

излучения (с длиной волны 1650 нм) происходит фотохим. диссоциация В. Ионизирующие излучения вызывают радиолиз В. с образованием H_2 , перекиси водорода H_2O_2 и свободных радикалов ($H\cdot$, $OH\cdot$, $HO_2\cdot$).

В. взаимодействует со мн. элементами и веществами. Так, при реакции В. с наиб. активными металлами выделяется водород и образуется соответствующая гидроксид. При реакции В. со мн. окислами образуются к-ты или основания. В. гидролизует гидриды и карбиды щелочных и щелочноземельных металлов и др. вещества.

Среди кристаллогидратов особый интерес представляют клатратные гидраты, в к-рых молекулы В., соединяясь водородными связями друг с другом, образуют трёхмерный каркас, содержащий крупные пустоты, в к-рых размещаются молекулы др. веществ (в т. ч. атомы инертных газов, молекулы углеводородов, CO_2 , Cl_2 и др.). Эти клатратные гидраты можно рассматривать как неустойчивые в свободном состоянии модификации льда, стабилизированные внедрившимися в пустоты химически малоактивными молекулами.

Лит.: Хорн Р., Морская химия, пер. с англ., М., 1972; Молекулярная физика и биофизика водных систем, в. 1—4, Л., 1973—79; Юхневич Г. В., Инфракрасная спектроскопия воды, М., 1973; Эйзенберг Д., Кауцман В., Структура и свойства воды, пер. с англ., Л., 1975; Синюков В. В., Структура одноатомных жидкостей, воды и водных растворов электролитов. Историко-химический анализ, М., 1976; Маленков Г. Г., Структура воды, в сб.: Физическая химия. Современные проблемы, М., 1984; Water: a comprehensive treatise, ed. by F. Franks, [v. 1—8], N.Y.—L., 1972—79.

Г. Г. Маленков.

ВОДОРОД (лат. Hydrogenium, от греч. $hydro$ — вода и $genáo$ — рождаю), H , — первый элемент периодич. системы элементов, ат. номер 1, ат. масса 1,00794. В природе встречаются 3 изотопа: стабильные протий 1H (99,985%) и дейтерий D , или 2H (0,015%), и β -радиоактивный тритий T , или 3H (в ничтожных кол-вах, $T_{1/2} = 12,43$ года). Искусственно получен крайне неустойчивый 4H . В земной коре на долю В. приходится 1% по массе (16 ат. %), атм. содержание В. менее $10^{-4}\%$ (по объёму), а во Вселенной В. — самый распространённый элемент. Конфигурация электронной оболочки атома В. $1s^1$, энергия ионизации 13,598 эВ. Ковалентный радиус атома H 0,028 нм, радиус иона H^- 0,136 нм. Значение электроотрицательности 2,1.

Молекула В. двухатомна (H_2), межъядерное расстояние 0,084142 нм, энергия диссоциации высока и при 0 К составляет 432,07 кДж/моль, поэтому диссоциация H_2 становится заметной только при высоких темп-рах (степень диссоциации 0,0043 при 2000 °С и 0,95 при 5000 °С). В зависимости от взаимной ориентации ядерных спинов существуют 2 состояния молекулярного В. — орто-водород (параллельные спины) и пара-водород (антипараллельные спины), различающиеся по физ. свойствам и содержащиеся обычно в отношении 3 : 1. При понижении темп-ры содержание пара-водорода растёт и при 0 К составляет 100 %.

При обычных условиях В. — бесцветный газ, $t_{пл} = -259,19$ °С, $t_{кип} = -252,77$ °С, плотность газообразного В. (при нормальных условиях) 0,08988 кг/м³, жидкого (23,1 К) 67,2 кг/м³, твёрдого (13 К) 76 кг/м³; критич. темп-ра -240 °С, давление 1,296 МПа (12,8 атм), плотность 31,2 кг/м³. Вязкость (15 °С, 101,33 кПа) 8,7 мкПа·с. Из всех газов В. обладает наивысшей теплопроводностью — 0,168 Вт/(м·К) (при нормальных условиях). Уд. теплоёмкости (0—200 °С): $c_p = 14,21$ кДж/(кг·К), $c_v = 10,12$ кДж/(кг·К). Теплота плавления 58,2 кДж/кг, теплота кипения 450 кДж/кг. В воде В. мало растворим (0,0182 мл/г при 20° и 101,33 кПа), хорошо растворим в палладии (до 850 объёмов В. на 1 объём Pd), никеле, платине и др. металлах; диффундирует через мн. металлы, в частности через сталь.

При комнатной темп-ре и давлении 5,7 ГПа В. образует молекулярный кристалл. При дальнейшем повышении давления прочность связи в молекулах H_2 ослабевает и при сверхвысоких давлениях водород станет

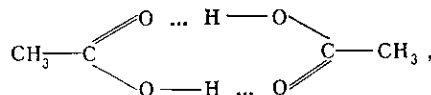
одноатомным кристаллом, к-рый должен обладать металлич. свойствами. Имеются сообщения о переходе твёрдого В. при низких темп-рах (ок. 4 К) и сверхвысоких давлениях в металлич. состоянии.

В хим. соединениях проявляет степени окисления +1 и реже —1. При обычных условиях химически малоактивен, но при нагревании способен реагировать со мн. веществами. Важное значение имеет реакция H_2 с оксидом углерода (II) CO , при к-рой в зависимости от темп-ры, давления и катализатора получаются разл. органич. соединения. В. широко применяется в хим. синтезах, используется при заполнении шаровозондов и т. п., при сварке и резке металлов. Дейтерию и тритию отводят важную роль в осуществлении управляемого термоядерного синтеза. С. С. Бердосюсов.

ВОДОРОДНАЯ СВЯЗЬ — тип связи между атомами, промежуточный между валентным и невалентным межатомным взаимодействием. В. с. может образоваться при наличии атома H между двумя эл.-отрицат. атомами — F , N или O , причём с одним из этих двух атомов атом водорода связан ковалентной связью.

Природа В. с. состоит в том, что электронная плотность на линии связи $O-H$ ($N-H$ и т. д.) смещается к более эл.-отрицат. атому O (N и т. д.). При этом протон водорода «оголяется», что способствует сближению эл.-отрицат. атомов соседних молекул. В результате расстояния $O...O$ и $N...O$ в В. с. $O-H...O$ и $N-H...O$ оказываются примерно равными сумме ван-дер-ваальсовых атомных радиусов, т. е. эл.-отрицат. атомы в кристаллах сближаются так, как будто бы атома водорода между ними нет.

Энергия В. с. на 1—1,5 порядка меньше энергии хим. связи и на 2—3 порядка больше энергии невалентного ван-дер-ваальсова взаимодействия. Наиб. сильную В. с. образуют между собой молекулы HF , к-рые способны соединяться в полимерные структуры H_2F_2 , H_3F_3 , H_4F_4 , H_5F_5 и H_6F_6 (последняя особенно устойчива, поскольку является кольцеобразной и, следовательно, стабилизирована дополнительной В. с.). Весьма сильные В. с. (с энергией ~ 30 кДж/моль каждая) стабилизируют димер муравьиной к-ты



устойчивый даже в парообразном состоянии. В жидкой и твёрдой воде энергия В. с. составляет ~ 20 кДж/моль. Примерно такой же энергией характеризуются В. с. $N-H...O$ и $O-H...O$ во мн. биологически важных молекулах — белках, нуклеиновых к-тах, углеводах и пр.

Наличием В. с. обусловлено строение структуры и физ. свойств воды и водных растворов. Кристаллич. структура льда, существующая при обычных условиях, представляет собой ажурную сетку В. с., в к-рой имеется большое кол-во пустот. При плавлении льда эти пустоты частично заполняются молекулами воды, и потому плотность воды выше плотности льда.

В. с. могут быть не только межмолекулярными (как в рассмотренных выше примерах), но и внутримолекулярными. Внутримолекулярные В. с. являются одним из осн. факторов, стабилизирующих глобулярную структуру молекул белков, к-рая определяет функционирование белков в живых клетках; они же в значительной степени влияют на свойства древесины и бумаги, построенных из волокон целлюлозы, и отвечают за уникальную структуру молекул нуклеиновых к-т.

Лит. см. при ст. Межатомное взаимодействие.

В. Г. Давешский.

ВОДОРОДНЫЙ ГЕНЕРАТОР — квантовый генератор высокостабильных эл.-магн. колебаний, работа к-рого основана на вынужденном испускании фотонов атомами водорода. В. г. служит частотным репером активных квантовых стандартов частоты. В В. г. используют