

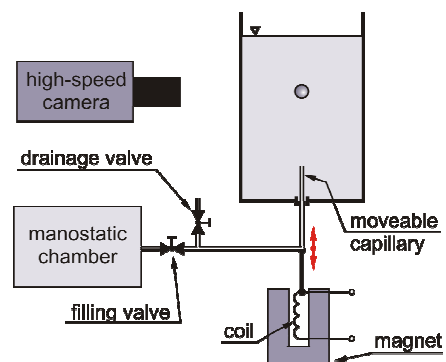
OSCILACE BUBLIN A JEJICH TLUMENÍ POVRCHOVĚ AKTIVNÍMI LÁTKAMI

Bubble oscillations and their damping by surfactants

Jiří Vejražka, Sandra Orvalho, Mária Fujasová

Ústav chemických procesů Akademie věd České republiky, v.v.i., Praha

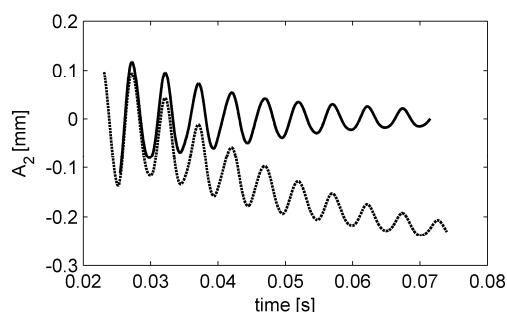
Povrchově aktivní látky (surfaktanty) ovlivňují dynamiku bublin v systémech, ve kterých se vyskytují. Je dobře známé, že např. milimetrová bublina stoupá ve velmi čisté vodě rychlostí více než 30 cm/s, zatímco po přidání malého množství povrchově aktivních látek (stačí například použít běžnou vodovodní vodu) rychlost klesne i na 15 cm/s (viz např. Clift et al., 2005). Přitom pokud změříme běžnými metodami fyzikální vlastnosti kontaminované kapaliny, zjistíme mnohdy jen nepatrný pokles povrchového napětí oproti čisté vodě a jen neměřitelnou změnu hustoty a viskozity. Jiným dobře známým a studovaným případem vlivu surfaktantů jsou bubliny, u kterých jsou vynuceny objemové oscilace (Wantke et al., 1998). Protože dochází ke změně povrchu bubliny a k následné adsorpci a desorpci surfaktantu, mění se i povrchové napětí rozhraní. Tento jev je používán ve standardních metodách pro charakterizaci roztoků surfaktantů (tj. pro určení povrchové viskozity a Gibbsovy elasticity mezifázového rozhraní). Oproti tomu je známo poměrně málo o vlivu surfaktantů na tvarové oscilace bubliny; experimentálních dat je v tomto směru jen málo (Lu a Apfel, 1991).



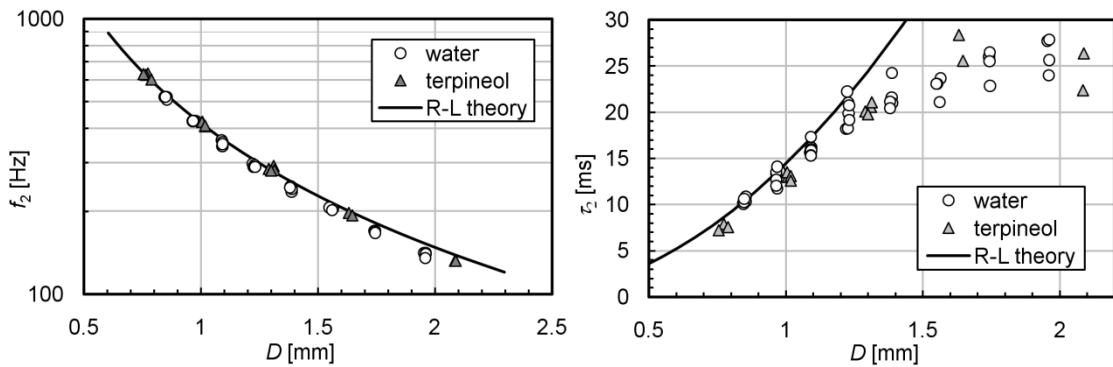
Obr. 1. Experimentální zařízení pro studium oscilací bublin.

Proto jsme se rozhodli tvarové oscilace bublin v přítomnosti surfaktantů experimentálně charakterizovat. Experimenty jsme provedli v zařízení načrtnutém na obrázku 1. Bublina roste na kapiláře, kterou v okamžiku, kdy dosáhne žádané velikosti, axiálně pohneme (viz Vejražka et al., 2008, pro podrobnější popis zařízení). Tím vynutíme buď i) odtrh bubliny a její následný pohyb, při kterém bublina osciluje, nebo ii) kmitání bubliny uchycené na hrotu kapiláry. Pohyb a oscilace sledujeme prostřednictvím rychloběžné kamery. Počítačovým zpracováním obrazu získáme informace o poloze a rychlosti těžiště bubliny. Dále vyhodnotíme tvar bubliny, který rozložíme na jednotlivé základní tvary

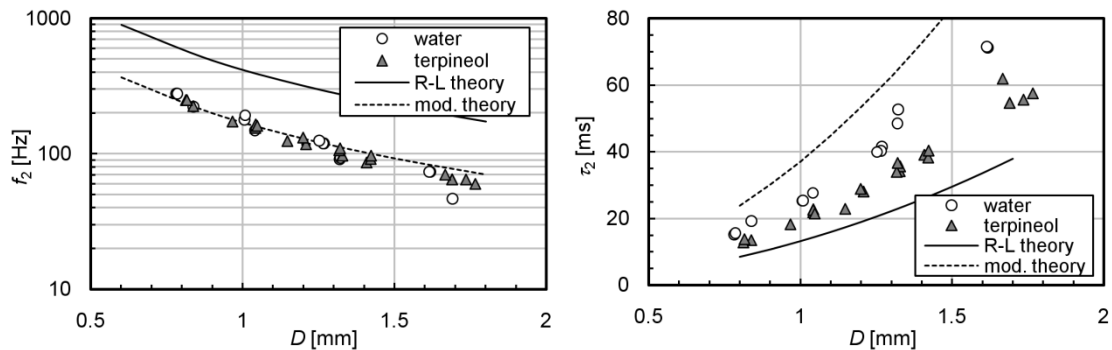
kde r_0 je (objemově ekvivalentní) poloměr bubliny, A_i je amplituda jednotlivých módů a $P_i(\cos \theta)$ je tvar těchto módů, popsán Legendrovými polynomy i -tého řádu P_i , a θ je úhel měřený od horního pólu bubliny. Obrázek 2 ukazuje příklad vývoje amplitud



Obr. 2. Amplituda tvarového modu 2 u volně stoupající bubliny o velikosti 1.55 mm. Tečkovaná čára udává naměřené amplitudy, plná její oscilující část.



Obr. 3. Frekvence oscilací (vlevo) a jejich čas utlumení (vpravo) pro volně stoupající bublinu.



Obr. 4. Frekvence oscilací (vlevo) a jejich čas utlumení (vpravo) pro bublinu uchycenou na kapiláře.

A_2 v čase. Tu lze očistit od pomalého vývoje vhodnou filtrací a zachovat pouze oscilující část (která je též ukázána na obr. 2). Pro ni je potom možné určit charakteristickou frekvenci f_2 a charakteristický čas útlumu τ_2 .

Závislosti f_2 a τ_2 na velikosti bubliny jsou vyneseny v obrázcích 3 a 4 pro volnou, resp. uchycenou bublinu a jsou srovnány s potenciálním řešením podle Rayleigha a Lamba (Lamb §275, 1945, viz též Galinat, 2007). Výsledky jsou ukázány pro velmi čistou vodu a pro $0.1 \cdot 10^{-3} \text{M}$ vodný roztok terpineolu (povrchové napětí bylo 69 mN/m). Je zřejmé, že vliv terpineol nemá žádný vliv na frekvenci oscilací a v případě volné bubliny ani na čas útlumu. Naproti tomu, v případě bubliny uchycené na kapiláře čas útlumu ztlačně poklesl. Frekvence je zcela necitlivá a čas útlumu je jen málo citlivý na způsob, jak byly oscilace vynuceny. (Pro každou velikost bubliny byla měření opakována s různými pohyby jehly; následná rozdílnost počátečních podmínek způsobuje rozptýlení dat τ_2). Jak frekvence f_2 , tak i čas útlumu τ_2 odpovídají Rayleigh-Lambově modelu, pokud bubliny nejsou uchyceny a jsou dostatečně malé. V případě větších bublin se τ_2 odchyluje od modelu. Pro bubliny uchycené na kapiláře je nutná modifikace modelu.

Poděkování

Tento výzkum byl podporován Grantovou agenturou Akademie věd (projekt IAA200720801).

Literatura

- Clift R, Grace JR, Weber ME, (2005): *Bubbles, drops and particles*. Dover
- Wantke KD, Fruhner H, Fang JP, Lunkenheimer K, (1998): Measurements of the surface elasticity in medium frequency range using the oscillating bubble method. *J Colloid Interface Sci*, **208**, 34-48
- Lu HL, Apfel RE, (1991): Shape Oscillations of Drops in the Presence of Surfactants. *J Fluid Mech* **222**, 351-368
- Vejrazka J, Fijasova M, Stanovsky P, Ruzicka MC, Drahos J, (2008): Bubbling controlled by needle movement. *Fluid Dyn Res*, **40**, 521-533
- Lamb H, (1945): *Hydrodynamics*. Dover
- Galinat S, Risso F, Masbernat O, Guiraud P, (2007): Dynamics of drop breakup in inhomogeneous turbulence at various volume fractions *Journal of Fluid Mechanics*, 2007, 578, 85-94