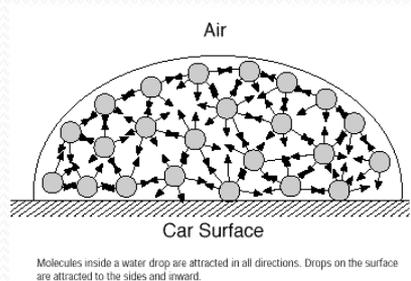
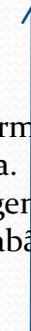
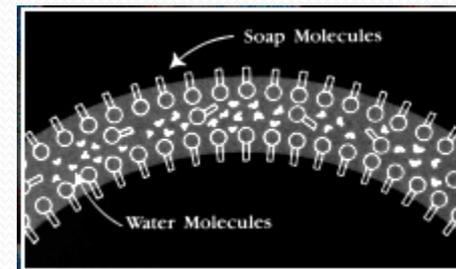


Tensão superficial



- Uma gota de orvalho sobre uma superfície encerada (pode ser a de um automóvel). As moléculas da água aderem fracamente à cera e fortemente entre si, então a água se junta. A tensão superficial faz com que estas “aglomerações” assumam a forma aproximadamente esférica, pois a esfera apresenta a menor razão entre a área superficial e volume.
- Água aderindo ao filete que escorre. Este ganha mais massa até que se estreita em um ponto onde a tensão superficial não é mais capaz de manter a água junta no filete. Então ocorre a separação e a gota assume sua forma esférica devido à tensão superficial. A gravidade estreita o filete e a tensão superficial forma as gotas esféricas.
- Objetos mais densos que a água podem flutuar em sua superfície. A superfície da água comporta-se como um filme elástico.





A bolha de sabão é formada porque a camada superficial de um líquido (normalmente água) apresenta tensão superficial que faz com que esta camada se comporte como uma membrana elástica. Entretanto, uma bolha só de água pura não é estável e há a necessidade de adição de um *surfactant* (surface active agent), o sabão, para estabilizá-la. O sabão, na verdade, diminui a tensão superficial da água em cerca de 60%. O sabão não fortalece as bolhas, ele as estabiliza.

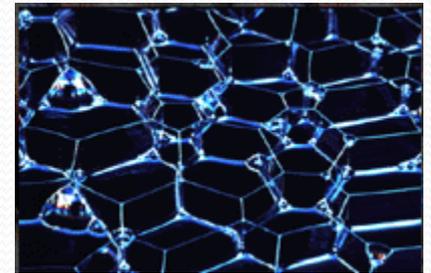
A parede da bolha é um filme com uma fina camada de água entre duas camadas de moléculas de sabão. As moléculas de sabão têm uma extremidade hidrofílica (gosta de água) e uma cauda hidrofóbica (uma cadeia de hidrocarbonetos que tende a evitar a água). As caudas hidrofóbicas procuram a superfície, tentando evitar a água, e se projetam para fora da camada de moléculas de água. Isto separa as moléculas de água umas das outras. O aumento da distância entre as moléculas de água diminui a tensão superficial. Por outro lado, as caudas projetadas para fora protegem a camada de água da evaporação, dando maior durabilidade às bolhas.

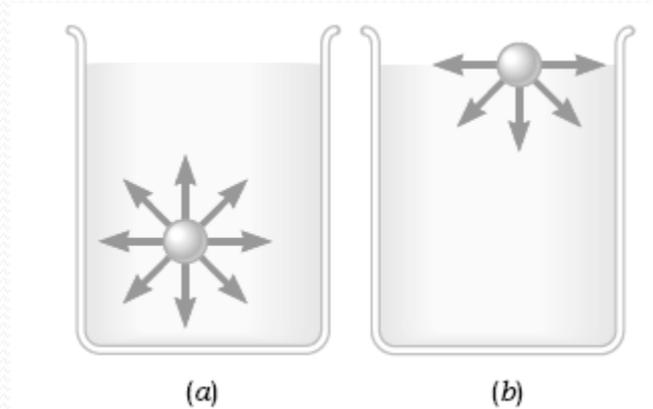


Quando duas bolhas se juntam também tendem a adotar a forma que apresente a menor área superficial possível. Elas compartilham uma parede em comum. Se as bolhas tiverem o mesmo tamanho, a parede em comum será plana. Quando uma é maior que a outra, a parede comum às duas bolhas é defletida para o interior da bolha maior, pois as bolhas menores têm maior pressão interna.

Se conseguirmos compactar uma camada de bolhas entre duas lâminas de vidro transparente, observaremos que em todos os vértices em que três bolhas se encontram (e são sempre três) formam ângulos de 120° . Se as bolhas forem do mesmo tamanho, observamos que formam hexágonos de forma semelhante a favos de mel.

As bolhas, assim como as abelhas buscam ser eficientes: tentam gastar o mínimo de cera para ter o trabalho realizado.





- a) Molécula no interior do líquido interagindo com todas as suas vizinhas igualmente em todas as direções, o que resulta em uma força líquida de interação nula.
- b) Molécula na superfície. Uma vez que não há moléculas de líquido na parte superior à superfície, a molécula sofre uma força líquida de atração puxando-a para o interior do líquido.

Há uma força atrativa resultante atuando sobre a molécula da superfície do líquido que tende a puxar as moléculas da superfície para o interior da massa líquida. Esta força é equilibrada pelas forças repulsivas das moléculas abaixo da superfície que estão sendo comprimidas. O efeito da compressão resultante causa a redução da área de superfície do líquido.

Esta força líquida de atração faz com que a superfície se contraia em torno do líquido e as forças de repulsão das moléculas a contrabalançam até um ponto em que a área de superfície é mínima.

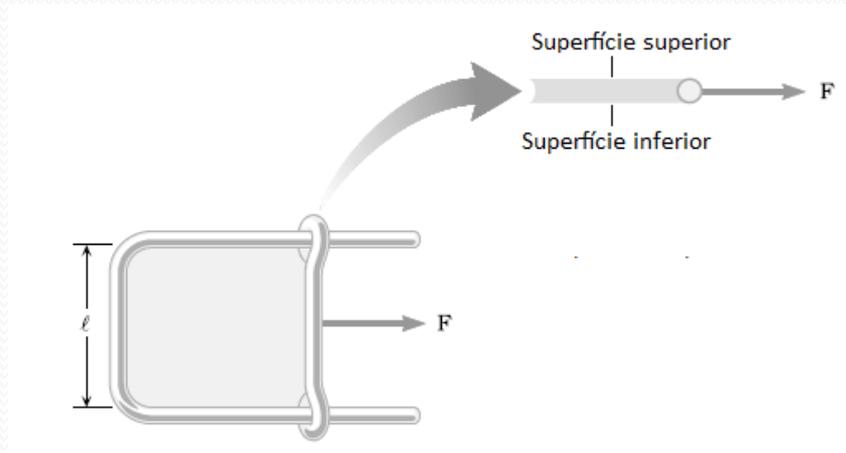
Se um líquido não sofre ação de forças externas há a tendência deste líquido formar uma esfera, que é a forma que apresenta um mínimo de área superficial para um dado volume.

Definição de tensão superficial

É a magnitude da força F exercida paralelamente à superfície de um líquido, dividida pelo comprimento L da linha ao longo da qual a força atua.

$$\sigma = \frac{F}{L} \left[\frac{N}{m} \right]$$

Líquido	Tensão Superficial [N/m]
Benzeno (20°C)	0,029
Sangue (37°C)	0,058
Glicerina(20°C)	0,063
Mercúrio (20°C)	0,47
Água (20°C)	0,073
Água (100°C)	0,059



Normalmente a lâmina líquida tende a puxar o arame móvel a fim de minimizar a sua área de superfície. É preciso aplicar uma força F para anular o efeito de tração.

A força de equilíbrio é:

$$F = 2l\sigma$$

E a tensão superficial é expressa por:

$$\sigma = \frac{F}{2l}$$

Exemplo:

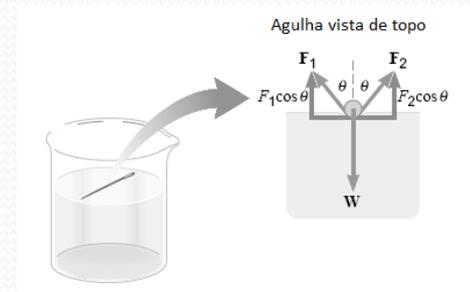
Uma agulha de 3,2 cm de comprimento é colocada delicadamente sobre a água em um béquer ($\sigma = 0,073 \text{ N/m}$). Se não for muito pesada a agulha não afundará. Qual o máximo peso de agulha que pode ser usada nesta demonstração?

Solução:

Três forças atuam sobre a agulha: o seu peso W , F_1 e F_2 .

$$F_1 = F_2 = \sigma L$$

F_1 e F_2 são tangentes à superfície de líquido no ponto em que ela está em contato com a agulha, portanto formam o ângulo θ com a vertical.



$$\sum F = 0$$

$$-W + F_1 \cos \theta + F_2 \cos \theta = 0$$

$$W = 2\sigma L \cos \theta$$

As forças F_1 e F_2 devido à tensão superficial se contrapõem ao peso da agulha. Elas irão contrabalançar o máximo de peso quando estiverem na direção vertical (bem no limite!), portanto:

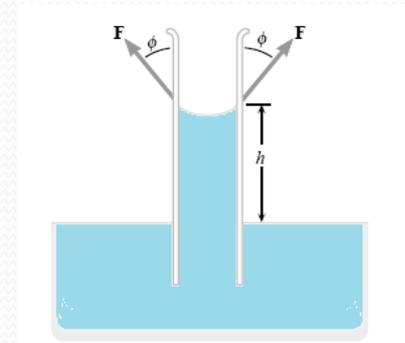
$$W = 2\sigma L \cos \theta = 2 \times 0,073 \frac{\text{N}}{\text{m}} \times 0,032 \text{ m} \times \cos 0^\circ = 4,7 \times 10^{-3} \text{ N}$$

Capilaridade

A tensão superficial se origina das forças de atração inter-moleculares que são denominadas **forças de coesão**. Quando um líquido está em contato com uma superfície sólida (vidro, por exemplo) outras forças de atração acontecem e são chamadas de **forças de adesão**.

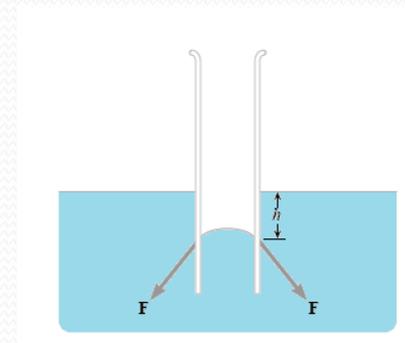
Quando um tubo capilar, aberto em ambas extremidades, é inserido no líquido, o resultado da competição entre estas forças pode ser notado.

No caso da figura ao lado, as forças de adesão são maiores que as de coesão. Desta forma, as moléculas de água são atraídas mais fortemente pelo vidro do que entre si. O resultado é que a água vai *molhando* o vidro e a superfície assume a forma mostrada.



A tensão superficial proporciona uma força F atuando na fronteira circular entre a água e o vidro. Esta força é orientada pelo ângulo ϕ , que é determinado pela competição entre as forças de coesão e de adesão. A componente vertical de F puxa a água para cima no tubo até a altura h . A esta altura a componente vertical de F se contrapõe ao peso da coluna de água de comprimento h .

Se substituirmos a água por mercúrio, as forças de coesão serão maiores que as de adesão. Os átomos de mercúrio são atraídos mais fortemente entre si do que pelo vidro. Como consequência o mercúrio *não molha* o vidro. Agora, ao contrário do caso anterior, a tensão superficial proporciona uma força F , cuja componente vertical puxa o mercúrio para baixo até uma distância h no tubo.



Capilaridade

O valor da *ascensão* capilar num tubo circular é determinado pelo equilíbrio de forças na coluna cilíndrica de altura h no tubo.

$$W = mg = \rho g V = \rho g (\pi R^2 h) \qquad F_y = 2\pi R \sigma \cos \phi$$

$$W = F_y$$

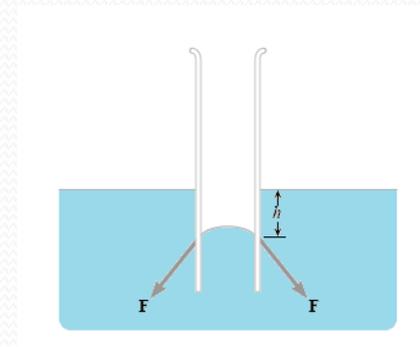
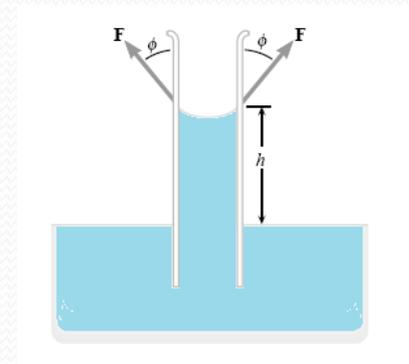
$$h = \frac{2\sigma}{\rho g R} \cos \phi$$

Esta equação também vale para encontrar a *depressão* capilar, neste caso $\phi > 90^\circ$, e o resultado de h será negativo.

Observe que h é inversamente proporcional a R . Quanto mais fino o tubo, maior será h .

Na prática, o feito capilar é desprezível para tubos com diâmetros acima de 1 cm.

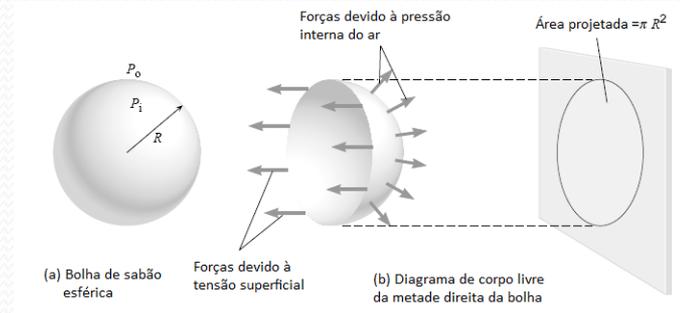
Note que h também é inversamente proporcional à densidade (esperado?).



Pressão no interior de uma bolha de sabão:

Quem já encheu um balão de festa deve ter percebido que a pressão no interior é maior que a pressão externa. A tensão da borracha esticada tende a contrair o balão, daí a necessidade da pressão ser maior.

Uma bolha de sabão tem duas superfícies esféricas (interior e exterior) com uma fina camada de líquido entre elas. Como o balão de festas, a pressão interior é maior que a externa. Como veremos a seguir, esta diferença de pressão depende da tensão superficial do líquido e do Raio R da bolha.



Por simplicidade, assumimos que a pressão externa é nula ($P_o = 0$). Estando a metade direita da bolha em equilíbrio, não há aceleração, o que implica que a força resultante atuando em cada metade deve ser zero.

$$\sum F = 0$$

Força devido à tensão superficial

$$2\sigma(2\pi R) + P_i(\pi R^2) = 0$$

Força devido à pressão no interior da bolha

Resolvendo para P_i :

$$P_i = \frac{4\sigma}{R}$$

Como em geral, a pressão externa não é zero:

$$P_i - P_o = \frac{4\sigma}{R}$$

Portanto, a diferença de pressão depende da tensão superficial e do raio da esfera. Quanto menor a esfera maior será a diferença de pressão.

Pressão no interior de uma gota de líquido:

Em uma gota esférica de água há apenas uma superfície, em vez de duas. Portanto, a força devido à tensão superficial é apenas a metade daquela da bolha de sabão. Consequentemente, a diferença de pressão interna e externa é a metade da apresentada na bolha de sabão:

$$P_i - P_0 = \frac{2\sigma}{R}$$

Esta equação também se aplica a uma bolha esférica no interior de um líquido, com aquelas dentro de um copo de cerveja! Neste caso, a tensão superficial é a do líquido que envolve a bolha.

Exemplo:

Alguém, usando um loop circular de arame e um recipiente com água e sabão, produz uma bolha com raio de 1 mm. A tensão superficial da mistura é $\sigma = 2,5 \times 10^{-2}$ N/m. (a) Determine a diferença de pressão entre o interior e o exterior da bolha. (b) A mesma mistura de água e sabão é usada para produzir uma gota cujo raio é a metade do da bolha, 0,5 mm. Encontre a diferença de pressão entre o interior e o exterior da gota.