Forças intermoleculares

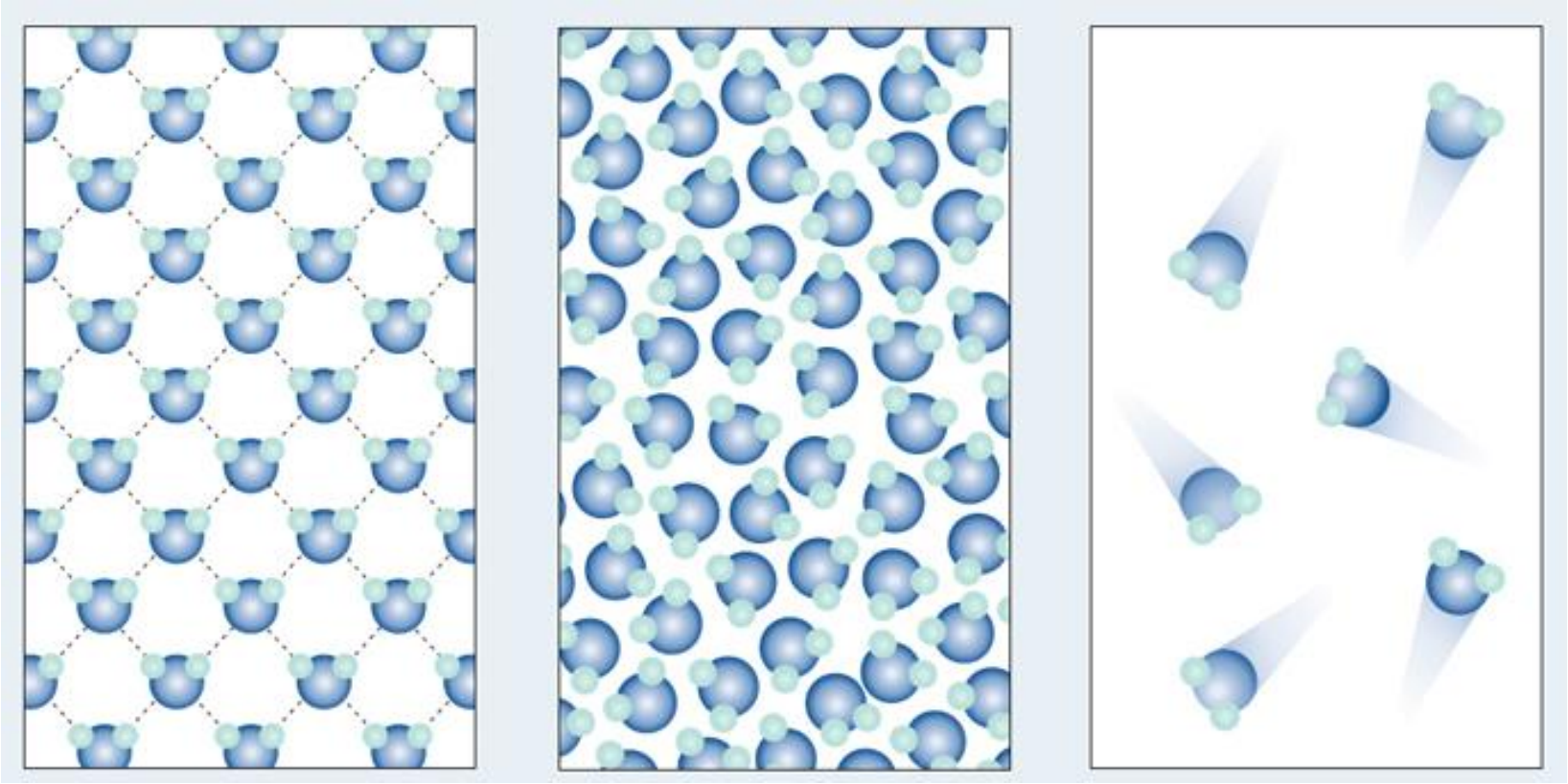
Uma comparação entre líquidos e sólidos

Partículas: átomos (Ar, Ne, ...) e moléculas (H_2O, N_2, ...)

Gás	Líquido	Sólido cristalino
Desordem total; muito mais espaços vazios; as partículas têm liberdade total de movimento; as partículas ficam muito separadas.	Desordem; as partículas ou aglomerados de partículas estão livres para se mover umas em relação às outras; as partículas estão próximas.	Arranjo ordenado; as partículas estão basicamente em posições fixas; as partículas estão muito próximas.

Uma comparação entre líquidos e sólidos

MOLÉCULAS DE ÁGUA

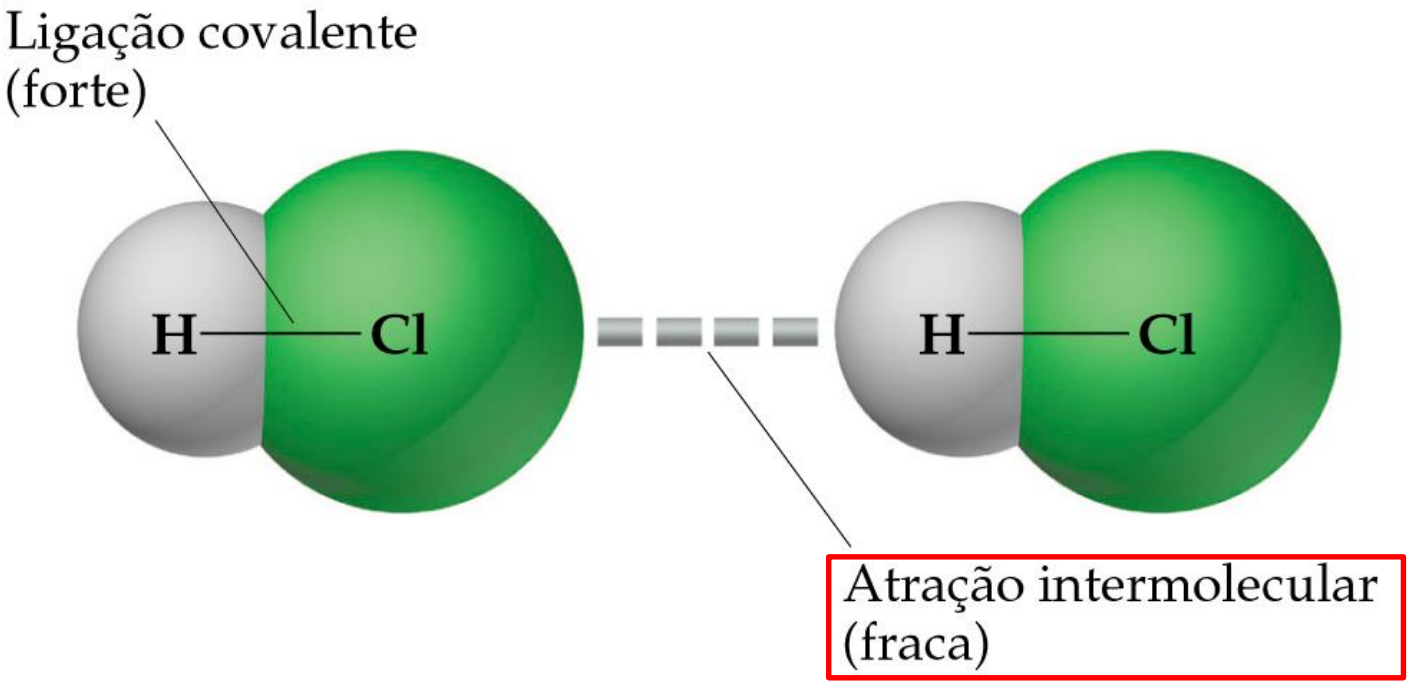


No estado sólido | No estado líquido | No estado gasoso

Forças intermoleculares

- A *ligação covalente*, que mantém os átomos unidos em uma molécula, é uma força **intramolecular**.

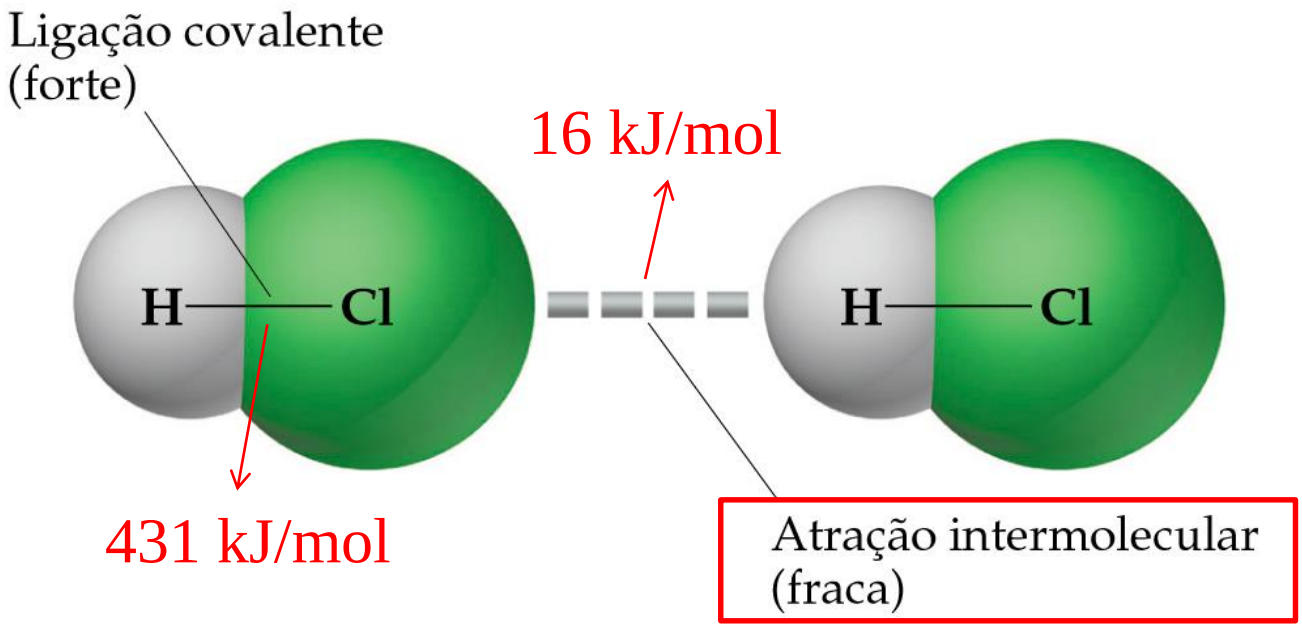
- A *atração entre moléculas* é uma força **intermolecular**.



Forças intermoleculares

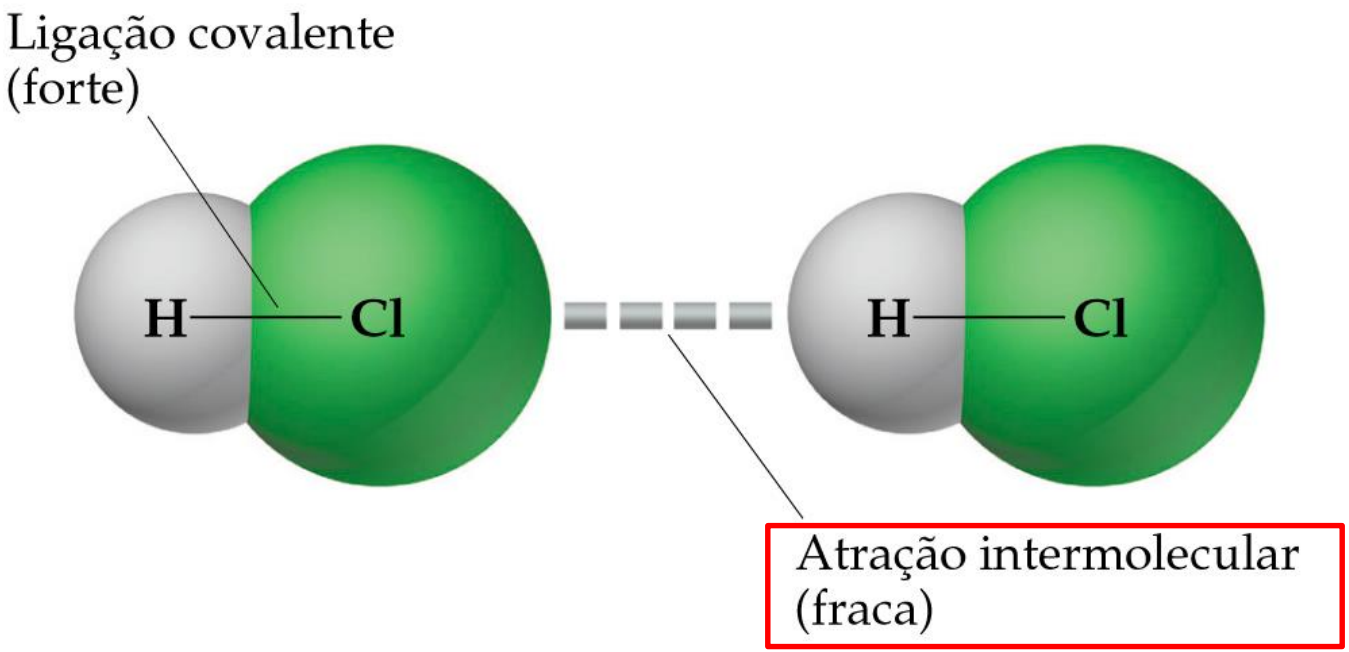
- Forças intermoleculares são muito mais fracas do que as forças intramoleculares (por exemplo, 16 kJ mol^{-1} *versus* 431 kJ mol^{-1} para o HCl).

- Quando uma substância funde ou entra em ebulição, *forças intermoleculares são quebradas* ***(não as ligações covalentes)***.



Forças intermoleculares

- Quando as forças intermoleculares são grandes, os pontos de fusão e ebulição das espécies são elevados.



Forças intermoleculares

As forças de atração que mantém moléculas ou átomos unidos nos estados líquido e sólido são de origem eletrostática – dependem da atração entre cargas opostas.

$$\delta+ \leftrightarrow \delta-$$

<u>Atração entre íons não é força intermolecular</u>
(compostos iônicos não formam moléculas)
⇨ **Ligação iônica**

Forças intermoleculares

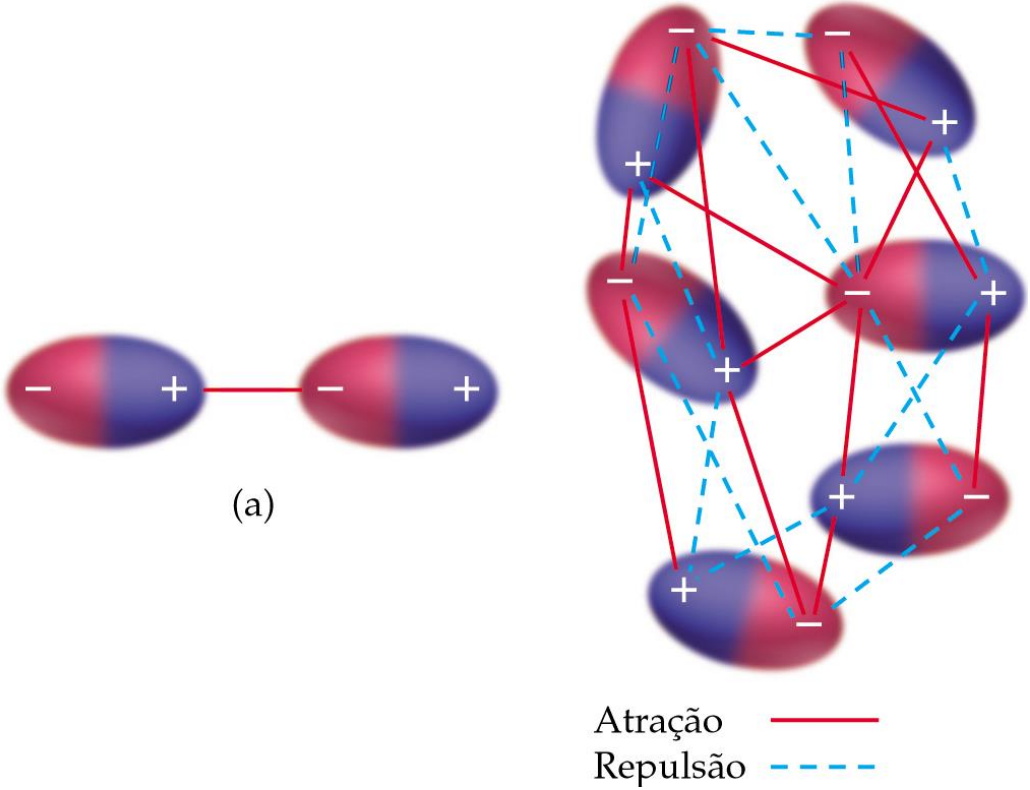
- Forças dipolo - dipolo
- Forças íon - dipolo
- Forças dipolo - dipolo induzido
- Forças dipolo induzido - dipolo induzido

  (ou Forças de dispersão de London)
- Interações de hidrogênio

Forças intermoleculares

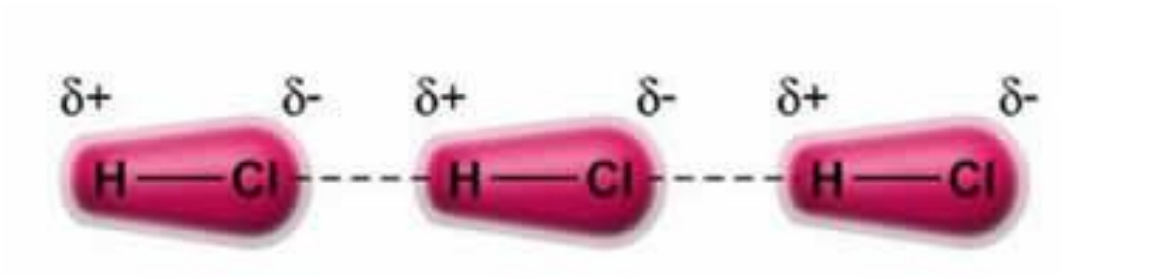
Forças dipolo-dipolo

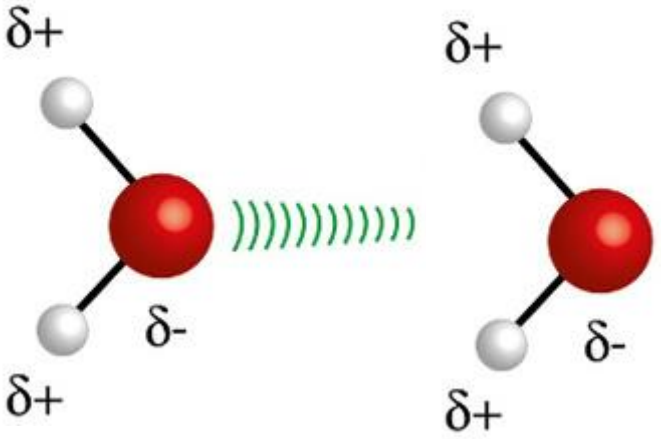
- As forças dipolo-dipolo existem entre moléculas polares neutras.
- Há uma mistura de forças dipolo-dipolo atrativas e repulsivas quando as moléculas se viram.



Forças intermoleculares

Forças dipolo-dipolo





Forças intermoleculares

Forças dipolo-dipolo

- Se duas moléculas têm aproximadamente a mesma massa e o mesmo tamanho, as forças dipolo-dipolo aumentam com o aumento da polaridade.

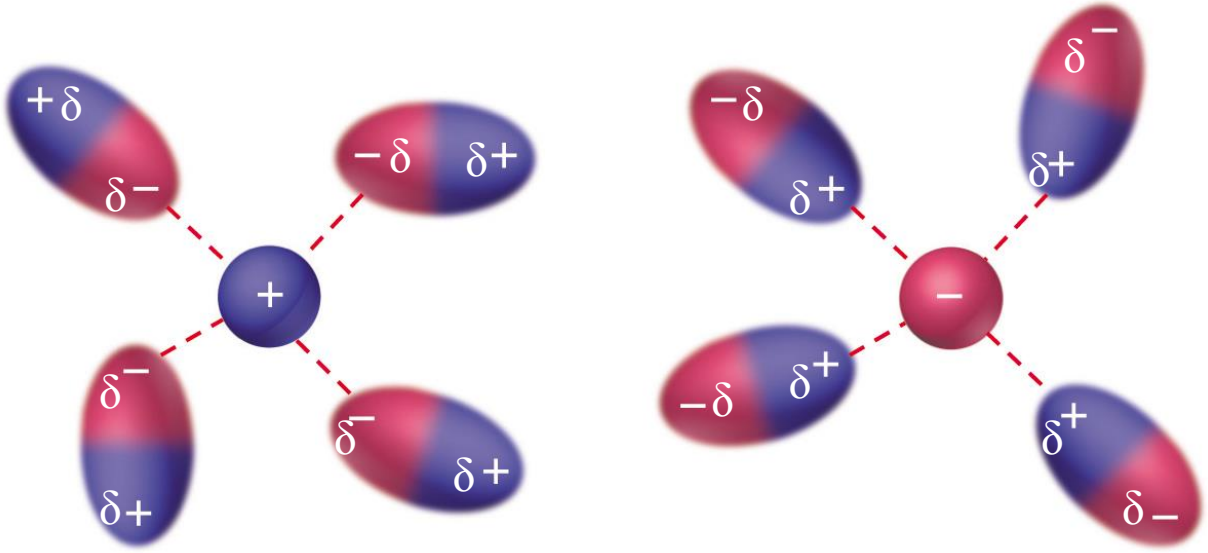
TABELA 11.2 Massas moleculares, momentos de dipolo e pontos de ebulição de várias substâncias orgânicas comuns

Substância	Massa molecular (*u*)	Momento de dipolo μ (D)	Ponto de ebulição (K)
Propano, $CH_3CH_2CH_3$	44	0,1	231
Éter dimetílico, CH_3OCH_3	46	1,3	248
Cloreto de metila, CH_3Cl	50	1,9	249
Acetaldeído, CH_3CHO	44	2,7	294
Acetonitrila, CH_3CN	41	3,9	355

Forças intermoleculares

Forças íon-dipolo

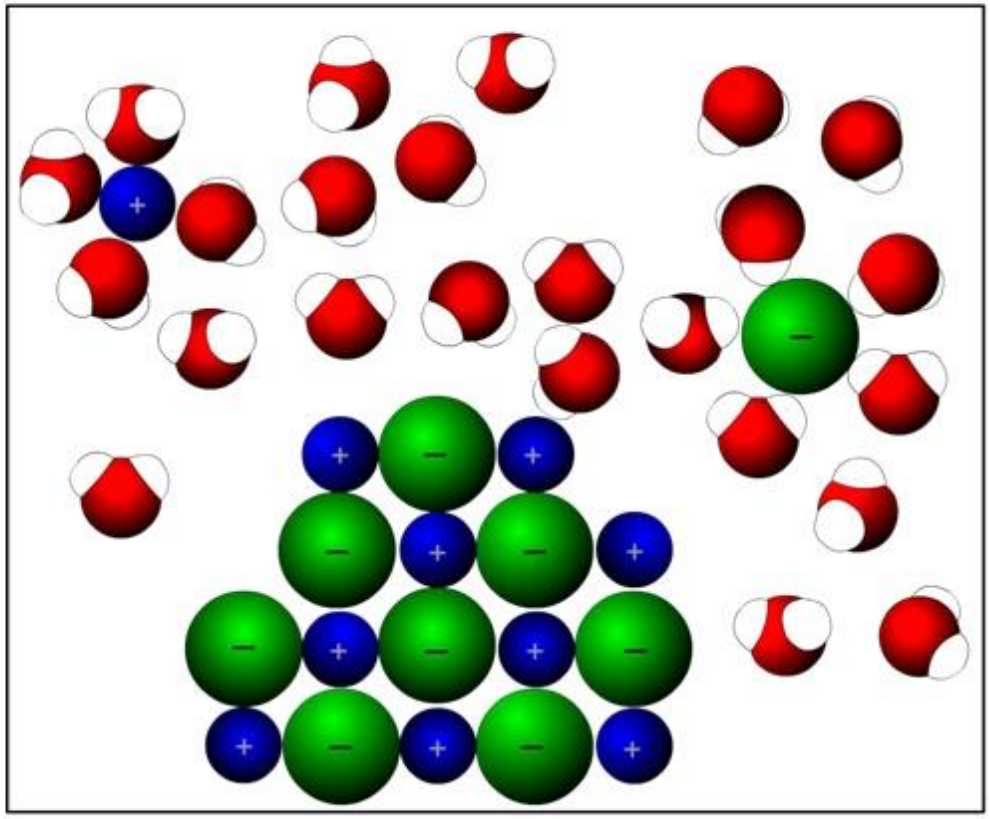
- A interação entre um íon e uma molécula polar (dipolo).
- A mais forte de todas as forças intermoleculares.



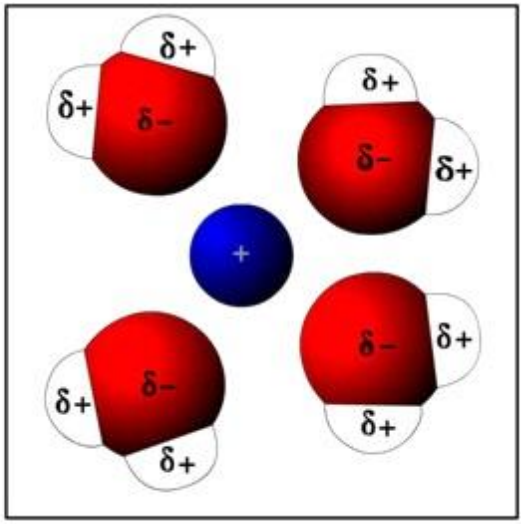
(a) (b)

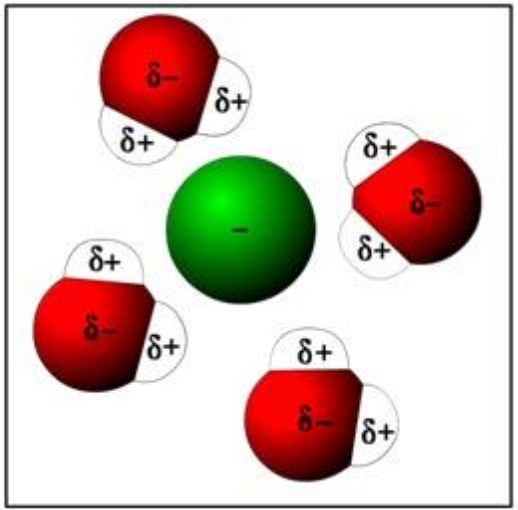
Forças intermoleculares

Forças íon-dipolo



Solubilidade de compostos iônicos em água

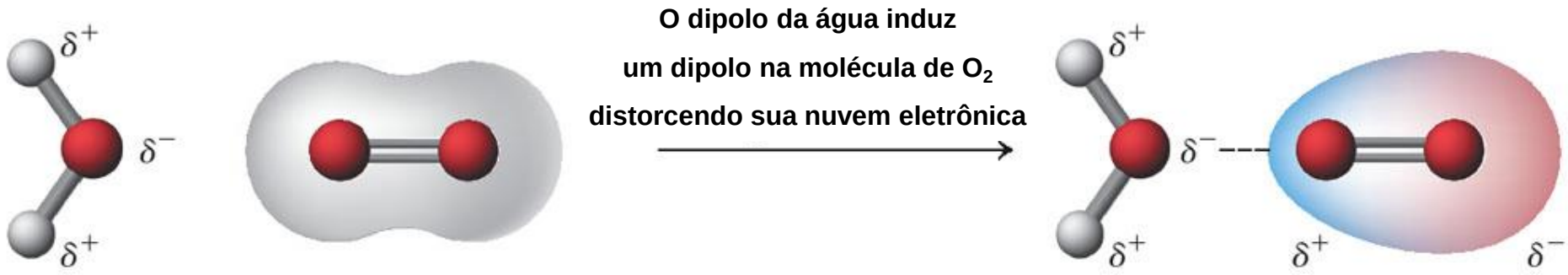




Forças intermoleculares

Forças dipolo-dipolo induzido

Quando uma molécula polar (um dipolo) induz um dipolo em uma molécula apolar



H_2O
Polar

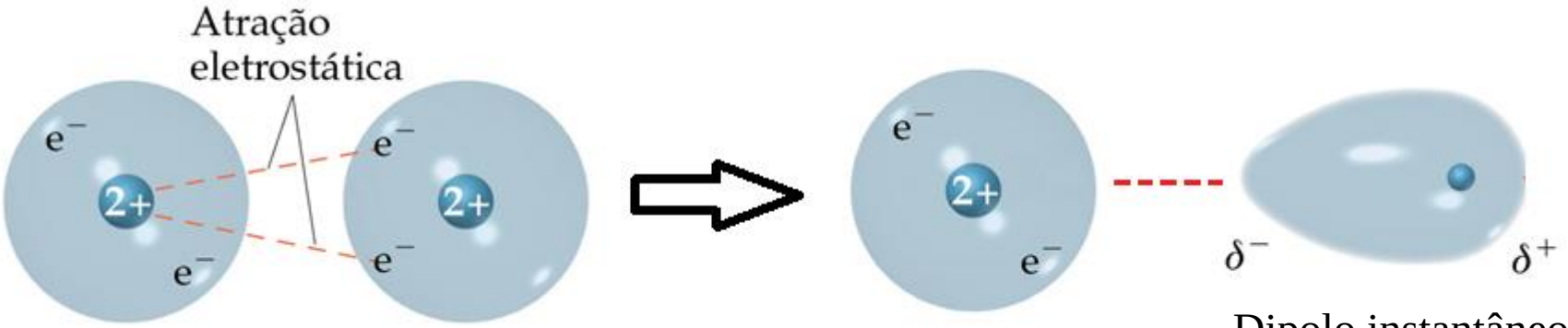
O_2
Apolar

Dipolo - - - - Dipolo induzido

Forças intermoleculares

Forças de dispersão de London

- Atração entre átomos e moléculas **apolares**
- A mais fraca de todas as forças intermoleculares.
- O núcleo de uma molécula (ou átomo) atrai os elétrons da molécula adjacente (ou átomo).
- Por um instante, as nuvens eletrônicas ficam distorcidas.
- Nesse instante, forma-se um dipolo ("dipolo instantâneo").



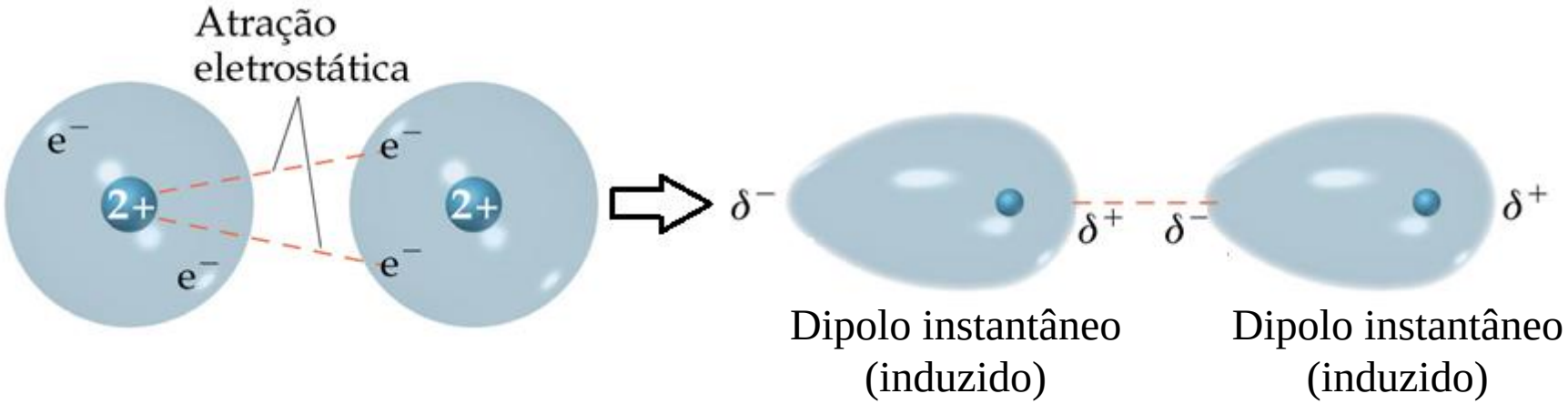
Dipolo instantâneo
(ou induzido)

Forças intermoleculares

Forças de dispersão de London

- Um dipolo instantâneo pode induzir outro dipolo instantâneo em uma molécula (ou átomo) adjacente.

- As forças entre dipolos instantâneos são chamadas **forças de dispersão de London**.

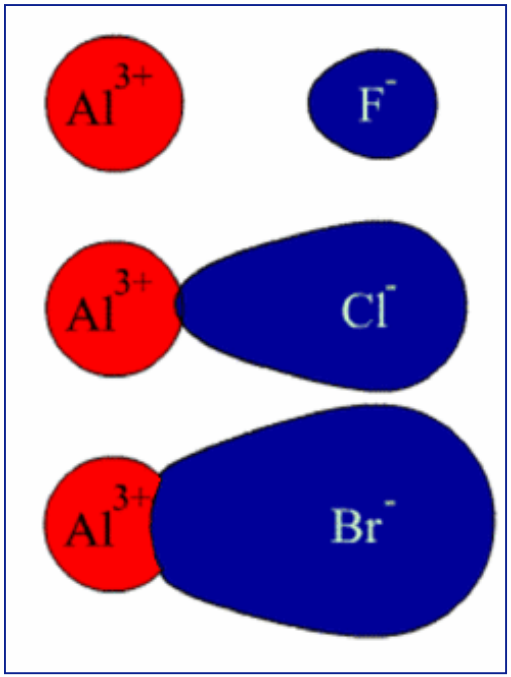


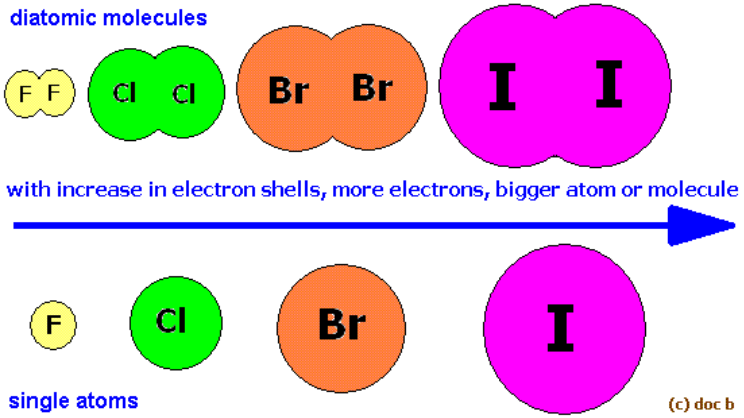
Forças intermoleculares

Forças de dispersão de London

- Polarizabilidade é a facilidade com que a nuvem eletrônica em uma molécula ou átomo pode ser distorcida por um campo elétrico externo.

- Quanto maior é a molécula mais polarizável ela é.





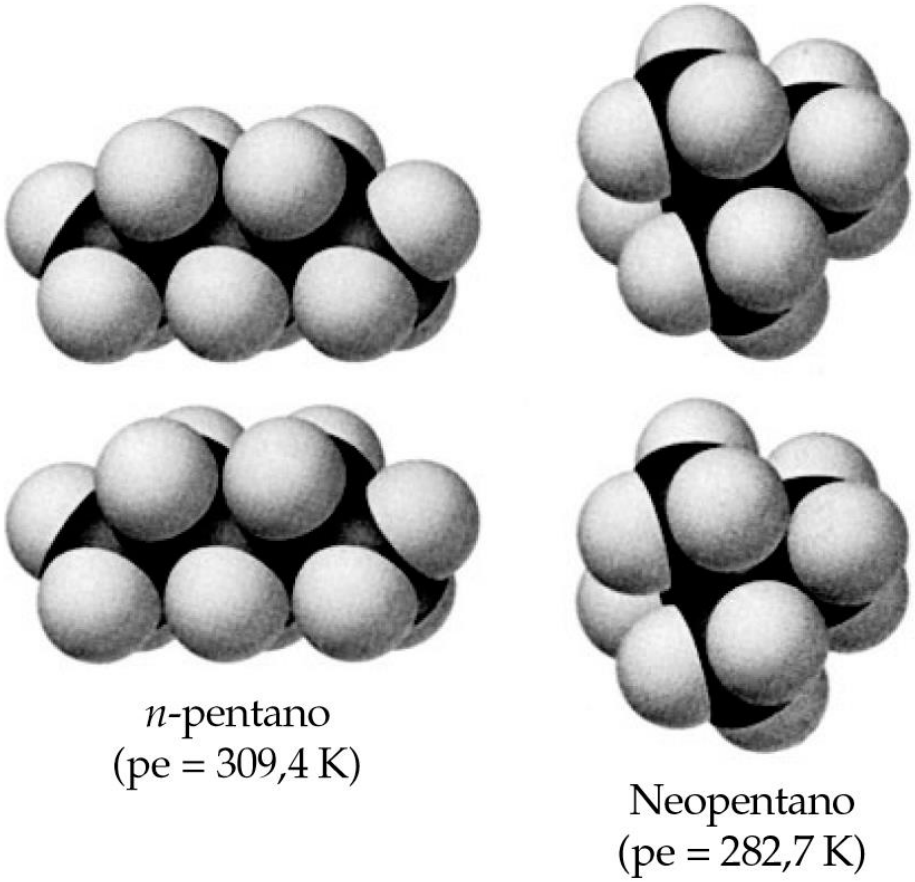
Forças intermoleculares

Forças de dispersão de London

- As forças de dispersão de London dependem da forma da molécula.
- Quanto maior for a área de superfície disponível para contato, maiores são as forças de dispersão.
- As forças de dispersão de London entre moléculas esféricas são menores do que entre as moléculas com formato “alongado”.

Forças intermoleculares

Forças de dispersão de London



Forças intermoleculares

Forças de dispersão de London

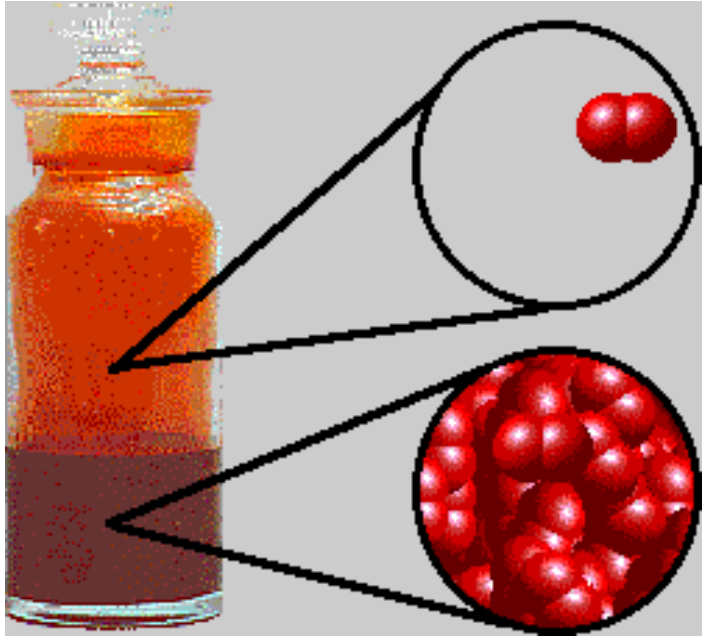
TABELA 11.3 Pontos de ebulição dos halogêneos e gases nobres

Halogêneo	Massa molecular (*u*)	Ponto de ebulição (K)	Gás nobre	Massa molecular (*u*)	Ponto de ebulição (K)
F_2	38,0	85,1	He	4,0	4,6
Cl_2	71,0	238,6	Ne	20,2	27,3
Br_2	159,8	332,0	Ar	39,9	87,5
I_2	253,8	457,6	Kr	83,8	120,9
			Xe	131,3	166,1

Forças intermoleculares

Forças de dispersão de London

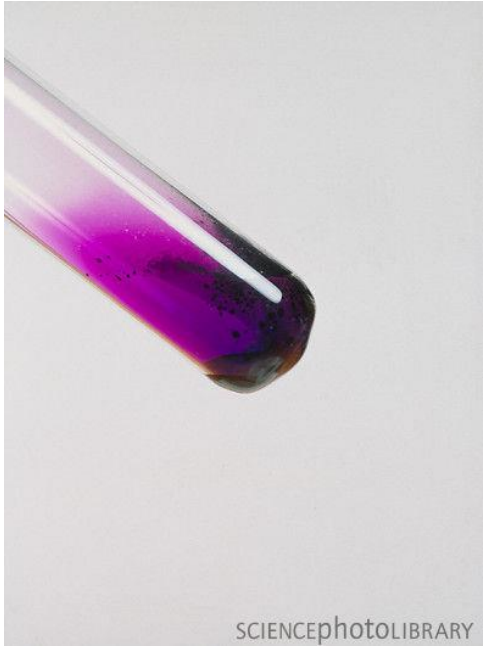
Br_2: P.E. = 59°C → Líquido em temperatura ambiente



Forças intermoleculares

Forças de dispersão de London

I_2: P.E. = 182°C → Sólido, sublima em temperatura ambiente



Forças intermoleculares

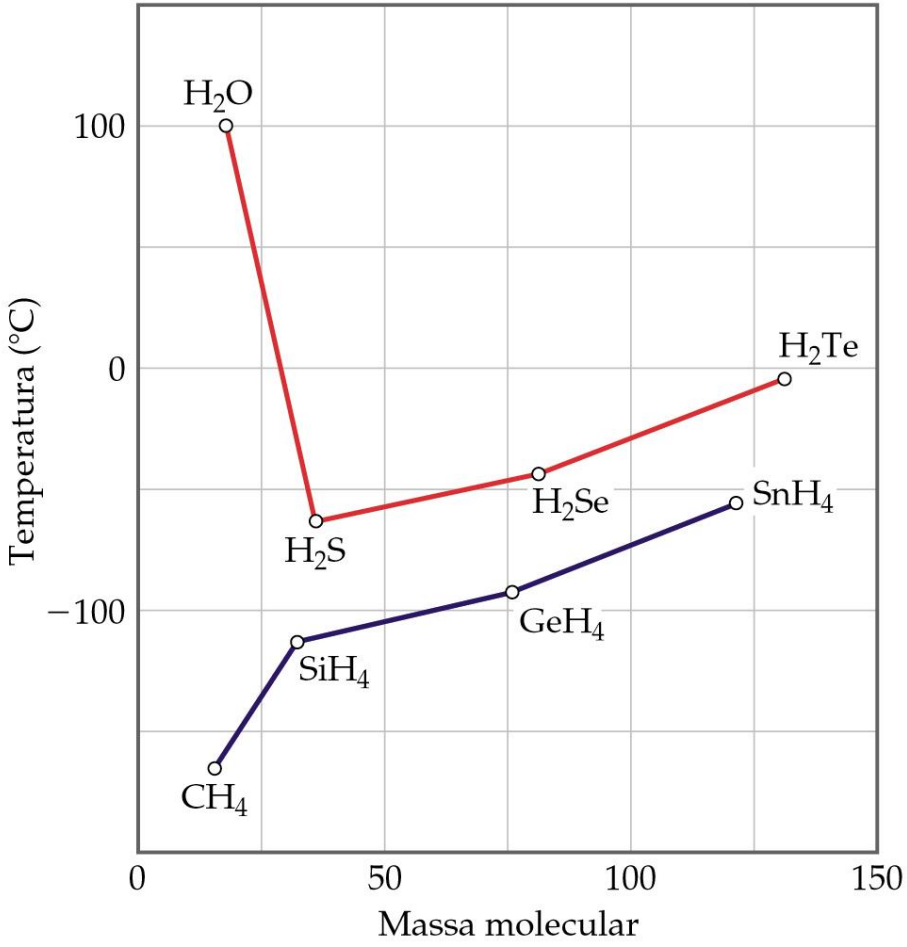
Interação de hidrogênio

- Caso especial de forças dipolo-dipolo.

- A partir de experimentos: os pontos de ebulição aumentam com a massa molecular, devido ao aumento das forças de dispersão. Entretanto, os pontos de ebulição de compostos com ligações H-F, H-O e H-N são anomalamente altos $\therefore$ forças intermoleculares são anomalamente fortes.

Forças intermoleculares

Interação de hidrogênio



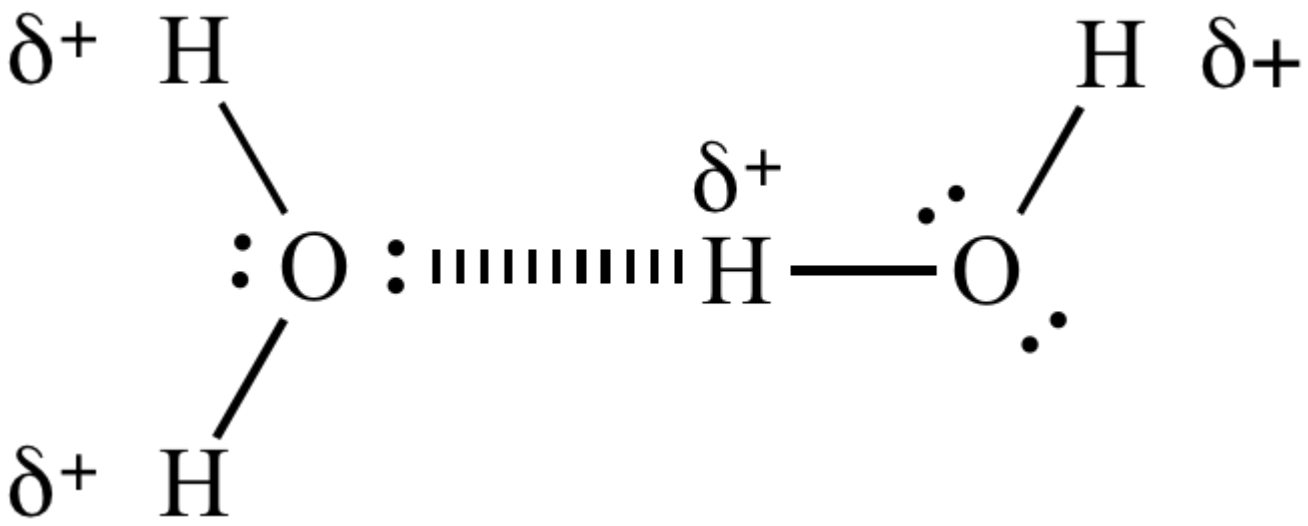
Forças intermoleculares

Interação de hidrogênio

Tipo especial de atração intermolecular entre o átomo de H em uma ligação polar (particularmente uma ligação H-F, H-O ou H-N) e um par de elétrons não compartilhado em um íon ou átomo pequeno e eletronegativo (geralmente um átomo de F, O ou N) em outra molécula.

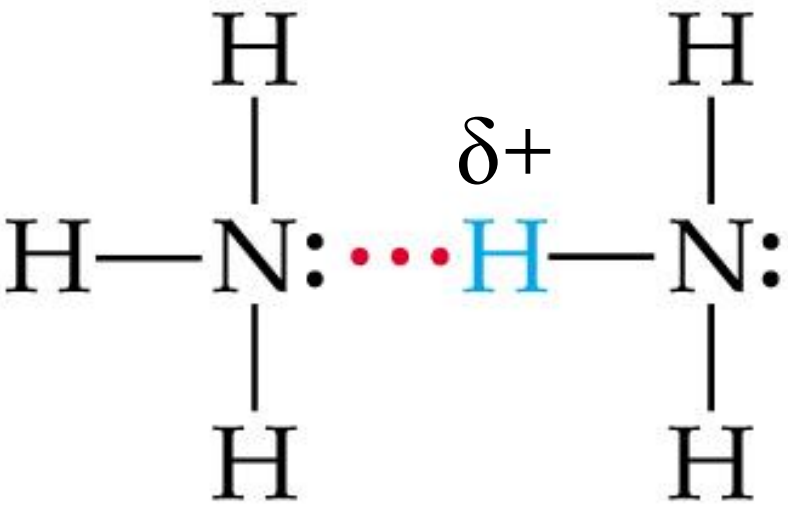
Forças intermoleculares

Interação de hidrogênio



Forças intermoleculares

Interação de hidrogênio

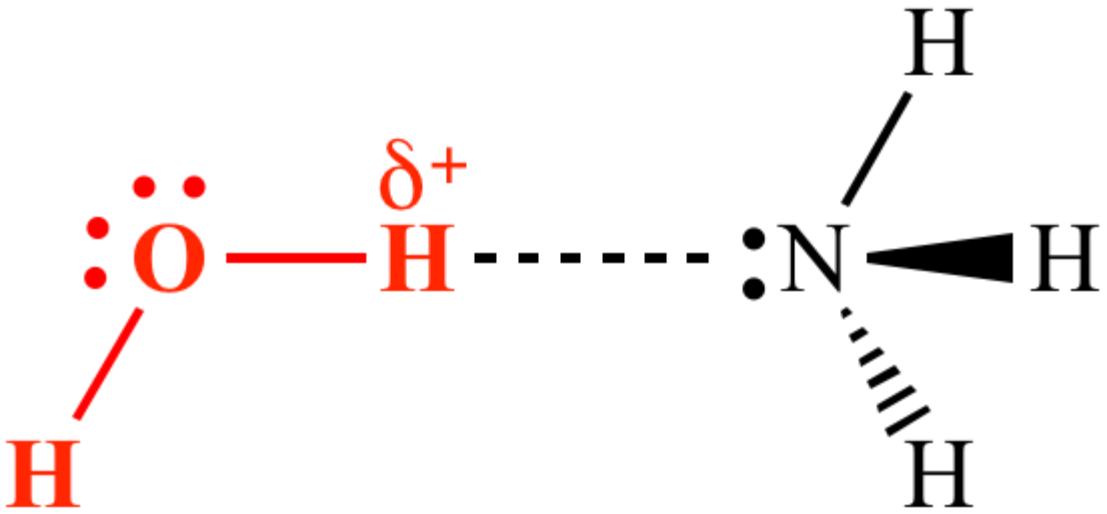


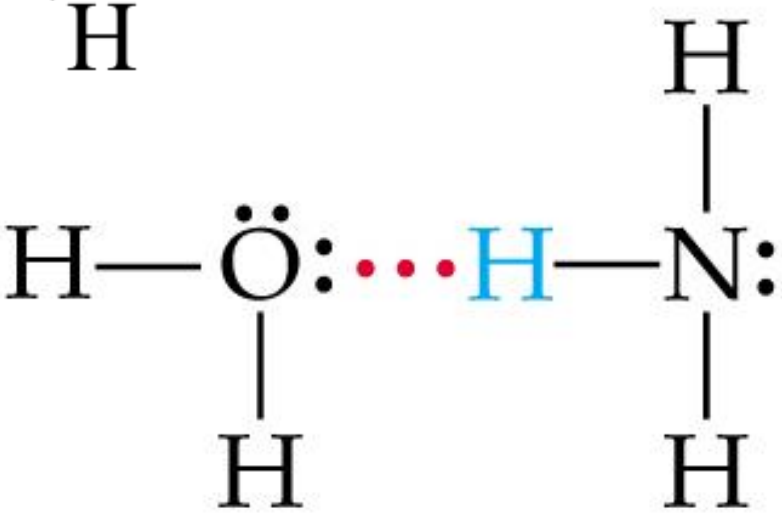
Forças intermoleculares

Interação de hidrogênio

Forças intermoleculares

Interação de hidrogênio

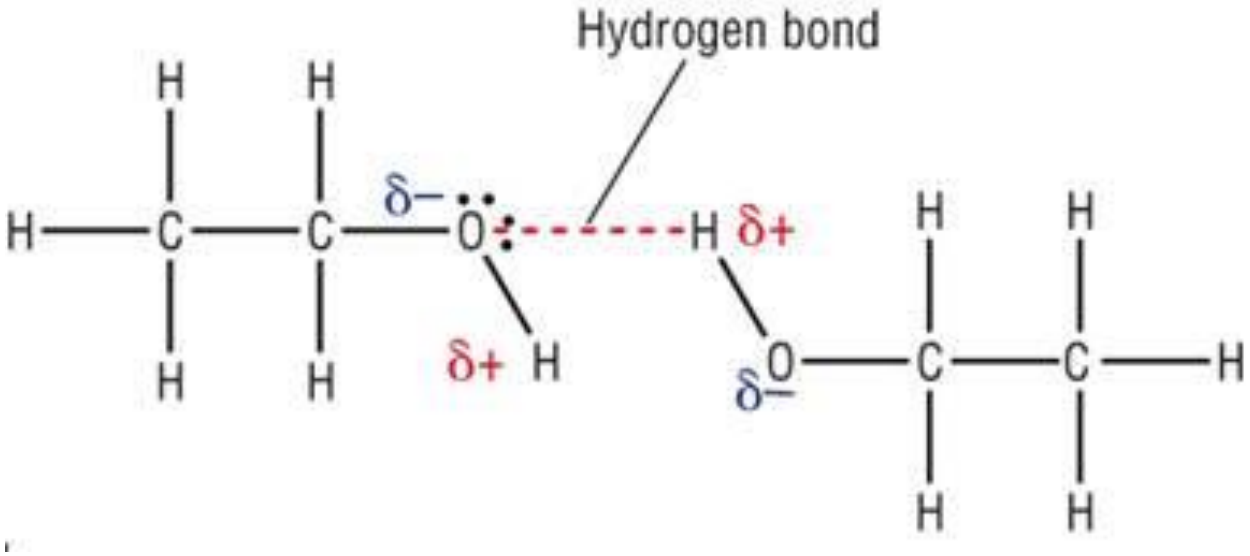




Forças intermoleculares

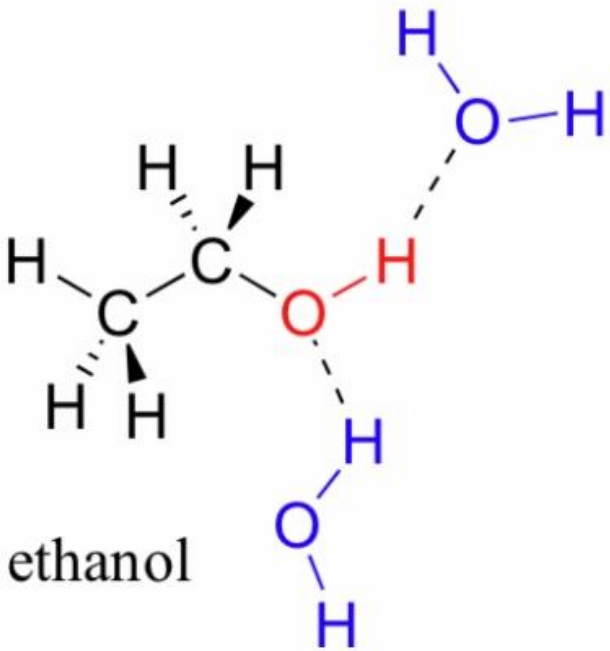
Interação de hidrogênio

Etanol: CH_3CH_2OH

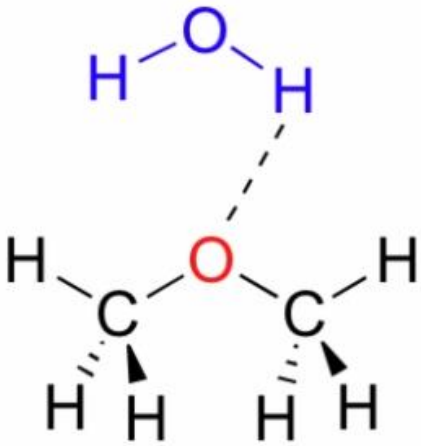


Forças intermoleculares

Interação de hidrogênio



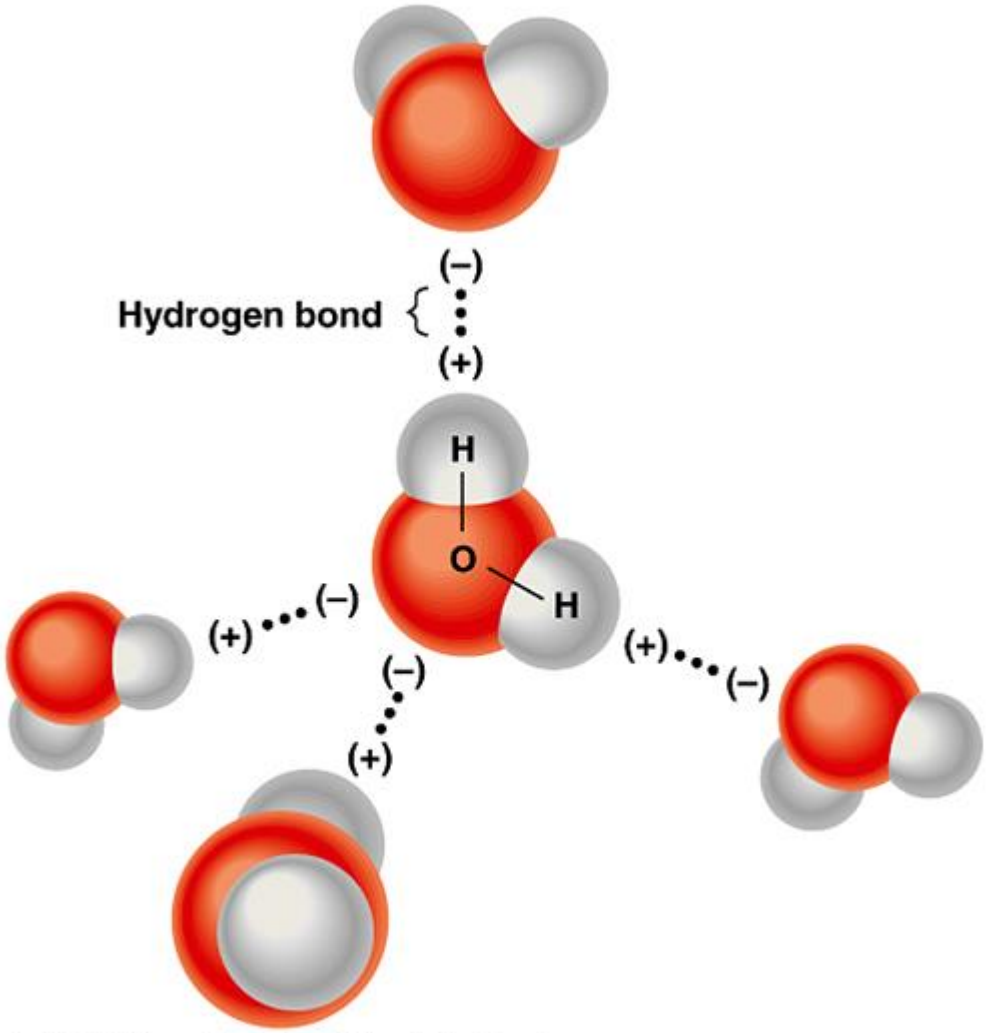
ethanol



dimethylether

Forças intermoleculares

Interação de hidrogênio



Copyright © 2003 Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

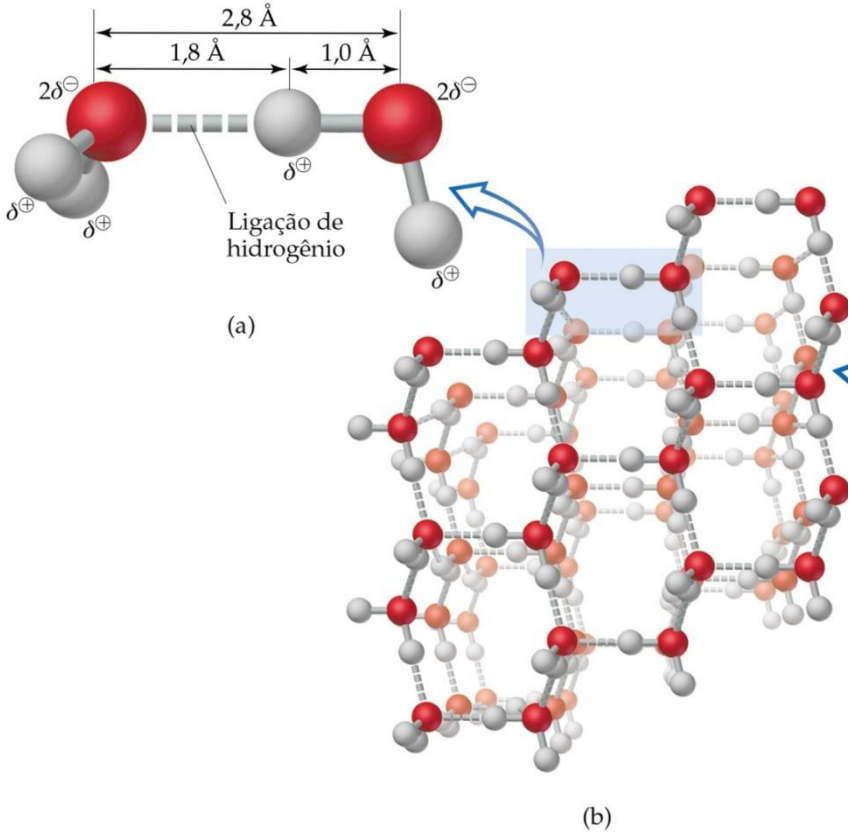
Forças intermoleculares

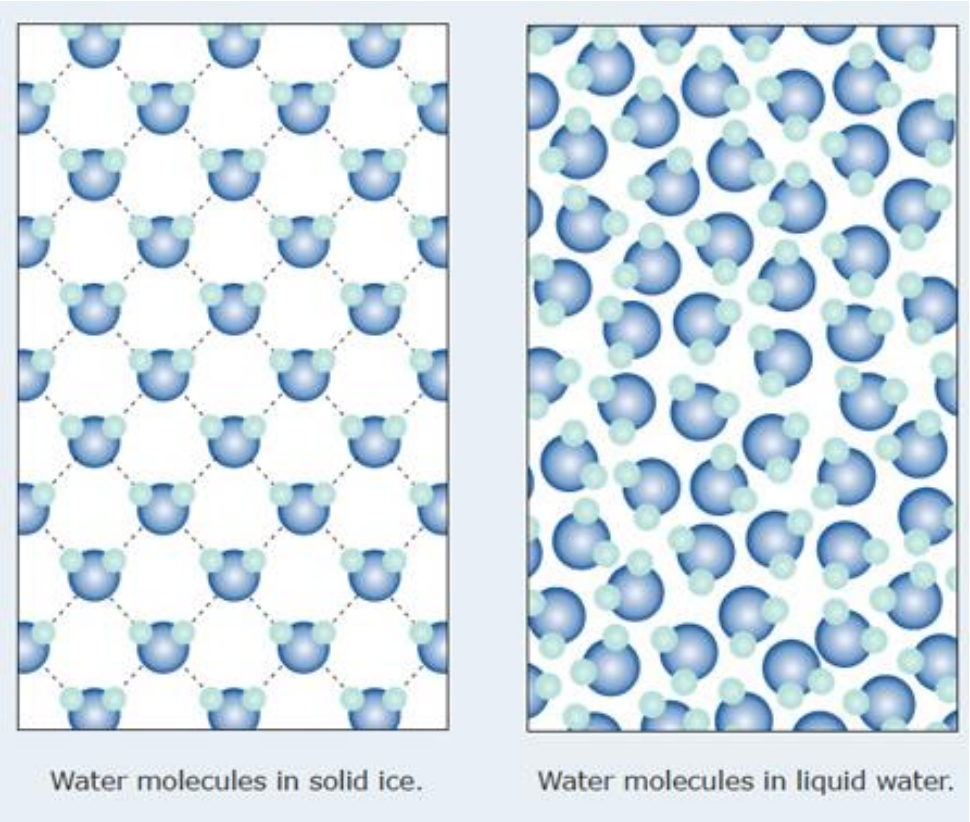
Interação de hidrogênio

- As ligações de hidrogênio são responsáveis pela flutuação do gelo:
  - Os sólidos são normalmente mais unidos do que os líquidos;
  - Portanto, os sólidos são mais densos do que os líquidos.
  - O gelo é ordenado com uma estrutura aberta para otimizar a ligação H.
  - Conseqüentemente, o gelo é menos denso do que a água.
  - Na água, o comprimento da ligaçao H-O é 1,0 Å.
  - O comprimento da ligação de hidrogênio O···H é 1,8 Å.
  - O gelo tem moléculas de água ordenadas em um hexágono regular aberto.
  - Cada δ^+ H aponta no sentido de um par solitário no O.

Forças intermoleculares

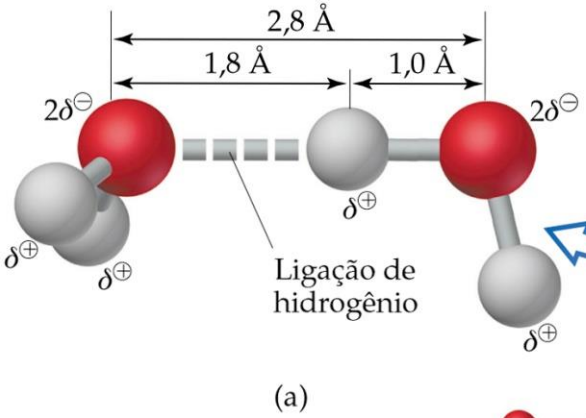
Interação de hidrogênio



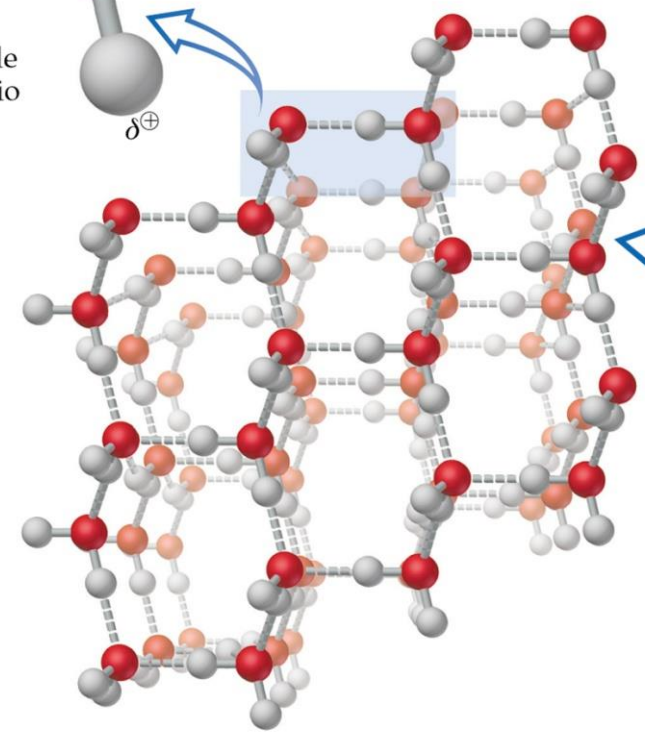


Forças intermoleculares

Interação de hidrogênio



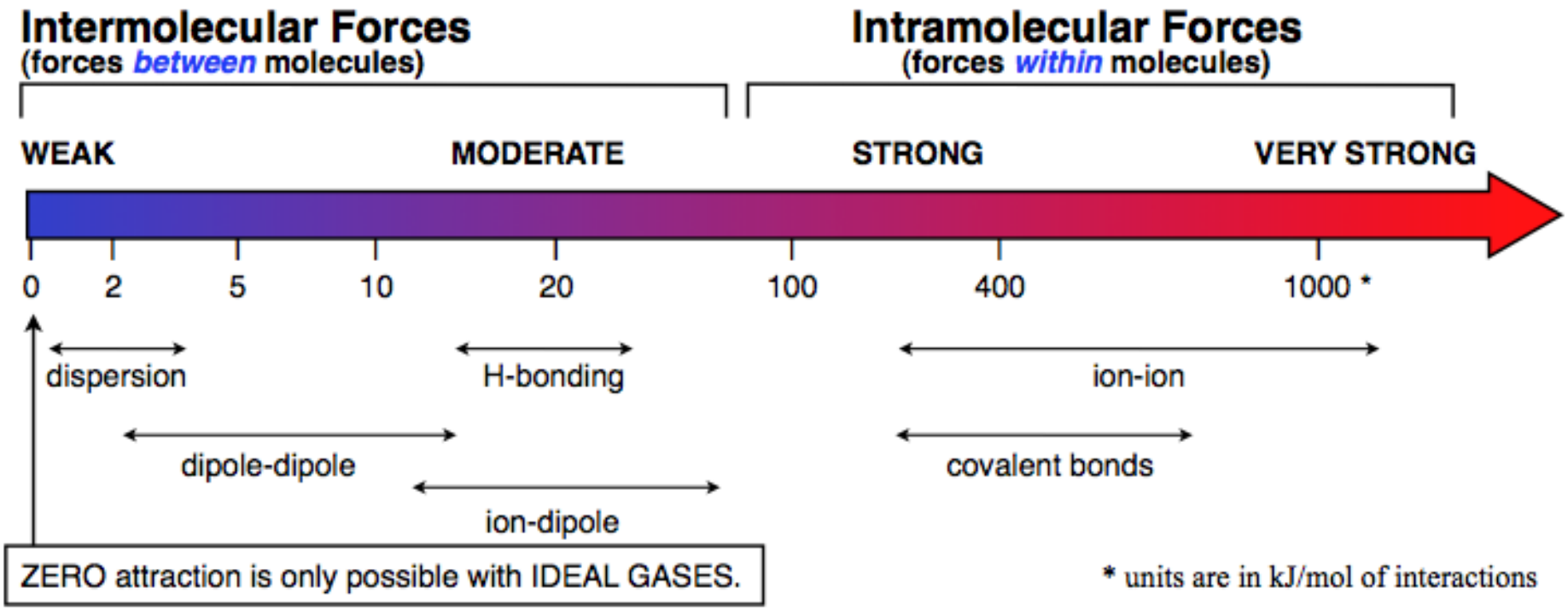
(a)



(b)

(c)

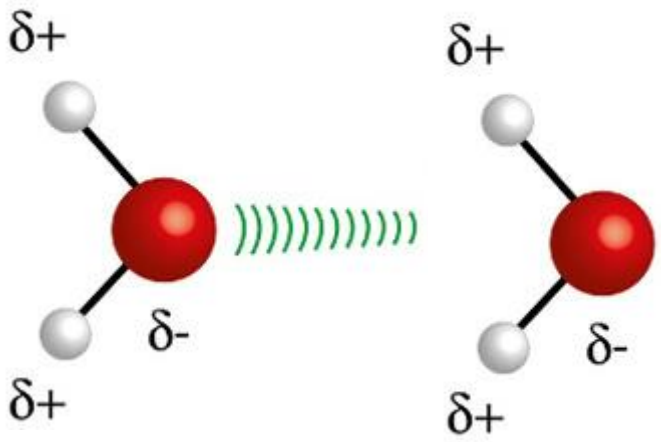
Forças intermoleculares



Quais forças intermoleculares atuam na água do mar?

Quais forças intermoleculares atuam na água do mar?

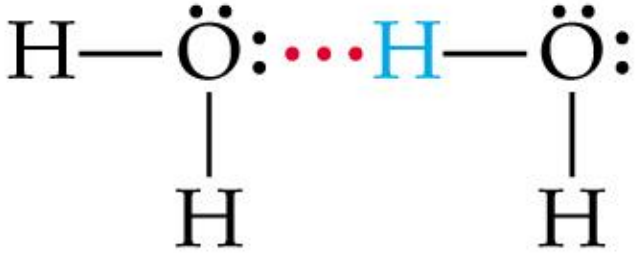
1. Entre moléculas de água: dipolo-dipolo



Quais forças intermoleculares atuam na água do mar?

1. Entre moléculas de água: dipolo-dipolo

2. Entre moléculas de água: interações de hidrogênio

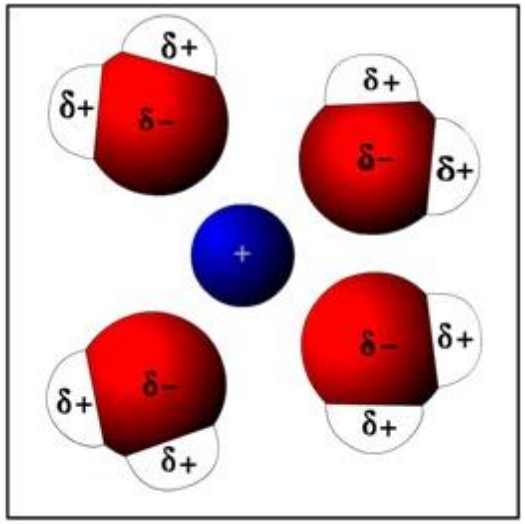


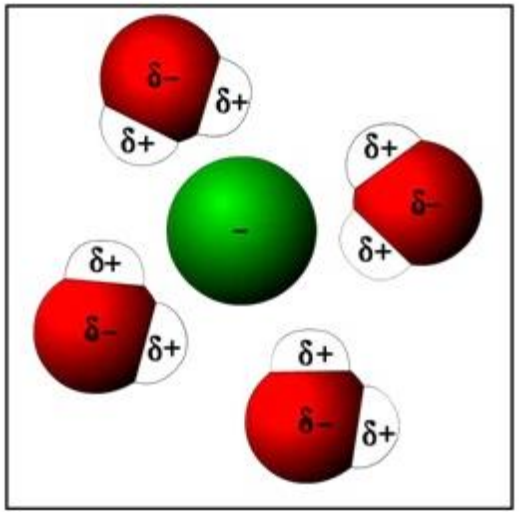
Quais forças intermoleculares atuam na água do mar?

1. Entre moléculas de água: dipolo-dipolo

2. Entre moléculas de água: interações de hidrogênio

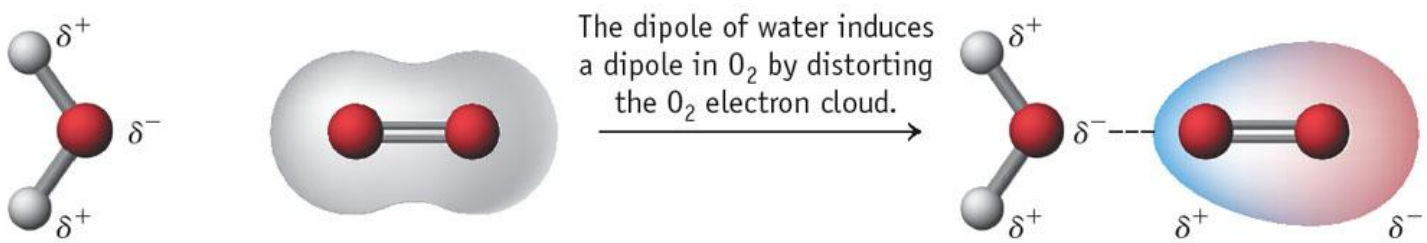
3. Entre moléculas de água e os íons dos sais: íon-dipolo





Quais forças intermoleculares atuam na água do mar?

1. Entre moléculas de água: dipolo-dipolo
2. Entre moléculas de água: interações de hidrogênio
3. Entre moléculas de água e os íons dos sais: íon-dipolo
4. Entre moléculas de água e gases dissolvidos (O_2, por exemplo): dipolo-dipolo induzido



© 2006 Brooks/Cole - Thomson

Quais forças intermoleculares atuam na água do mar?

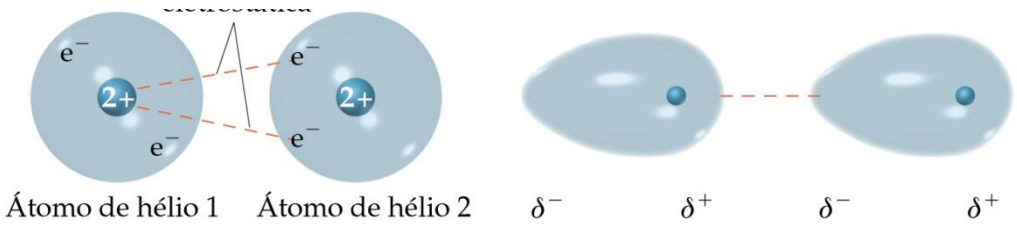
1. Entre moléculas de água: dipolo-dipolo

2. Entre moléculas de água: interações de hidrogênio

3. Entre moléculas de água e os íons dos sais: íon-dipolo

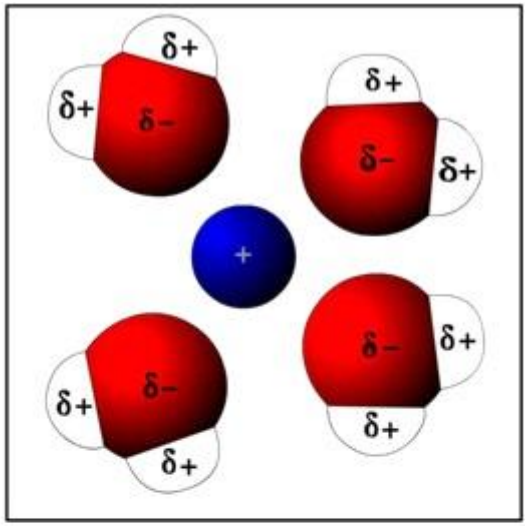
4. Entre moléculas de água e gases dissolvidos (O_2, por exemplo): dipolo-dipolo induzido

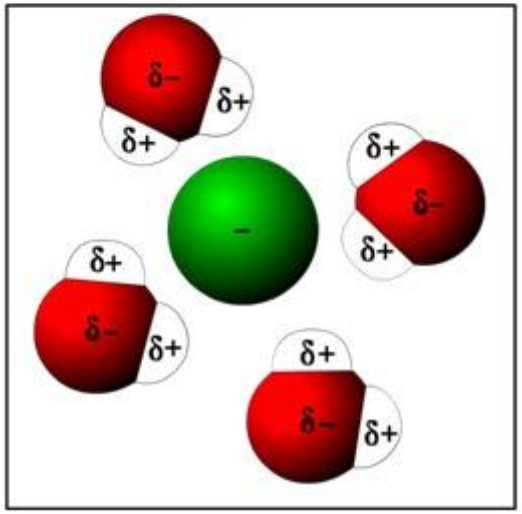
5. Entre todas as moléculas: dispersão de London



Existe interação entre os íons na água do mar?

Existe interação entre os íons na água do mar?





NÃO

Os íons apresentam-se *solvatados* por moléculas de água:

<u>interação íon-dipolo</u>