

2. En elektriskt laddad såpbubbla

En sfärisk såpbubbla med radien R_0 innehåller luft med densiteten r_i och temperaturen T_i . Den omges av luft med densiteten r_a , och med atmosfäriskt tryck P_a och temperatur T_a . Såpbubblan har ytspänning g , densitet r_s och tjocklek t . Massa och ytspänning hos såplösningen ändras inte med temperaturen. Anta att $R_0 \gg t$.

Ökningen i energi, dE , som behövs för att öka bubblans totala area mot luft med dA , ges av $dE = g dA$, där g är filmens ytspänning.

2.1 Uttryck kvoten $\frac{r_i T_i}{r_a T_a}$ i storheterna g , P_a och R_0 . [1,0 poäng]

2.2 Beräkna numeriska värdet av $\frac{r_i T_i}{r_a T_a} - 1$, givet att $g = 0.0250 \text{ Nm}^{-1}$, $R_0 = 1.00 \text{ cm}$, och $P_a = 1.013 \cdot 10^5 \text{ Nm}^{-2}$. [0,3 poäng]

2.3 Bubblan innehöll ursprungligen varmare luft än omgivningen. Beräkna det minsta värdet på T_i sådant att bubblan håller sig svävande i stillastående luft. Utgå från $T_a = 300 \text{ K}$, $r_s = 1000 \text{ kgm}^{-3}$, $r_a = 1.30 \text{ kgm}^{-3}$, $t = 100 \text{ nm}$ och $g = 9.80 \text{ ms}^{-2}$. [1,7 poäng]

Efter ett tag kommer bubblan att vara i termisk jämvikt med omgivningen och kommer inte längre att kunna sväva.

2.4 Beräkna den minsta hastighet u en uppåtgående luftström då behöver ha för att hålla bubblan svävande. Ge ditt svar uttryckt i r_s , R_0 , g , t och luftens viskositet h . Du kan anta att hastigheten är såpass liten att Stokes lag gäller. Du kan också försumma förändringen i bubblans radie när temperaturen sjunker mot jämvikt. Friktionskraften enligt Stokes lag ges av $F = 6\pi h R_0 u$. [1,7 poäng]

2.5 Beräkna ett numeriskt värde på u givet att $h = 1.8 \cdot 10^{-5} \text{ kgm}^{-1} \text{ s}^{-1}$. [0,3 poäng]

Beräkningarna ovan visar att bidragen från ytspänningen g är små och kan försummas i de följande frågorna.

- 2.6** Såpbubblan ges en likformigt fördelad elektrisk laddning q . Uttryck den nya radien R_1 i storheterna R_0, P_a, q samt permittiviteten i vakuum ϵ_0 . **[1,5 poäng]**
- 2.7** Anta att den totala laddningen inte är alltför stor (dvs. $\frac{q^2}{\epsilon_0 R_0^4} \ll P_a$) och att bubblans radie ökar ganska lite. Sök DR där $R_1 = R_0 + DR$, givet att $(1+x)^n \gg 1+nx$ där $x \ll 1$. **[0,5 poäng]**
- 2.8** Hur stor behöver laddningen q vara för att bubblan ska sväva i vila i stillastående luft? Uttryck denna laddning i storheterna $t, r_a, r_s, \epsilon_0, R_0, P_a$. Beräkna också ett numeriskt värde på q . Permittiviteten i vakuum är $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$ farad/m. **[1,0 poäng]**