

Forças Intermoleculares

Gabriel Braun

Colégio e Curso Pensi, Coordenação de Química



Sumário

1	As forças intermoleculares	1
1.1	A origem das forças intermoleculares	1
1.2	A volatilidade e as forças intermoleculares	2
1.3	A solubilidade e as forças intermoleculares	2
1.4	Os colóides	2

1 As forças intermoleculares

As moléculas se atraem. Este simples fato tem consequências importantes. Sem as forças entre as moléculas, os tecidos de seu corpo se separariam dos ossos e os oceanos virariam gás. De forma menos dramática, as forças entre as moléculas governam as propriedades físicas da matéria. Elas explicam por que o CO_2 é um gás, por que o SiO_2 é sólido e por que o gelo flutua na água.

As moléculas também se repelem. Quando comprimidas, elas resistem a deformações. O resultado é que você não afunda no chão e os objetos sólidos têm forma e tamanho definidos. Mesmo nos gases, as repulsões são importantes porque garantem que as moléculas não passem umas por dentro das outras, mas colidam entre si.

Nos gases, as forças intermoleculares geram pequenos desvios em relação ao comportamento ideal (Tópico 3C). Por outro lado, nos líquidos e sólidos, as forças que mantêm as moléculas unidas são de grande importância e controlam as propriedades físicas desses materiais. Uma molécula isolada de água, por exemplo, não congela nem ferve, mas uma coleção delas sim, porque no processo de congelamento as moléculas ficam juntas, ao passo que durante a ebulição elas se separam para formar um gás.

1.1 A origem das forças intermoleculares

As forças intermoleculares são responsáveis pela existência das várias fases da matéria. Uma fase é uma forma da matéria que tem composição química e estado físico uniformes. As fases da matéria incluem os três estados físicos comuns: sólido, líquido e gás (ou vapor), que vimos no Tópico 3A. Muitas substâncias têm mais de uma fase sólida, com arranjos diferentes dos átomos ou das moléculas. Por exemplo, o carbono tem várias fases sólidas: uma delas é o diamante, duro e transparente, usado em joalheria e na produção de instrumentos de corte; outra é a grafita, macia e preta, que usamos no lápis de escrever e como lubrificante. A maioria dos sólidos se funde quando são aquecidos, passando para a fase líquida. Tanto os sólidos como os líquidos são chamados de **fases condensadas**, porque quando um gás é esfriado, ele condensa (torna-se mais compacto) em um líquido ou um sólido. A temperatura na qual um gás condensa depende da intensidade das forças atrativas entre as moléculas.

Todas as interações intermoleculares e quase todas as interações intermoleculares podem ser atribuídas, em grande parte, às interações coulombianas entre cargas. A discussão a seguir sobre

as interações intermoleculares é baseada na expressão da energia potencial, E_p , entre duas cargas, Q_1 e Q_2 , separadas por uma distância r :

$$E_p = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_0 r}$$

Essa expressão se aplica diretamente a íons, mas é a base de todas as interações, inclusive as interações entre moléculas neutras.

A Figura 1 mostra uma curva da energia potencial molecular, um gráfico que ilustra como a energia potencial de um par de moléculas varia com a distância entre seus centros. Em um caso, as moléculas reagem e uma ligação química é formada. No outro, a ligação não se completa. Nos dois casos, a energia cai inicialmente, à medida que as moléculas se aproximam, indicando o predomínio das forças de atração. Contudo, à medida que diminui a distância entre as moléculas, as forças de repulsão passam a prevalecer e a energia potencial aumenta rapidamente, atingindo valores elevados. As formas das duas curvas são semelhantes, mas a profundidade do poço de potencial é muito menor para as interações não ligantes do que quando há formação de ligação química.

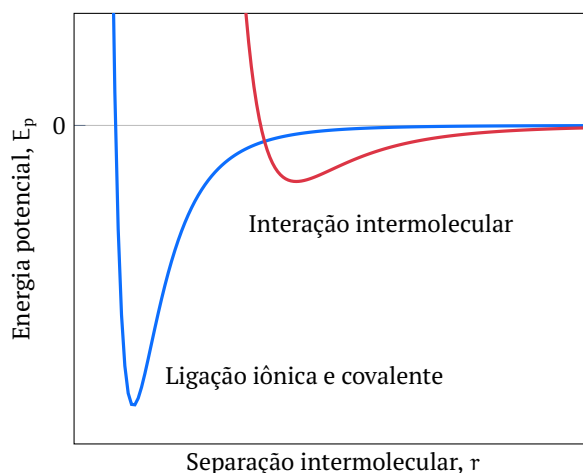


FIGURA 1 Dependência da energia potencial com a distância de interação entre átomos e íons que formam uma ligação (laranja, linha inferior) e que não formam ligação (marrom, linha superior). Observe que um poço de potencial muito profundo caracteriza a formação de uma ligação química. O poço raso na curva superior mostra que mesmo quando não há formação de ligação, as forças atrativas reduzem a energia das partículas.

Existem vários tipos de interações entre íons, entre íons e moléculas neutras e entre moléculas neutras. Estas interações e suas energias típicas estão resumidas na Tabela 1 e discutidas em detalhes nas seções seguintes. Observe que as interações entre íons são muito mais fortes do que as entre moléculas ou dipolos. As ligações covalentes também são muito mais fortes do que as interações intermoleculares.

Quando forças atrativas juntam as moléculas, formam-se fases condensadas. As repulsões dominam em distâncias pequenas.

TABELA 1 As interações entre íons e moléculas		
Interação	$E_p / \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$	Espécies
íon-íon	250	íons
íon-dipolo	15	íons e moléculas polares
dipolo-dipolo	2	moléculas polares
London (dispersão)	2	todas as moléculas e íons
ligação de hidrogênio	20	[FON]—H...[FON]

1.2 A volatilidade e as forças intermoleculares

A pressão de vapor é alta quando as moléculas de um líquido são mantidas por forças intermoleculares fracas, ao passo que a pressão de vapor é baixa quando as forças intermoleculares são fortes. Por isso, você deveria esperar que os líquidos formados por moléculas capazes de formar ligações hidrogênio (que são mais fortes do que outras interações intermoleculares) sejam menos voláteis do que outros de massa molecular comparável, porém incapazes de formar ligações hidrogênio.

Pode-se ver claramente o efeito das ligações hidrogênio ao comparar dimetil-éter e etanol, cujas fórmulas moleculares são iguais, $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$. Como esses compostos têm o mesmo número de elétrons, espera-se que eles tenham interações de London semelhantes e, portanto, pressões de vapor semelhantes. Porém, a molécula de etanol tem um grupo —OH que pode formar ligações hidrogênio com outras moléculas de álcool. As moléculas do éter não podem formar ligações hidrogênio umas com as outras, porque os átomos de hidrogênio estão ligados a átomos de carbono e a ligação C—H não é muito polar. A pressão de vapor do etanol em 295 K é 6,6 kPa, enquanto o valor para o dimetil-éter é 538 kPa. Como resultado dessas diferenças, o etanol é um líquido na temperatura e pressão normais e o dimetil-éter é um gás.

PONTO PARA PENSAR

Por que o mercúrio tem pressão de vapor tão baixa na temperatura normal?

EXEMPLO 1 Comparação da pressão de vapor de dois líquidos

Compare a pressão de vapor dos pares de líquidos.

- a. Tetrabromometano, CBr_4 , e tetracolorometano, CCl_4 .
- b. Acetaldeído, CH_3CHO , e propano, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$.

Etapas 1. (a) Compare as forças intermoleculares.

O tetrabromometano e o tetracolorometano ligam-se predominantemente por interações dipolo induzido-dipolo induzido na fase líquida. Entretanto, o tetrabromometano é mais pesado e, por isso, possui menor pressão de vapor.

Etapas 2. (b) Compare as forças intermoleculares.

O acetaldeído liga-se predominantemente por ligações dipolo-dipolo na fase líquida, enquanto o propano liga-se por ligações dipolo induzido-dipolo induzido, mais fracas.

TABELA 2 Classificação dos coloides			
Disperso	Dispersante	Nome técnico	Exemplos
sólido	gás	aerossol	fumaça
líquido	gás	aerossol	névoa, nevoeiro
sólido	líquido	sol ou gel	tinta de impressão
líquido	líquido	emulsão	leite, maionese
gás	líquido	espuma	espuma antifogo
sólido	sólido	dispersão sólida	vidro de rubi
líquido	sólido	emulsão sólida	sorvetes
gás	sólido	espuma sólida	espuma isolante

Assim, o propano possui maior pressão de vapor.

A pressão de vapor de um líquido, em uma determinada temperatura, deve ser baixa se as forças que atuam entre suas moléculas forem fortes.

1.3 A solubilidade e as forças intermoleculares

1.4 Os coloides

Um **coloide** é uma dispersão de partículas pequenas (de 1 mm a 1 μm de diâmetro) em um solvente. As partículas coloidais são muito maiores do que a maior parte das moléculas, mas são muito pequenas para serem vistas nos microscópios ópticos. Como resultado, as propriedades dos coloides estão entre as das soluções e as das misturas heterogêneas. As partículas pequenas dão ao coloide um aspecto homogêneo, mas são grandes o suficiente para espalhar a luz. O espalhamento de luz explica por que o leite é branco e não transparente, e por que a luz das lanternas e os feixes de laser são mais visíveis nos nevoeiros, na fumaça e nas nuvens do que em ar claro e seco. O espalhamento da luz por coloides é conhecido como **efeito Tyndall**. Muitos alimentos são coloides, como também o são as partículas de poeira, a fumaça e os fluidos de células vivas.

Os coloides são classificados de acordo com as fases de seus componentes (Tabela XXXX). O coloide formado por uma suspensão de sólidos em um líquido é chamada de **sol** e o coloide formado por uma suspensão de um líquido em outro, de **emulsão**. Por exemplo, a água enlameada é um sol com pequenas partículas de barro dispersas em água. Já a maionese é uma emulsão formada por pequenas gotas de água suspensas em óleo vegetal. A **espuma** é uma suspensão de um gás em um líquido ou em um sólido. Espuma de borracha, isopor, espuma de sabão e aerogéis são espumas. As zeólitas (Tópico 3J) são um tipo de espuma sólida na qual as aberturas do sólido têm diâmetros comparáveis aos de moléculas.

Uma **emulsão sólida** é uma suspensão de um sólido ou líquido em outro sólido. As opalas, por exemplo, são emulsões sólidas formadas quando sílica parcialmente hidratada enche os interstícios entre as microesferas em empacotamento apertado de agregados de sílica. As gelatinas de sobremesa são um tipo de emulsão chamado de **gel**, que é macio, mas mantém sua forma. As emulsões fotográficas são géis que contêm partículas sólidas coloidais de materiais sensíveis à luz, como o brometo de prata.

Os coloides em água podem ser classificados como hidrofílicos ou hidrofóbicos, dependendo da força das interações entre

a substância em suspensão e a água. Suspensões de gordura em água (como o leite) e água em gordura (como a maionese e as loções hidratantes) são colóides hidrofóbicos porque as moléculas de gordura têm pouca atração pelas moléculas de água. Os géis e mingaus são exemplos de colóides hidrofílicos. As macromoléculas de proteínas nas gelatinas e de amido nos mingaus têm muitos grupos hidrofílicos que atraem água. As moléculas gigantes de proteínas das gelatinas se estendem em água quente, e seus numerosos grupos polares formam ligações hidrogênio com a água. Quando a mistura esfria, as cadeias de proteína se enrolam novamente, porém, agora, elas se enroscam para formar uma rede tridimensional que acomoda muitas moléculas de água, bem como moléculas de açúcar, corantes e condimentos. O resultado é um gel, uma rede aberta de cadeias proteicas que mantém a água em uma estrutura sólida flexível.

Muitos precipitados, como o $\text{Fe}(\text{OH})_3$, formam inicialmente suspensões coloidais. As pequenas partículas não precipitam devido ao **movimento browniano**, o movimento que as partículas adquirem ao serem continuamente bombardeadas por moléculas de solvente. O sol é ainda estabilizado pela adsorção de íons na superfície das partículas. Os íons atraem uma camada de moléculas de água que impede que as partículas se aglutinem.

Os **materiais biomiméticos** são copiados de materiais naturais. Géis de polímeros flexíveis copiados de membranas e tecidos naturais são materiais biomiméticos com propriedades notáveis. Surfactantes chamados de *fosfolipídeos* são encontrados em gorduras e formam as membranas das células vivas. Estas moléculas são cristais líquidos semelhantes a moléculas de sabão. As membranas celulares são camadas duplas de moléculas de fosfolipídeos que se alinham, com as caudas de hidrocarboneto apontando para o interior da membrana e as cabeças polares apontando para a superfície. Esta estrutura separa o conteúdo das células do fluido intercelular.

Os colóides são suspensões de partículas geralmente muito pequenas para serem vistas em um microscópio, mas suficientemente grandes para espalhar a luz.