

## 1.5. Tensiunea superficială

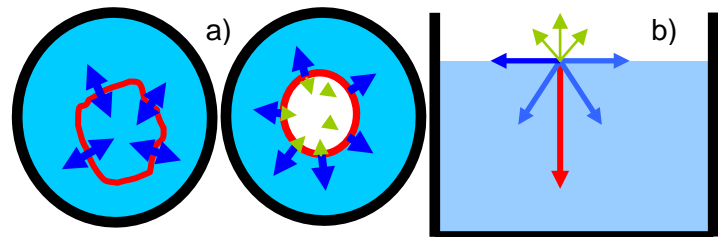
Suprafața de contact dintre două fluide imiscibile tinde să fie minimă, datorită forțelor de coeziune, forțe care se manifestă puternic la distanțe de  $10^{-6}$ mm. Orice suprafață având energie liberă se “contractă”, moleculele din stratul superficial fiind supuse unor forțe tangențiale numite forțe de **tensiune superficială** ( $\sigma$ ).

Manifestări ale prezenței tensiunii superficiale este forma circulară pe care o un fir înglobat într-o pelicula de lichid atunci când pelicula din interior este spartă (**Fig.1.3.a**). Forma circulară corespunde suprafeței minime de contact dintre lichid și aer.

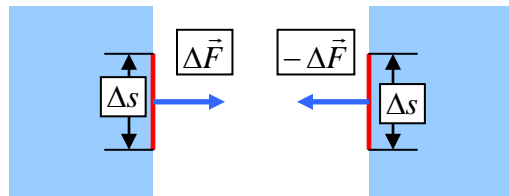
Suprafața liberă este modelată printr-o membrană **perfect elastică** și sollicitată în mod uniform, efortul unitar având o intensitate constantă, independent de punct și de direcție.

Forțele de coeziune exercită asupra unei molecule aflate în interiorul unui lichid un sistem echivalent cu zero. Pentru moleculele aflate la nivelul suprafeței libere, lichidul exercită forțe în suplimentare din interiorul lichidului, rezultanta fiind îndreptată spre interior.

Efectul acestei rezultante este o compresiune suplimentară asupra lichidului, compresiune care se adaugă presiunii gazului de la nivelul suprafeței de contact (**Fig.1.3 b**).



**Fig. 1.3.** Efectul; tensiunii superficiale asupra interfeței dintre fluide imiscibile(a) și asupra suprafeței libere a lichidelor (b).



**Fig.1.4.** Semnificația tensiunii superficiale.

Forțele de coeziune, tangente la suprafața liberă dau naștere unor tensiuni în această suprafață. Menținerea în contact a două fragmente ale suprafeței libere produse prin practicarea unei discontinuități de lungime  $\Delta s$  necesită prezența a două forțe tangente la suprafața liberă și normale la discontinuitatea  $\Delta s$  (**Fig.1.4**).

$$\vec{\sigma} = \lim_{\Delta s \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{F}}{\Delta s} = \frac{d\vec{F}}{ds}$$

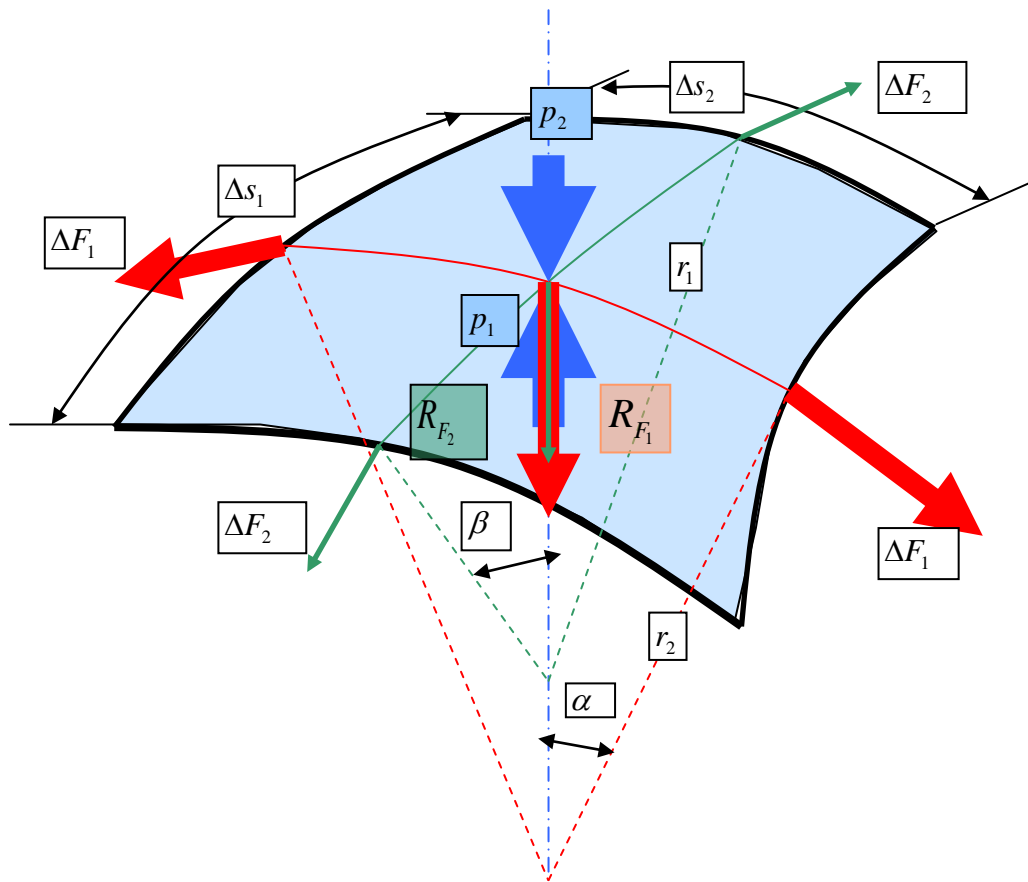
Forțele care creează tensiune la suprafața de separație a fazelor sunt tangente la suprafața liberă și normale pe laturile suprafeței elementare ( $\Delta A = \Delta s_1 \cdot \Delta s_2$ ) și proporționale cu lungimea acestor laturi ( $\Delta s_1, \Delta s_2$ ; **Fig.1.5**):

- $\Delta \vec{F}_1 = \sigma \cdot \Delta s_1$  -acționează perpendicular pe latura de lungime  $\Delta s_1$ ;
- $\Delta \vec{F}_2 = \sigma \cdot \Delta s_2$  -acționează perpendicular pe latura de lungime  $\Delta s_2$ ;

Intensitatea rezultatelor forțelor superficiale care acționează pe ambele laturi ale elementului de suprafață ( $\Delta A$ ) sunt:

- $$R_{F_1} = 2 \cdot \sigma \cdot \Delta s_1 \cdot \sin \alpha \approx 2 \cdot \sigma \cdot \alpha = 2 \cdot \sigma \cdot \Delta s_1 \cdot \frac{\Delta s_2}{r_2} = \sigma \cdot \frac{\Delta s_1 \cdot \Delta s_2}{r_2} = \sigma \cdot \frac{\Delta A}{r_2} \quad (\text{Fig.1.6})$$

- $$R_{F_2} = 2 \cdot \sigma \cdot \Delta s_2 \cdot \sin \beta \approx 2 \cdot \sigma \cdot \beta = 2 \cdot \sigma \cdot \Delta s_2 \cdot \frac{\Delta s_1}{r_1} = \sigma \cdot \frac{\Delta s_2 \cdot \Delta s_1}{r_1} = \sigma \cdot \frac{\Delta A}{r_1}$$



**Fig.1. 5. Elementul de suprafață  $\Delta A$  supus forțelor de tensiune superficială**

Condiția de repaus a suprafeței  $\Delta A$  este dată de echilibrul presiunilor exercitate pe fața convexă ( $p_2$ ) și cea concavă ( $p_1, R_{F_1}, R_{F_2}$ ):

$$(p_1 - p_2) \cdot \Delta A = R_{F_1} + R_{F_2} \Leftrightarrow (p_1 - p_2) \cdot \Delta A = \sigma \cdot \frac{\Delta A}{r_2} + \sigma \cdot \frac{\Delta A}{r_1}$$

din care rezultă:

$$p_1 - p_2 = \sigma \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$$

relație care exprimă faptul că în orice punct al unei suprafețe libere a unui lichid în repaus, diferența presiunilor exercitate pe cele două fețe ale suprafeței libere este egală cu produsul dintre tensiunea superficială și *curbura medie* a suprafeței (teorema lui Laplace).

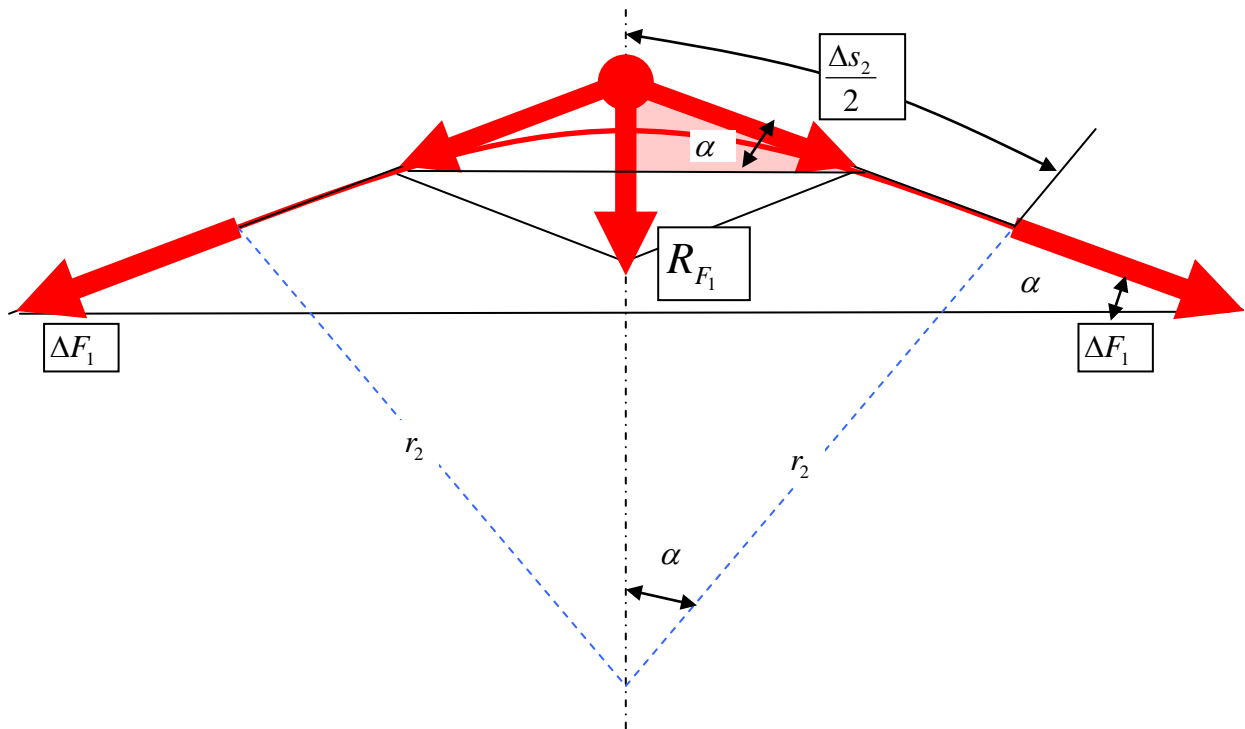
Trebuie remarcă faptul că la traversarea suprafeței de *curbură medie*:

$$\frac{1}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}}$$

dinspre partea convexă spre partea concavă, presiunea crește. În cazul suprafețelor plane ( $r_1 = r_2 = \infty$ ) rezultă că presiunile pe cele două părți ale suprafeței de separație sunt egale ( $p_1 = p_2$ ).

Valoarea  $\sigma$  a tensiunii superficiale depinde de:

- natura fluidelor în contact (pentru același fluid  $\sigma$  variază puțin cu natura



**Fig.1.6.** Compunerea forțelor care creează tensiunea în elementul de suprafață  $\Delta A$  pe latura  $\Delta s_1$ .

gazului)

- temperatura (crește temperatura și scade  $\sigma$ ).

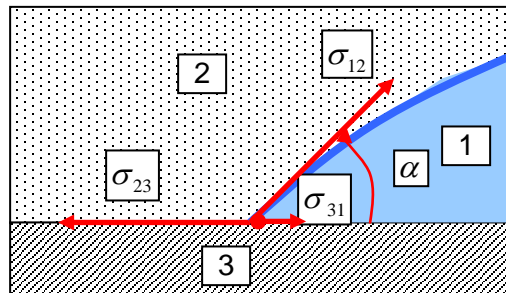
În SI unitatea de măsură pentru tensiunea superficială este 1N/m. Pentru apă și aer la 20°C este:

$$\sigma = 0,0726 \frac{N}{m} = 0,0074 \frac{kgf}{m}$$

Racordarea fluidelor imiscibile, cu tensiuni superficiale diferite, sau la contactul fluidelor cu corpuri solide apar unghiuri de racordare determinate de condițiile de echilibru care asigură repaus sau mobilitatea fazelor în contact.

Pentru un lichid, un gaz și un perete solid având o linie de contact comună condiția de repaus rezultă din ecuația(**Fig.1.7**):

$$\sigma_{12} \cdot \cos \alpha - \sigma_{23} + \sigma_{31} = 0$$



**Fig.1.7.** Linie de contact comună: lichid(1), gaz(2), solid(3).

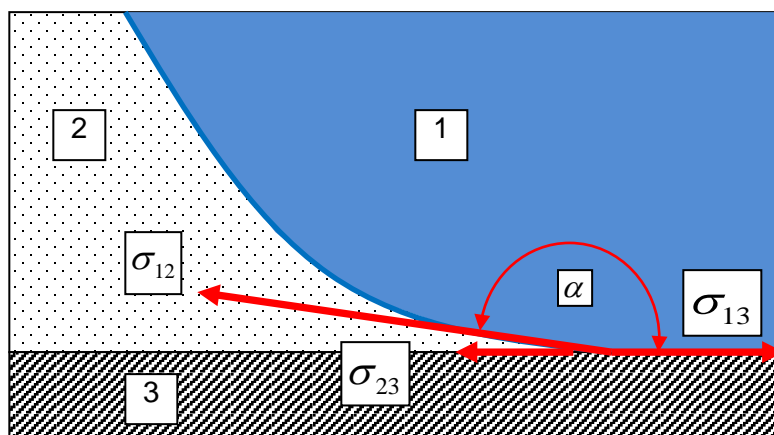
iar unghiul de racordare din relația:

$$\cos \alpha = \frac{\sigma_{23} - \sigma_{31}}{\sigma_{12}} \quad (\text{relatia YOUNG})$$

Dacă  $|\vec{\sigma}_{23}| > |\vec{\sigma}_{12}| + |\vec{\sigma}_{31}|$ , din condiția de echilibru rezultă că **repausul** liniei de contact nu este posibil iar lichidul (1) se întinde pe toată suprafața solidă, adică **udă perfect** suprafața solidă.

Dacă  $|\vec{\sigma}_{23}| < |\vec{\sigma}_{12}| + |\vec{\sigma}_{31}|$ , repausul este asigurat și pot apare două situații:

- $|\vec{\sigma}_{23}| > |\vec{\sigma}_{31}| \Rightarrow \cos \alpha > 0$ , rezultă că unghiul  $\alpha$  este ascuțit și se spune că lichidul **udă imperfect** suprafața solidului.
- $|\vec{\sigma}_{23}| < |\vec{\sigma}_{31}| \Rightarrow \cos \alpha < 0$ , rezultă că unghiul  $\alpha$  este obtuz și se spune că lichidul **nu udă** suprafața solidului (**Fig.1.8**).



**Fig.1.8.** Linie de contact: lichid care nu udă suprafața solidului(1), gaz(2), solid(3).