

Água em queda livre

exercício BIF 0442/5721

Vídeos relacionados

- **How does electricity find the "Path of Least Resistance"?**
 - <https://www.youtube.com/watch?v=C3gnNpYK3lo>
- **Water in free fall**
- https://www.youtube.com/watch?v=H_qPWZbxFl8
- https://www.youtube.com/watch?v=bKk_7NIKY3Y

Introdução

Um volume de água solto dentro de uma espaçonave em órbita (queda livre) assume a forma esférica. Em queda livre, a força-peso deixa de existir, sendo que a única força que atua na superfície externa do volume de água é a pressão atmosférica do interior da nave. Na interface líquido-gas, as moléculas de água mantêm uma coesão entre si, formando a tensão superficial. No interior, há a pressão da água (lembrando que não há componente hidrostático pois não há peso da coluna hídrica).



Tensão superficial

As moléculas de água na interface atraem-se umas às outras, exercendo uma força “para dentro”.



O que é “para dentro”?

Havendo um raio de curvatura, a pressão que surge em decorrência da força entre as moléculas na interface aponta em direção ao centro (imaginário) do raio de curvatura. Note, assim, que na figura ao lado, nos pontos de contato das patas com a água, o centro imaginário está na fase gasosa e, assim, a pressão vai no sentido da atmosfera.

Essa pressão (ou a força que surge) é inversamente proporcional ao raio r de curvatura:

$$\vec{F} \propto \frac{1}{r}$$

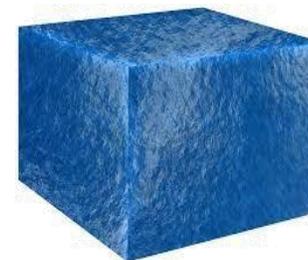
Logo, quanto menor o raio, maior será a pressão que surge apontando em direção ao centro imaginário.

Condições iniciais arbitrárias do volume de água

O Problema - preâmbulo

Considere que, ao ser lançado, o volume pode ter qualquer forma arbitrária, como um cuboide, um “ovoide”, uma “salsicha” ou uma ou mais “protuberâncias” (ver ao lado).

De qualquer condição inicial arbitrária, o volume evolui, espontaneamente, para o formato esférico.



O Problema - Dicas

1

Caso facilite o seu raciocínio, assuma que a resolução do problema 2D é similar à solução em 3D.



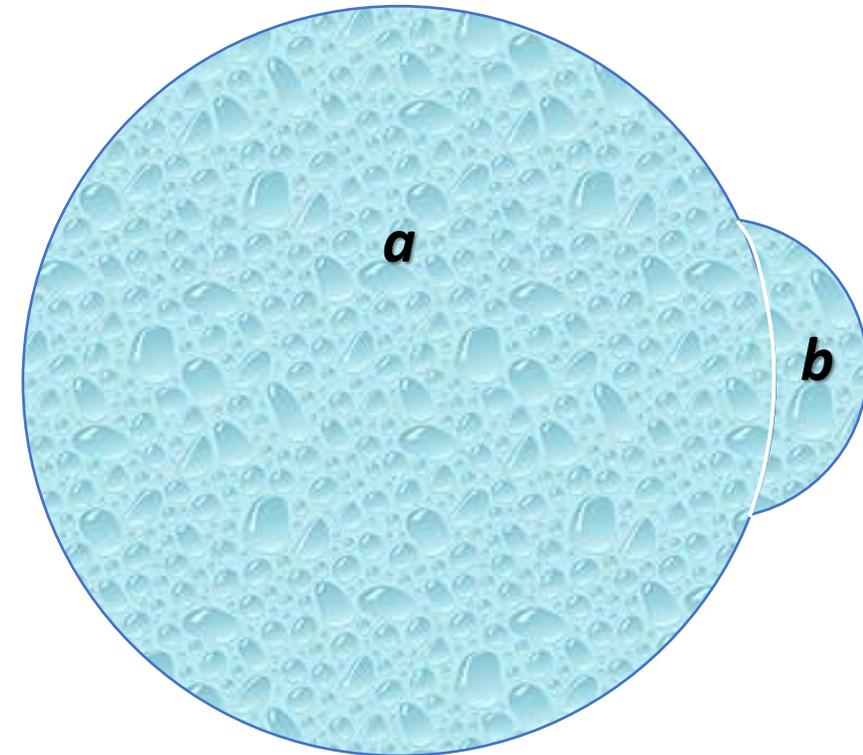
O Problema - Dicas

2

Considere que o sistema parte de uma configuração inicial como a da figura ao lado, havendo uma protuberância “b” numa esfera “a”.

A protuberância tem, inicialmente, um raio de curvatura r_b e um volume V_b , e a esfera tem raio inicial r_{a_i} e volume V_{a_i} .

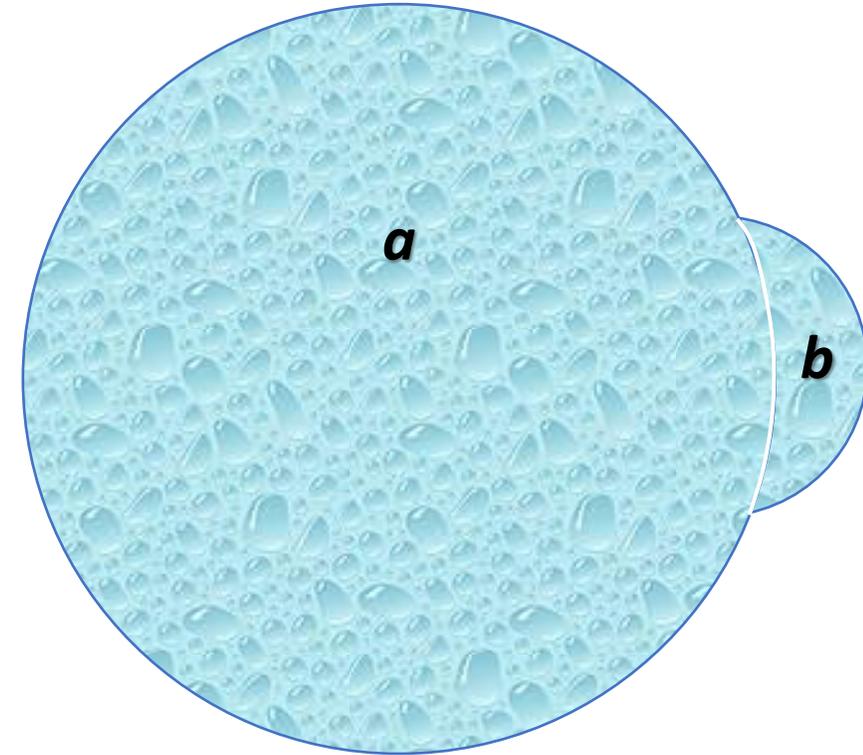
Na configuração final do sistema, todo o volume da protuberância b vai para a esfera, e o raio desta aumenta para r_{a_f} .



O Problema - Dicas

3

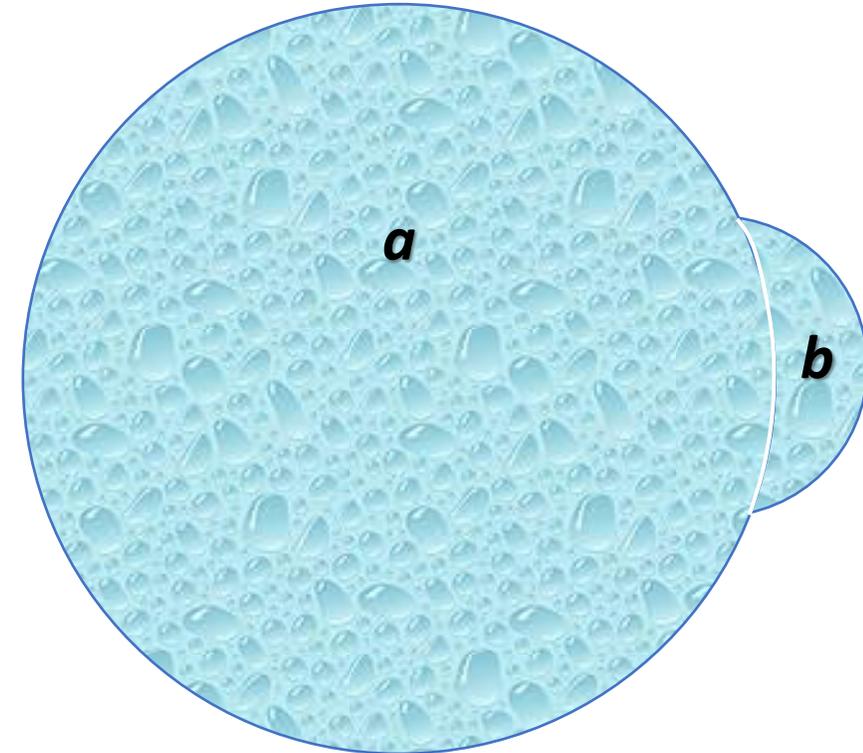
Note que a pressão externa é fixa e que toda a variação de volume no sistema é nula, ou seja, do ponto de vista do entorno as transações de matéria dentro do volume de água não implicam em alteração do volume (ou seja, para o entorno, $dV = 0$).



O Problema - Dicas

4

Estados acessíveis diz respeito a se poder trocar partículas de posição/momentum entre si sem que se perceba alteração macroscópica no sistema. Assim, “partículas que pertencem a um mesmo grupo” podem permutar sem que se altere o estado do sistema.

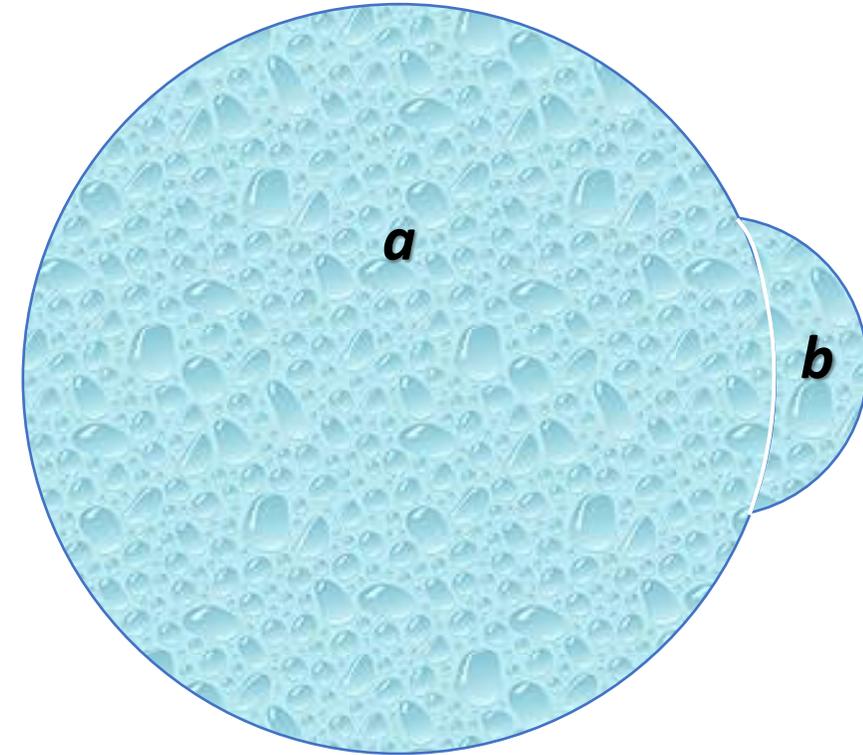


O Problema - Dicas

5

Formato alternativo da 1ª Lei

$$dS = n \cdot \left(c_v \cdot \frac{dT}{T} + R \cdot \frac{dV}{V} \right)$$



O Problema

Considerando que não há rotação do volume e nem ação de outras forças (como campo elétrico), por que o volume assume a forma esférica? Resolva o problema:

- a) pela variação de entropia no sistema, utilizando a forma alternativa da 1ª Lei (lembre-se, do ponto de vista do entorno, não há trabalho sendo realizado pois $dV = 0$)
- b) pela variação de energia livre (mostre que é negativa)
- c) pela variação de entropia considerando “estados acessíveis para as partículas do sistema”
- d) se há variação de energia livre mas não há trabalho sendo realizado, o que mais deve ocorrer?

