

фактов, которые заслуживают внимания. Она означает, что поле E , приложенное в направлении оси x , всегда вызывает z -компоненту поляризации, в точности равную x -компоненте поляризации, которая была бы вызвана равным полем, приложенным вдоль оси z . Если это кажется вам очевидным или тривиальным, вспомните, что это справедливо даже для совершенно несимметричной молекулы, например, для изображенной на рис. 9.15. Симметрия, аналогичная теореме взаимности, которую, в виде равенства взаимных индуктивностей, мы доказали в разделе 7.7, возникает не только из чисто геометрических условий, но из чего-то более сложного. В задаче 9.22 показано, как можно доказать симметрию тензора поляризуемости.

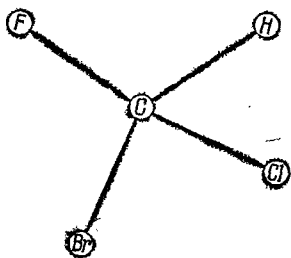


Рис. 9.15. Несимметричная молекула бромхлорофторометана. Это метан с тремя различными галоидами, замещающими три атома водорода. Все длины связей и углы тетраэдра несколько различны.

Из симметрии тензора поляризуемости α следует, что координатные оси всегда можно расположить таким образом, что «внедиагональные» коэффициенты α_{xy} и т. д. будут равны нулю. В такой системе координат поляризуемость молекулы полностью описывается тремя числами α_{xx} , α_{yy} и α_{zz} .

Это справедливо даже для молекулы, которая сама совершенно несимметрична. У нас нет времени, чтобы подробно заняться этими свойствами поляризуемости. Они чрезвычайно важны для понимания оптических свойств молекул и известны в данное время, пожалуй, даже больше химикам, чем физикам. Главной целью отступления в область тензора поляризуемости было ознакомление при помощи этого легко усваиваемого примера с природой тензора.

9.7. Собственные дипольные моменты

Некоторые молекулы так устроены, что имеют электрические дипольные моменты даже в отсутствие электрического поля. Они не симметричны даже в нормальном состоянии. Пример такой молекулы показан на рис. 9.15. Более простым примером может служить любая двухатомная молекула, состоящая из двух различных атомов, например, соляная кислота HCl . На оси такой молекулы нет ни одной точки, относительно которой молекула была бы симметрична; оба конца молекулы физически различны. Совпадение «центров тяжести» положительного и отрицательного зарядов в одной и той же точке на оси было бы чистой случайностью. При образовании молекулы HCl из первоначально сферических атомов H и Cl электрон атома H частично сдвигается по структуре Cl , оставляя ядро водорода частично обнаженным. Таким образом, на водородном конце молекулы имеется некоторый избыток положительных зарядов, а на конце с хлором соответствующий избыток отрицательных зарядов.

Величина результирующего электрического дипольного момента равна $1,03 \cdot 10^{-18}$ ед. СГСЭ_q·см, что эквивалентно сдвигу электрона на одну пятую ангстрема. Для сравнения укажем, что атом водорода в поле 30 кв/см (поляризуемость см. в табл. 9.2) имеет индуцированный момент, близкий к 10^{-22} ед. СГСЭ_q·см. Собственные дипольные моменты, если они существуют, как правило, гораздо больше любого дипольного момента, индуцированного обычными лабораторными электрическими полями *). Это означает, что между полярными молекулами, т. е. молекулами с «вмонтированными» дипольными моментами, и неполярными молекулами существует очень резкое различие.

В начале раздела 9.5 было указано, что атом водорода имеет в любой момент времени дипольный момент, но благодаря быстрому движению электрона этот момент в среднем по времени равен нулю. Теперь мы говорим о молекулярных дипольных моментах таким образом, как будто молекула является обычным неподвижным предметом, концы которого можно рассмотреть без усилий подобно концам бейзбольной биты! Молекулы движутся гораздо медленнее, чем электроны, однако по сравнению с обычными объектами скорость их велика. Почему им можно приписать «собственные» электрические дипольные моменты? Хорошо, если это противоречие вас беспокоит. Полного ответа на этот вопрос без привлечения квантовой механики дать нельзя, но различие связано в основном с различием в шкале времени. Время взаимодействия молекулы с ее окружением обычно меньше времени, в течение которого происходят усреднение и сглаживание дипольного момента молекулы в результате ее внутреннего движения. Следовательно, молекула в действительности ведет себя так, как будто у нее имеется момент, о котором мы говорили. Очень короткий промежуток времени взаимодействия для мира молекулы и ее соседей является весьма продолжительным.

На рис. 9.16 изображено несколько обычных полярных молекул, причем для каждой молекулы указаны направления и величины собственных дипольных моментов. Молекула воды имеет электрический дипольный момент, потому что она согнута в середине: оси O—H составляют угол, близкий к 105° . Эта структурная особенность имеет далеко идущие последствия. Свойства воды как растворителя объясняются главным образом существованием у ее молекул дипольного момента. Этот момент играет также важную роль в химических реакциях, происходящих в присутствии воды. Трудно вообразить, на что был бы похож мир, если бы атомы в молекуле H_2O были расположены по прямой линии, как в молекуле CO_2 ; вероятно, наблюдать это было бы некому. Следует добавить, что форма моле-

*) Причина заключается в следующем: внутренние электрические поля в атомах и молекулах имеют порядок $e/(10^{-8} \text{ см})^2$, что составляет примерно 10^9 в/см! Вещество в лаборатории нельзя поместить в такое поле по той простой причине, что поле разорвало бы его на кусочки.

кулы H_2O не является капризом природы. Такая структура молекулы, состоящей из атома с восемью электронами, соединенного с двумя атомами с одним электроном каждый, обоснована законами квантовой механики. Поведение диэлектрика, состоящего из полярных молекул, поразительно отличается от поведения диэлектрика из неполярных молекул. Диэлектрическая постоянная воды равна приблизительно 80, метилового спирта 33, в то время как диэлектрическая постоянная типичной неполярной жидкости близка к 2. Электрическое поле, приложенное к неполярному веществу, индуцирует в каждой молекуле небольшой дипольный момент. В полярном веществе всегда имеются достаточно сильные диполи, но при

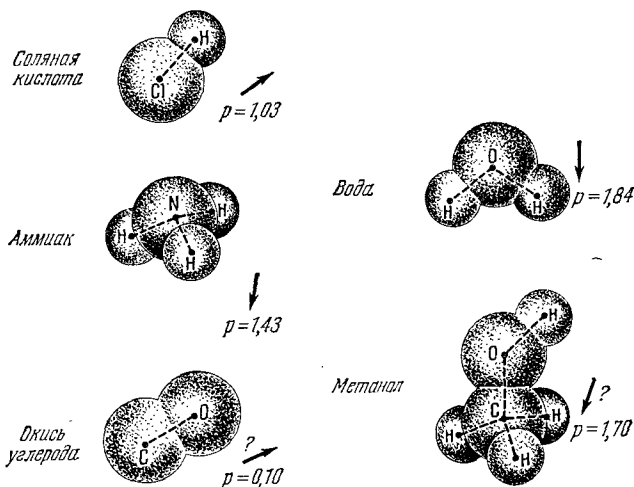


Рис. 9.16. Несколько известных полярных молекул. Величины «собственных» дипольных моментов p даны в единицах 10^{-18} ед. СГСЭ_г. см.

отсутствии внешнего поля они направлены случайным образом и поэтому не вызывают явлений макроскопического масштаба. Приложенное электрическое поле только ориентирует — в некоторой степени — постоянные дипольные моменты. В обоих типах диэлектриков макроскопические эффекты определяются, однако, полной поляризацией, приходящейся на единицу объема.

9.8. Электрическое поле, созданное поляризованным веществом

Предположим, что мы создаем какой-то кусок вещества, собирая очень большое количество молекул в первоначально пустую область пространства. Предположим также, что все эти молекулы поляризованы в одном и том же направлении.

Пока нас не интересует ни природа молекул, ни средства, с помощью которых сохраняется их поляризация. Мы рассматриваем только электрическое поле, вызываемое молекулами, когда они