

состава  $C_4H_8Br_2$ , молекула которого имеет симметричное строение. Приведите структурную формулу алкина и алкена, а также уравнения всех протекающих реакций.

6. При осуществлении сварочных работ для получения ацетилена из карбида кальция используются генераторы ацетилена, один из которых изображён на рисунке. Какой объём ацетилена ( $дм^3$ , н. у.) можно получить из 3 кг технического карбида кальция, содержащего 22 % примесей?



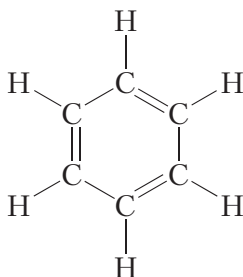
## § 19. Ароматические углеводороды. Бензол, строение молекулы

Название «ароматические соединения» возникло потому, что первые известные представители этого класса, полученные ещё в начале XIX века, обладали приятным запахом. Позднее оказалось, что большинство веществ, которые по строению и химическим свойствам принадлежат к этой же группе, не имеют приятного запаха. Однако исторически сложившееся общее название этих соединений сохранилось.

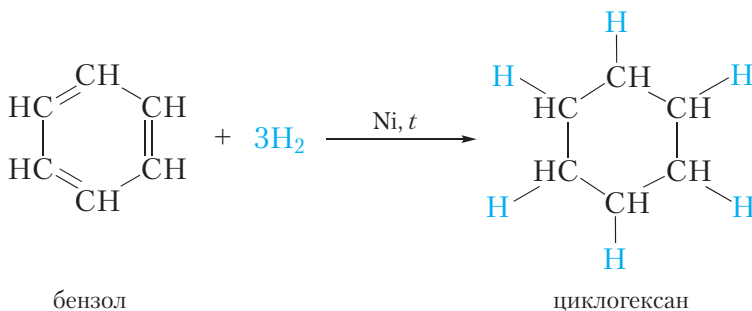
Простейшим представителем ароматических углеводородов является бензол. Его молекулярная формула  $C_6H_6$ .

Бензол — легкокипящая ( $t_{кип} = 80\text{ }^\circ\text{C}$ ), бесцветная, нерастворимая в воде жидкость с характерным запахом. При охлаждении бензол легко застывает в белую кристаллическую массу с температурой плавления  $5,5\text{ }^\circ\text{C}$ .

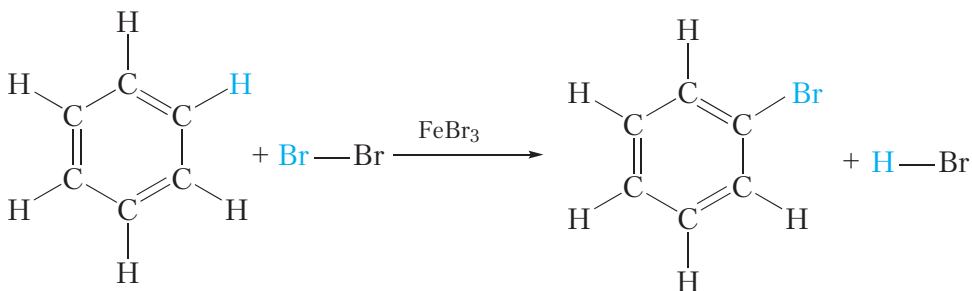
Открыл бензол великий английский физик Майкл Фарадей. В 1825 году ему удалось выделить бензол из каменноугольной смолы. Позже были установлены простейшая  $CH$  и молекулярная  $C_6H_6$  формулы бензола. Однако долгое время не удавалось установить строение молекулы данного вещества. Через сорок лет после открытия бензола немецкий химик Август Кекуле сделал правильное предположение о циклическом строении молекулы бензола и предложил следующую структурную формулу:



Представленная формула бензола называется формулой Кекуле. Формула Кекуле показывает, что молекула бензола имеет плоское строение, валентные углы равны  $120^\circ$ . Из формулы Кекуле также следует, что для гидрирования молекулы бензола до циклогексана требуются три молекулы водорода:



Все эти выводы подтверждаются экспериментальными данными. Однако формула Кекуле не объясняет ряд особых свойств бензола. Так, бензол **не вступает в качественные реакции на двойную С=С связь**. Он, в отличие от алкенов, не обесцвечивает бромную воду и раствор перманганата калия. В присутствии катализатора бензол реагирует с галогенами, однако при этом происходит не присоединение галогена, а замещение атома водорода в молекуле бензола на галоген:



Кроме того, экспериментально установлено, что все связи углерод-углерод в молекуле бензола имеют одинаковую длину. Столь необычные свойства бензола удалось объяснить только в XX веке, используя современную теорию строения вещества.

Из формулы Кекуле следует, что двойные связи в молекуле бензола являются сопряжёнными. На примере бутадиена-1,3 мы видели, что сопряже-

ние ведёт к некоторому выравниванию длин двойных и одинарных связей. В молекуле бензола сопряжение настолько сильное, что длины всех связей углерод-углерод становятся одинаковыми:

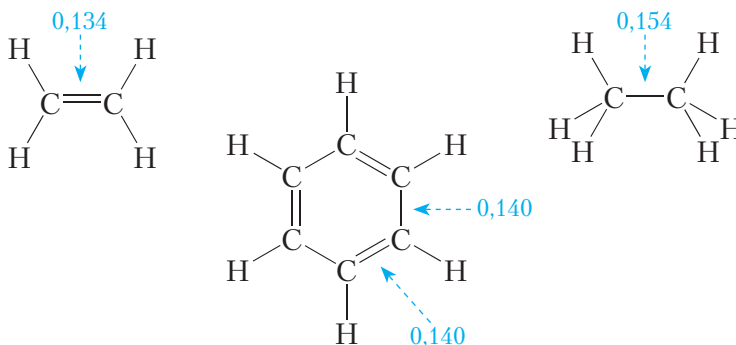


Рис. 19.1. Длины связей (нм) в молекуле бензола в сравнении с длинами связей в молекулах этилена и этана

Таким образом, в молекуле бензола нет двойных и одинарных связей. Каждый атом углерода в молекуле бензола, как и в бутадиене-1,3, находится в состоянии  $sp^2$ -гибридизации.  $\pi$ -Электроны *делокализованы* и образуют не три отдельные  $\pi$ -связи, а единую  $\pi$ -систему (*сопряжённую систему  $\pi$ -связей*):

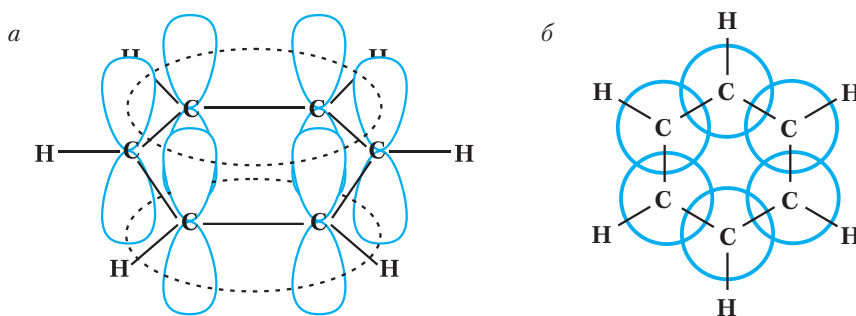
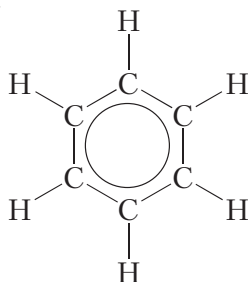


Рис. 19.2. Схема образования единой системы  $\pi$ -электронов в молекуле бензола: а — вид сбоку; б — вид сверху

Поскольку  $\pi$ -электроны распределяются в молекуле бензола равномерно между всеми атомами углерода, то связи между всеми атомами углерода оказываются совершенно одинаковыми.

Чтобы показать равномерность распределения  $\pi$ -электронов в молекуле бензола, его структурную формулу часто изображают в виде шестиугольника с окружностью внутри:

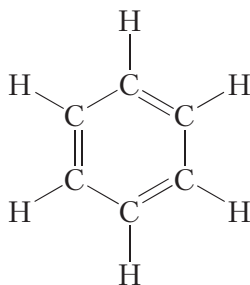


В данной формуле шестиугольник отображает  $\sigma$ -связи между атомами углерода, а окружность — систему  $\pi$ -связей.

Шаростержневая модель молекулы бензола:



Наряду с формулой бензола, в которой показана делокализация  $\pi$ -электронов, нередко пользуются формулой Кекуле, учитывая при этом, что она не совсем точно передаёт строение бензола:



Широко используются также более компактные скелетные формулы бензола:



Делокализация  $\pi$ -электронов придаёт молекуле бензола дополнительную устойчивость. Поэтому для бензола характерны реакции, в которых сопряжённая система  $\pi$ -связей в молекуле сохраняется. Такими реакциями являются реакции замещения (см. уравнение реакции с бромом, с. 108).

Как уже отмечалось, бензол является простейшим представителем ароматических углеводородов. Его гомологи могут рассматриваться как продукты замещения одного или нескольких атомов водорода в молекуле бензола на углеводородные радикалы. Формулы и названия некоторых гомологов бензола приведены на рисунке 19.3.

Как видно, для построения названий веществ, в молекулах которых с бензольным кольцом соединено несколько углеводородных радикалов, атомы углерода бензольного кольца нумеруют таким образом, чтобы заместители получили наименьшие номера, и при помощи цифр в названии указывают положение заместителей.

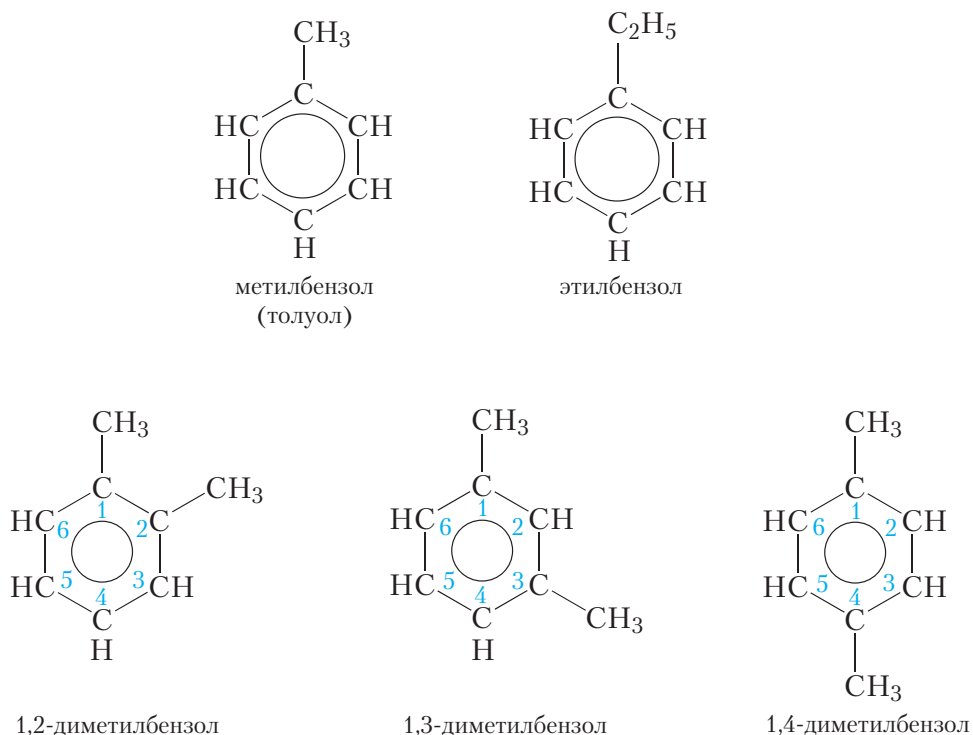


Рис. 19.3. Структурные формулы и названия некоторых гомологов бензола

Бензол  $C_6H_6$  — простейший представитель класса ароматических углеводородов.

Молекула бензола имеет плоское строение, валентные углы равны  $120^\circ$ , длины всех связей углерод-углерод одинаковы.

$\pi$ -Электроны в молекуле бензола делокализованы и образуют единую сопряжённую систему  $\pi$ -связей.

Сопряжённая система  $\pi$ -связей придаёт молекуле бензола повышенную устойчивость, поэтому для бензола характерны реакции, в которых сопряжённая система сохраняется.

### Вопросы и задания

1. В чём состоит главная особенность строения молекулы бензола? Почему бензол не вступает в качественные реакции на двойные  $C=C$  связи?
2. Какие химические реакции (присоединения или замещения) более характерны для бензола и почему? Приведите уравнения реакций этена с бромной водой и бензола с бромом в присутствии катализатора.
3. Напишите структурную формулу ближайшего гомолога бензола — толуола. Сколько атомов углерода в молекуле толуола лежит в одной плоскости?
4. Среди веществ, приведённых на рисунке 19.3, укажите изомеры.
5. Выведите общую формулу гомологического ряда бензола.
6. В результате сжигания 1,17 г твёрдого при нормальных условиях углеводорода было получено 2,016  $dm^3$  (н. у.) углекислого газа и 0,81 г воды. Углеводород не обесцвечивает бромную воду. Установите структурную формулу этого соединения.

## § 20. Химические свойства, получение и применение бензола

### Химические свойства бензола

Как вы уже знаете, в молекуле бензола имеется устойчивая сопряжённая система  $\pi$ -связей. Поэтому для бензола характерны реакции замещения, так как в этих реакциях сопряжённая система сохраняется. Наоборот, реакции присоединения для бензола малохарактерны. Так, бензол не обесцвечивает бромную воду, но в присутствии катализатора он вступает с бромом в реакцию замещения.