

Tensão Superficial

INTRODUÇÃO

Fenômenos de superfície têm interesse multidisciplinar e são importantes tanto para a Física quanto para a Química, a Biologia e as Engenharias. Além disso, há vários efeitos observados no dia-a-dia, que estão relacionados às propriedades da interface entre duas fases — por exemplo, grãos de areia, cliques de papel e outros objetos pequenos podem flutuar sobre a superfície da água, mesmo sendo mais densos que ela; algumas espécies de insetos conseguem andar sobre a superfície da água sem se molhar; na extremidade de um conta-gotas, um líquido sai na forma de gotas, e não como um filete contínuo.

Para entender esses fenômenos, considere a interface de um líquido com seu próprio vapor ou com o ar, como representado na Figura 1. Cada molécula no interior do líquido é atraída pelas demais moléculas igualmente, em todas as direções, enquanto as moléculas que estão na superfície são atraídas para o interior do líquido mais fortemente que em direção ao ar. Ocorre, então, uma contração espontânea da superfície. No interior do líquido, as forças de coesão atuam no sentido de estabilizar o sistema, reduzindo a energia potencial de cada molécula. Porém, por não ter o mesmo número de vizinhas, uma molécula na superfície apresenta maior energia potencial que as no interior do líquido. Portanto, para aumentar a superfície de um líquido, devem-se transferir moléculas de seu interior para a interface, e isso requer certa energia.

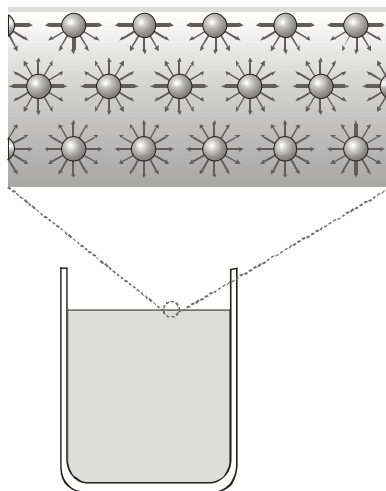


FIGURA 1 - Uma molécula no interior do líquido é atraída pelas demais moléculas, igualmente, em todas direções, enquanto as moléculas, na superfície são atraídas para o interior do líquido mais fortemente que em direção ao ar.

Define-se a tensão superficial γ como a razão entre o trabalho externo W , necessário para aumentar de A a área da interface do líquido, e essa área, ou seja,

$$\gamma = \frac{W}{A} . \quad (1)$$

As forças na interface de um líquido são semelhantes àquelas que mantêm películas elásticas de sólidos esticadas, por exemplo, em membranas e balões de borracha. No entanto, como a tensão superficial independe da área da superfície do líquido, esses sistemas são muito diferentes de películas elásticas sólidas. Quando a área dessas películas é modificada, o número de moléculas na superfície permanece constante, no entanto, as forças e as distâncias entre as moléculas se alteram. Por outro lado, uma alteração na área de uma interface ocorre por meio da variação do número de moléculas, mas a distância média entre elas e a força permanecem praticamente constantes.

A existência de forças na superfície de um líquido pode ser demonstrada com o dispositivo representado na Figura 2, em que um laço de linha fina tem suas extremidades amarradas a um arame dobrado em forma de anel. Mergulhando-se esse conjunto em uma solução de água com sabão, forma-se uma película na parte interna do anel onde o laço de linha flutua livremente, sem forma definida. Nessa situação, as moléculas do líquido, tanto na parte interna quanto na parte externa do laço, exercem forças sobre a linha, permitindo que ela fique em equilíbrio. Quando a película na parte interna do laço é destruída, o laço assume uma forma circular. Isso ocorre devido às forças radiais exercidas pelas moléculas sobre a superfície da película.

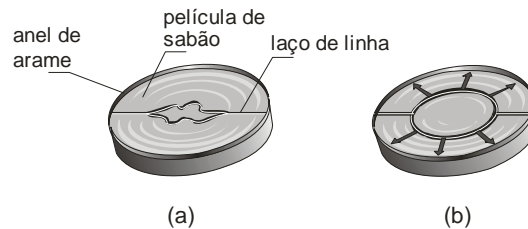


FIGURA 2 - Em (a), forma-se uma película em um anel mergulhado em uma solução de água com sabão e um laço de linha, preso no anel, flutua nessa película; em (b), removendo-se a película do interior do laço, este assume uma forma circular.

A tensão superficial de um líquido pode ser determinada medindo-se a força por unidade de comprimento necessária para aumentar a área da superfície desse líquido. Considere, por exemplo, um fio dobrado em forma de U, sobre o qual um outro fio, de comprimento ℓ , pode deslizar sem atrito, como mostrado na Figura 3.

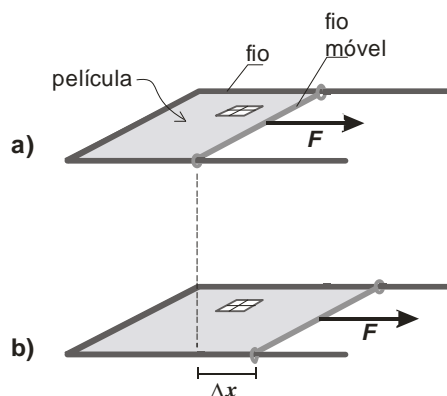


FIGURA 3 - Em (a), o fio móvel é mantido em equilíbrio pela força F , de mesmo módulo e com sentido oposto à força exercida pelas moléculas do interior do líquido; em (b), o trabalho realizado sobre o fio aumenta a área de cada face da película de $\ell\Delta x$.

Esse conjunto é imerso em uma solução de água com sabão e, em seguida, retirado. Deslocando-se o fio móvel, forma-se uma película de água com sabão, como mostrado na Figura 3. Se esse fio for solto, observa-se que ele é puxado pelo líquido devido à tensão superficial que tende a minimizar a superfície do líquido. Seja F a força necessária para deslocar o fio de Δx com velocidade constante. Nessa situação, a energia para mover as moléculas do interior do líquido para a superfície da película é igual ao trabalho realizado pela força externa sobre o fio. Como a película tem duas superfícies, o aumento de sua área é de $2\ell\Delta x$. Utilizando-se a equação 1, obtém-se

$$\gamma = \frac{F\Delta x}{2\ell\Delta x} \quad \text{ou} \quad \gamma = \frac{F}{2\ell} . \quad (2)$$

Esse resultado é utilizado, atualmente, nos principais métodos para se medir a tensão superficial de líquidos. Neste experimento, será utilizado o Método de Du Nouy, também conhecido como Método do Anel. Nele, um anel metálico circular é suspenso em uma balança de precisão — dinamômetro de torção —, e uma base de altura ajustável é usada para levantar o líquido a ser medido até que entre em contato com o anel. Em seguida, o recipiente é novamente abaixado para esticar a película de líquido que se forma em torno do anel, como mostrado no detalhe da Fig. 4a. O módulo F_ℓ da força que o líquido faz sobre esse anel, devido à tensão superficial, é dado por

$$F_\ell = 2\gamma(2\pi r) \cos \theta ,$$

em que $2\pi r$ é o perímetro do anel, θ é o ângulo de contato do líquido e o fator 2 se deve às duas películas que se formam — uma na parte interna e outra na parte externa do anel, como representado na Figura 4a.

Quando o anel está em equilíbrio, a balança exerce uma força sobre ele, cujo módulo F é

$$F = 4\gamma\pi r \cos \theta + P_\ell + P,$$

em que P é o peso do anel e P_ℓ é o peso do líquido que é levantado junto com ele. Na Figura 4b, essa força está representada em função do deslocamento do anel a partir da superfície do líquido.

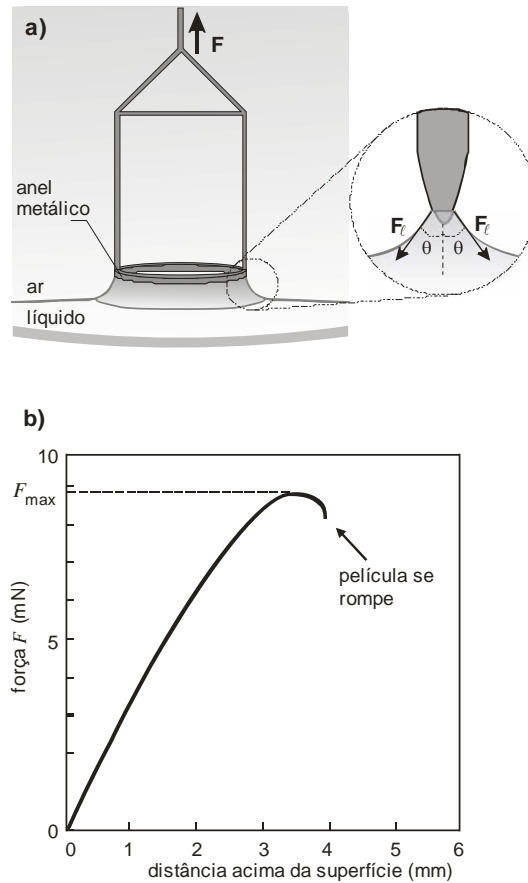


FIGURA 4 - Em (a) apresenta-se o método utilizado a se medir a tensão superficial de um líquido: um anel circular é imerso no líquido e, em seguida, retirado lentamente; nesse caso, a tensão superficial é calculada a partir da medição da força máxima para levantar o anel; em (b) apresenta-se o gráfico da força exercida sobre o anel em função de sua distância até a superfície do líquido.

Quando o módulo dessa força é máximo, F_{\max} , ela tem direção vertical; nesse momento, o ângulo de contato $\theta = 0^\circ$. Desprezando-se o peso P_ℓ do líquido que fica retido no anel e tarando-se a balança para descontar o peso do anel, a tensão superficial é, então, dada por

$$\gamma = \frac{F_{\max}}{4\pi r}. \quad (3)$$

Na Tabela 1, estão relacionados os valores da tensão superficial de alguns líquidos em contato com o ar.

Tabela 1.

Tensão superficial de alguns líquidos com o ar. Os erros são menores que 3%.

Líquido	Temperatura (°C)	Tensão superficial γ (10^{-3} N/m)
Álcool etílico	20	22,3
Glicerina	20	63,1
Mercúrio	20	465
Água	0	75,6
Água	20	72,8
Água	60	66,2
Água	100	58,9
Oxigênio	-193	15,7
Hélio	-269	0,12

PARTE EXPERIMENTAL

Objetivo

- Determinar a tensão superficial da água e de uma solução de água com sabão.

Material utilizado

- Dinamômetro de torção com sensibilidade de 10^{-4} N, anel metálico com diâmetro de ~2,0 cm, base elevatória, recipiente para líquido com diâmetro maior que 10 cm, água destilada, álcool, paquímetro, detergente.

Procedimentos

- Meça o diâmetro do anel e calcule seu perímetro. Em seguida, limpe-o, cuidadosamente, com álcool para remover qualquer resíduo de gordura existente nele, enxágüe-o com água destilada e seque-o com uma toalha de papel limpa. Isso feito, não toque mais no anel.
- Lave o recipiente com água corrente, limpe-o com uma toalha de papel embebida em álcool, enxágüe-o e seque-o bem.
- Pendure o anel no dinamômetro e, em seguida, tare a balança — ou seja, ajuste sua leitura em zero, de forma a eliminar o peso do anel na medida de força.
- Coloque o recipiente com água destilada sobre a base elevatória e ajuste sua altura para que o anel fique completamente submerso. Em seguida, abaixe-a, lenta e gradualmente, e, ao mesmo tempo, nivele o braço do dinamômetro a cada passo. Faça isso até o instante em que o anel se desprende da superfície do líquido. Nessa situação, a leitura, na balança, é igual à força máxima da água sobre o anel, dada pela equação 3.
- Repita essa medida várias vezes e determine o melhor valor dessa força, com sua respectiva incerteza. Determine, então, a tensão superficial da água, também com a respectiva incerteza.
- Em seguida, deve-se medir a tensão superficial de uma solução de água com sabão. Para isso, acrescente 5 a 10 gotas de detergente à água do recipiente. Homogeneíze a mistura obtida e repita o procedimento descrito para se medir a força máxima do líquido sobre o anel.
- Calcule, então, a tensão superficial da solução de água com detergente, com sua respectiva incerteza.
- Compare os resultados obtidos com aqueles mostrados na Tabela 1.