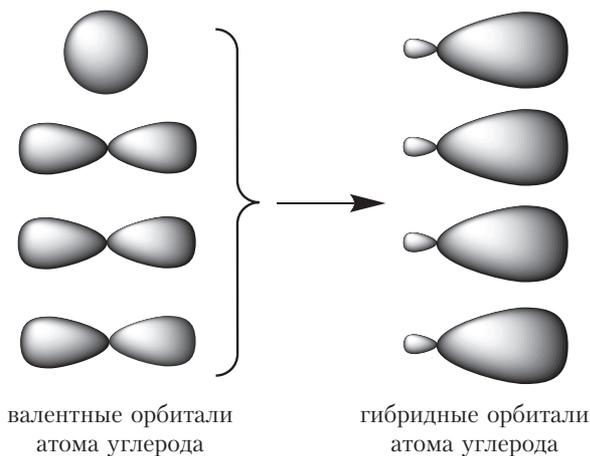


Рис. 7.4. sp^3 -Гибридизация орбиталей атома углерода

Рассмотрим, как располагаются четыре гибридные орбитали атома углерода в пространстве. Электронные облака имеют отрицательный заряд, следовательно, гибридные орбитали должны располагаться таким образом, чтобы электростатическое отталкивание одноименно заряженных

электронов было наименьшим. Данному условию отвечает расположение гибридных орбиталей под углом $109^{\circ}28'$ (рис. 7.5):

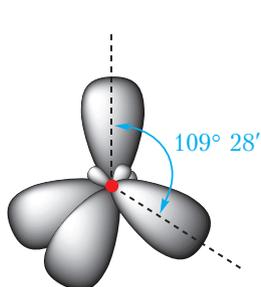


Рис. 7.5. Орбитали sp^3 -гибридизованного атома углерода

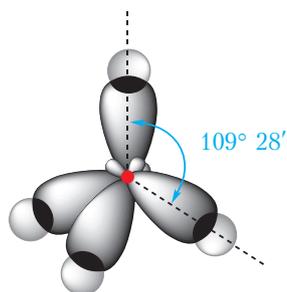


Рис. 7.6. Перекрытие электронных облаков атома углерода и четырёх атомов водорода в молекуле метана

Эти выводы подтверждаются результатами исследования с помощью физико-химических методов. Действительно, молекула метана имеет тетраэдрическую форму, угол между связями С—Н составляет $109^{\circ}28'$ (рис. 7.6).

Из схемы перекрывания электронных облаков в молекуле метана видно, что гибридные электронные облака атома углерода вытянуты к атомам водорода. Такие облака могут сильнее перекрываться с электронными облаками атомов водорода и, следовательно, образовывать более прочные связи.

В *sp^3 -гибридизации* участвуют четыре орбитали атома углерода — одна *s*- и три *p*-орбитали. sp^3 -Гибридные орбитали располагаются в пространстве под углом $109^{\circ}28'$.

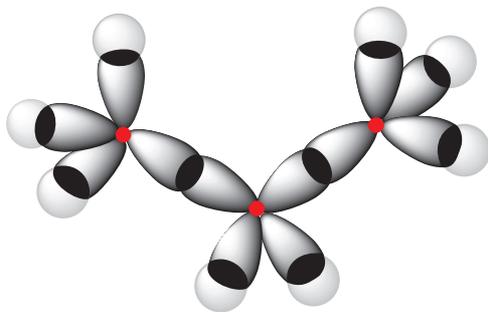


Рис. 7.7. Перекрытие электронных облаков в молекуле пропана C_3H_8

Молекулы других алканов так же, как и молекула метана, построены из sp^3 -гибридизованных атомов углерода. Каждый sp^3 -гибридизованный атом углерода образует четыре ковалентные связи. Угол между этими связями приблизительно равен 109° (рис. 7.7).

Пространственное строение молекул органических соединений можно наглядно отобразить с помощью шаростержневых моделей.

Моделями атомов углерода являются шарики серого цвета с четырьмя отверстиями; моделями атомов водорода — шарики белого цвета с одним отверстием. Модели ковалентных химических связей — пластмассовые стержни. На рисунке 7.8 показаны шаростержневые модели молекул метана, пропана и *n*-бутана.

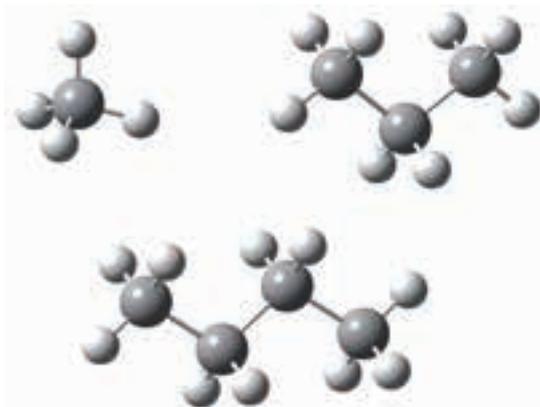


Рис. 7.8. Шаростержневые модели молекул метана, пропана и *n*-бутана

Видно, что атомы углерода в молекулах пропана и *n*-бутана не лежат на одной прямой. Например, углеродная цепь молекулы *n*-бутана имеет форму ломаной линии. Это объясняется тем, что угол между связями $C—C—C$ в молекулах алканов приблизительно равен 109° .

Для изображения структуры алканов и других органических веществ часто используют формулы, в которых вообще не указываются химические символы углерода и водорода. Формулы алканов в этом случае представляют собой ломаные линии, отображающие углеродный скелет молекулы. Такие формулы называются *скелетными формулами*. Очевидно, что скелетные формулы можно записывать для алканов, начиная с этана, при этом формула этана имеет вид чёрточки, а формула пропана представляет собой ломаную линию, состоящую из двух прямых, и т. д.:



Скелетные формулы органических соединений широко используются, наряду с обычными структурными формулами. Преимущество данных формул — компактность и быстрота написания. Кроме этого, скелетные

формулы, в отличие от структурных формул, дают представление о пространственном строении молекул органических соединений.

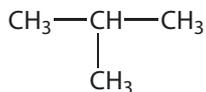
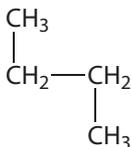
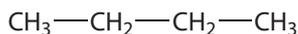
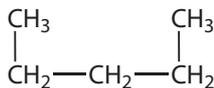
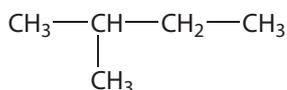
Молекулы алканов построены из sp^3 -гибридизованных атомов углерода.

Каждый sp^3 -гибридизованный атом углерода образует четыре ковалентные связи. Угол между этими связями приблизительно равен 109° .

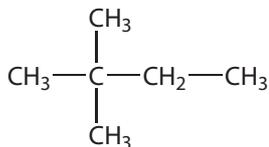
Углеродная цепь молекул алканов имеет форму ломаной линии.

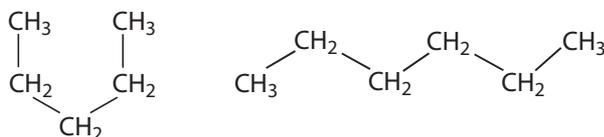
Вопросы и задания

1. Почему молекула метана не является плоской?
2. Изобразите перекрывание электронных облаков в молекуле этана. Укажите приблизительные значения валентных углов в этой молекуле.
3. Алкан, имеющий неразветвлённую цепь из шести атомов углерода, называется *n*-гексан. Составьте структурную формулу *n*-гексана. Почему углеродная цепь молекулы *n*-гексана не является прямой линией, а имеет форму ломаной линии? Может ли углеродная цепь молекулы *n*-гексана принимать другие пространственные формы?
4. Укажите, сколько различных веществ обозначено следующими структурными формулами:



5. Найдите изомеры среди веществ, формулы которых приведены ниже:





6. Чему равны значения длин связей C—C и валентных углов в молекулах алканов?

Лабораторный опыт 1

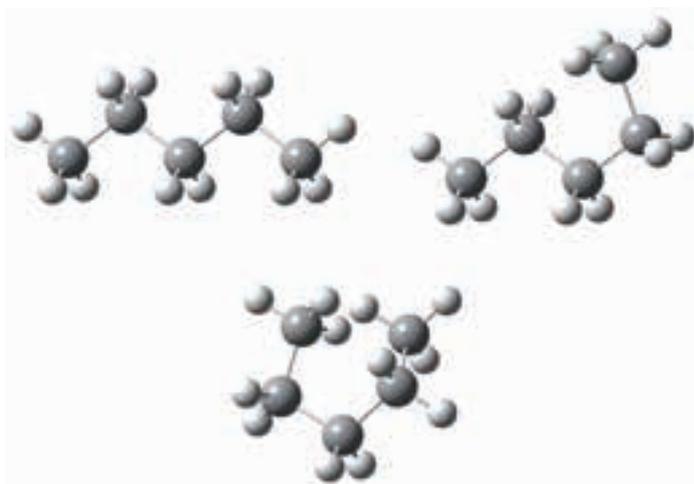
Изготовление шаростержневых моделей молекул углеводородов

Из предложенного комплекта шаров и стержней соберите модели молекул метана, этана, пропана, *n*-бутана и *n*-пентана.

В молекулах алканов легко происходит вращение вокруг связей углерод-углерод (видео 7.1). Благодаря этому, углеродная цепь молекул алканов может принимать различные пространственные формы. Путём вращения вокруг связей углерод-углерод придайте шаростержневой модели молекулы *n*-пентана пространственные формы, представленные на рисунке:



Видео 7.1.
Вращение вокруг
связи C—C



Шаростержневые модели молекулы *n*-пентана

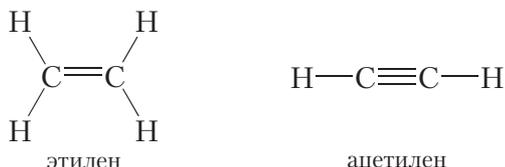
Нарушается ли последовательность соединения атомов в молекуле при вращении вокруг связей углерод-углерод? Являются ли структуры, представленные на рисунке, изомерами?

Соберите шаростержневые модели изомеров *n*-пентана. Можно ли получить эти модели, исходя из модели *n*-пентана, путём вращения вокруг связей углерод-углерод?

§ 8. Гомологический ряд и физические свойства алканов

Из материала предыдущих параграфов вы познакомились с органическими соединениями, относящимися к классу *алканов*. Алканы называют также *предельными* углеводородами. Название предельные углеводороды обусловлено тем, что молекулы алканов содержат предельно возможное число атомов водорода.

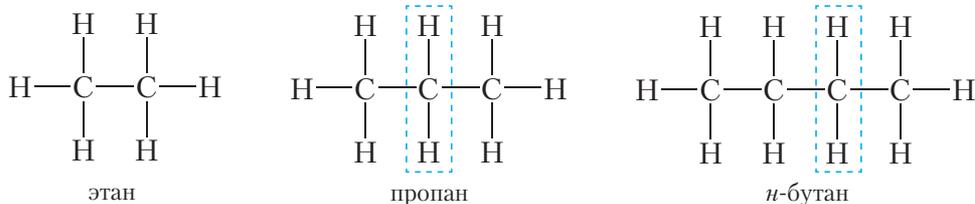
Атомы углерода в молекулах алканов соединены только одинарными связями. Такие вещества называют *насыщенными*. В отличие от насыщенных углеводородов, в молекулах *ненасыщенных* соединений имеются атомы углерода, связанные двойными или тройными связями. Примеры ненасыщенных углеводородов:



Ненасыщенные углеводороды будем изучать позднее, пока сосредоточим внимание на насыщенных углеводородах — алканах.

Мы пока познакомились лишь с несколькими представителями алканов, однако очевидно, что соединений этого класса может быть огромное число, как за счёт возможности образования углеродных цепей различной длины, так и за счёт изомерии. Состав всех алканов описывается общей формулой $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$.

Легко видеть, что состав молекулы этана отличается от состава молекулы метана на один атом углерода и два атома водорода — CH_2 . Такую же разницу в составе имеют молекулы пропана и этана, *n*-бутана и пропана:



В то же время состав *n*-бутана и этана различается на две группы CH_2 . Таким образом, молекулы алканов по составу отличаются друг от друга на одну или несколько групп CH_2 . При этом молекулы алканов имеют сходное строение: связи между атомами углерода одинарные, остальные

связи углерод образует с водородом. Поэтому разные алканы имеют похожие химические свойства.

Вещества, сходные по строению и химическим свойствам и отличающиеся по составу молекул на одну или несколько групп CH_2 , называются **гомологами** и образуют **гомологический ряд**.

Например, метан, этан и пропан являются гомологами.

Понятие «гомологический ряд» является важным в органической химии. По причине огромного множества органических соединений, изучение химических свойств каждого органического вещества не представляется возможным, поэтому сходные по строению вещества объединяют в гомологические ряды и изучают общие свойства представителей данного гомологического ряда. Мы не будем рассматривать отдельно химические свойства метана, затем свойства этана и т. д. Вместо этого изучим свойства, присущие всем алканам.

Рассмотрим физические свойства алканов. В таблице 8.1 приведены температуры кипения неразветвлённых алканов, молекулы которых содержат от одного до десяти атомов углерода.

Таблица 8.1. Температуры кипения неразветвлённых алканов

Молекулярная формула	Структурная формула	Температура кипения ($t_{\text{кип}}$, °C)
CH_4	CH_4	-162
C_2H_6	$\text{CH}_3\text{—CH}_3$	-89
C_3H_8	$\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—CH}_3$	-42
C_4H_{10}	$\text{CH}_3\text{—(CH}_2\text{)}_2\text{—CH}_3$	-0,5
C_5H_{12}	$\text{CH}_3\text{—(CH}_2\text{)}_3\text{—CH}_3$	36
C_6H_{14}	$\text{CH}_3\text{—(CH}_2\text{)}_4\text{—CH}_3$	69
C_7H_{16}	$\text{CH}_3\text{—(CH}_2\text{)}_5\text{—CH}_3$	98
C_8H_{18}	$\text{CH}_3\text{—(CH}_2\text{)}_6\text{—CH}_3$	126
C_9H_{20}	$\text{CH}_3\text{—(CH}_2\text{)}_7\text{—CH}_3$	151
$\text{C}_{10}\text{H}_{22}$	$\text{CH}_3\text{—(CH}_2\text{)}_8\text{—CH}_3$	174

Из данных таблицы видно, что температуры кипения метана, этана, пропана и *n*-бутана ниже 0 °С, следовательно, эти вещества при нормальных условиях должны быть газообразными. Действительно, метан, этан, пропан и *n*-бутан при комнатной температуре являются бесцветными газами. Алканы с большим числом атомов углерода в молекуле (от 5 до 15) представляют собой жидкости со специфическим запахом. Эти алканы входят в состав бензина, керосина, многих растворителей. Алканы с ещё большим числом атомов углерода в молекуле (от 16 и более) представляют собой твёрдые вещества. Они хорошо знакомы вам — из твёрдых алканов изготавливают парафиновые свечи. Название *парафины* (от лат. *parum* — мало и *affinis* — имеющий сродство) — ещё одно название алканов. Это название указывает на низкую химическую активность алканов, химические свойства которых будут рассмотрены в дальнейшем.

Алканы нерастворимы в воде, но хорошо растворяются в органических растворителях. Вспомните правило, известное вам из курса неорганической химии, «подобное растворяется в подобном». Это значит, что обычно хорошо смешиваются между собой вещества, имеющие сходное строение. Например, вода, молекулы которой являются полярными, хорошо растворяет вещества с ионными и ковалентными полярными связями — кислоты, щёлочи, соли. Напротив, вещества, молекулы которых образованы ковалентными неполярными либо малополярными связями, не растворяются в воде, зато растворяются в жидкостях, состоящих из неполярных молекул. Приведём пример: пятно от машинного масла на ткани практически невозможно удалить с помощью воды, но оно может быть с успехом удалено бензином, поскольку машинное масло и бензин состоят из веществ сходного строения, углеводородов.

Жидкие и твёрдые алканы имеют плотность менее 1 г/см³, то есть меньше плотности воды. Если поместить в химический стакан воду, а затем добавить пентан, то полученная смесь разделится на два слоя, причём пентан соберётся в верхней части, а снизу будет вода (рис. 8.1).

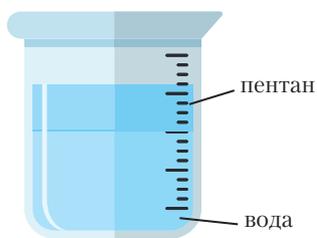


Рис. 8.1. Расслоение смеси пентана с водой

Такой же эффект наблюдается при попадании нефти в воду. При этом на поверхности воды образуется плёнка из нефти, что наносит огромный ущерб живым организмам. Поэтому аварии, связанные с разливом нефти, особенно опасны для окружающей среды.

Углеводороды, в молекулах которых атомы углерода соединены только одинарными связями, называются насыщенными.

Алканы являются насыщенными углеводородами.

Алканы называют также предельными углеводородами, поскольку молекулы алканов содержат предельно возможное число атомов водорода.

Молекулы алканов имеют сходное строение и по составу отличаются друг от друга на одну или несколько групп CH_2 .

Вещества, сходные по строению и химическим свойствам, отличающиеся по составу молекул на одну или несколько групп CH_2 , называются гомологами и образуют гомологический ряд.

В гомологическом ряду алканов по мере увеличения числа атомов углерода в молекуле растут температуры кипения.

Алканы не растворяются в воде, но растворяются в органических растворителях.

Вопросы и задания

1. Почему алканы называют предельными и насыщенными углеводородами?
2. Какие соединения образуют гомологический ряд? Являются ли гомологами метан и этилен?
3. Алкан, имеющий неразветвленную цепь из пяти атомов углерода, называется *n*-пентан. Составьте формулы двух изомеров и двух гомологов *n*-пентана. Является ли углеводород состава C_7H_{16} гомологом пентана?
4. Приведите формулы газообразных при нормальных условиях алканов. Изобутан (изомер *n*-бутана) имеет температуру кипения, равную -12°C . В каком агрегатном состоянии находится изобутан при нормальных условиях?
5. В процессе ремонта автомобилей загрязнённые машинным маслом детали иногда промывают керосином. Можно ли для этой цели использовать воду либо водные растворы кислот или щелочей и почему?
6. Алканы содержатся в нефти. Какие физические свойства алканов объясняют образование плёнки на поверхности воды при попадании в неё нефтепродуктов?
7. Постройте график зависимости температуры кипения алканов от числа атомов углерода в их молекулах.
8. Среди перечисленных укажите формулы предельных углеводородов: C_2H_6 , C_3H_6 , C_8H_{14} , C_9H_{20} .

Вы можете познакомиться с особенностями газообразного состояния вещества, перейдя по ссылке в QR-коде.



* Закон Авогадро.
Относительная плотность газов. Объёмная доля газа в смеси