

9. Povrchové napětí kapalin. Povrchová energie pevných látek. Tekuté krystaly.



Cíl:

Poznat jevy povrchového napětí, které pozorujeme téměř všude v přírodě kolem nás a nacházejí využití v mnoha odvětvích lidské činnosti, v chemii, biologii, v domácnosti, průmyslu, zemědělství, atd. V následujících podkapitolách je uveden přehled alespoň některých z nich.

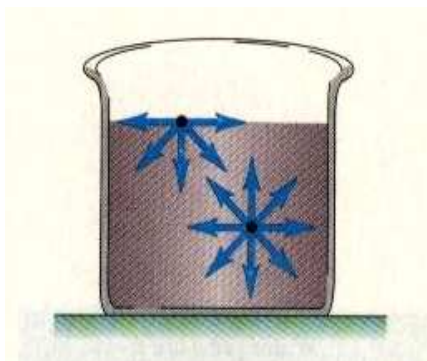


9.1. Povrchové napětí kapalin.

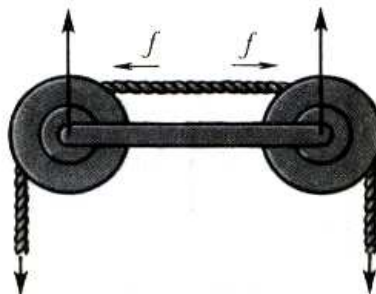
Kapalně skupenství látek je s jedné strany ohraničeno skupenstvím pevným a s druhé strany skupenstvím plynným. Proto je přirozené očekávat, že kapaliny budou mít vlastnosti a strukturu, nacházející se někde mezi uspořádanými pevnými látkami a chaotickými plyny. Hustota kapalin se příliš neliší od hustoty pevných látek (kde se atomy nacházejí v těsné blízkosti) a proto i v kapalinách budou tyto částice (atomy nebo molekuly) dosti blízko u sebe, ale přitom nebudou na sebe vázány tak velkými silami jako v pevných látkách (proto kapaliny nemají stálý tvar), ale přesto ještě dosti velkými (takže kapaliny udržují svůj objem).

Podle Frenkela připomíná pohyb částic v kapalinách pohyb kočovníků: částice poskočí o malý úsek, chvíli kmitá na místě a opět poskočí náhodným směrem a zase kmitá, atd.

Vyjdeme-li tedy z tohoto kvalitativního modelu kapaliny a vybereme-li si jednu částici uvnitř kapaliny, můžeme říci, že výslednice meziatomových (nebo mezimolekulárních) sil, které na ni působí, je nulová. Zcela jinak je tomu blízko povrchu a na povrchu kapaliny. Tam je výslednice sil, působících na částici nenulová a směřuje dovnitř kapaliny (Obr.9.1). Situace je tedy taková, jakoby byla kapalina stlačena silou, působící směrem dovnitř kapaliny. Ta síla je, ač se to na první pohled nezdá, značná – kapalina je stlačena tak, že se jeví navenek jako téměř nestlačitelná. Jinými slovy to znamená, že na povrchu kapaliny je něco, co připomíná tenkou elastickou blanku, snažící se co nejvíce zmenšit svůj povrch (Obr.9.2).

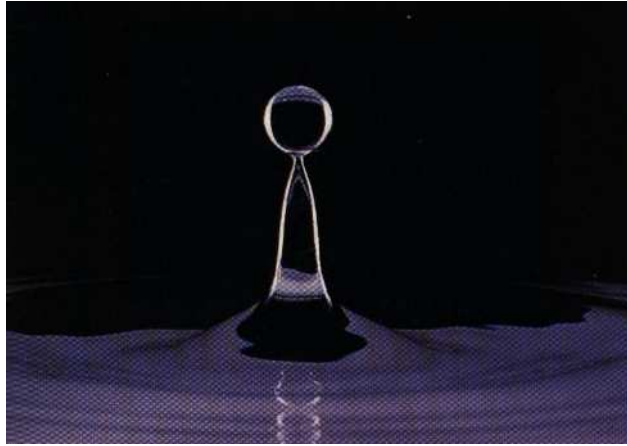


Obr.9.1. Ke vzniku síly povrchového



Obr.9.2. Směr síly povrchového napětí

Například v beztížném stavu zaujme pod vlivem této síly kapalina tvar koule (při daném objemu má minimální povrch). Stejně je tomu i v případě, že výslednice sil, působících na kapalinu, je nulová (Obr.9.3.)



Obr.9.3. Tvar povrchu kapaliny v beztížném stavu (po dopadu kapičky na povrch kapaliny vznikne v jistém kratičkém časovém intervalu tento tvar povrchu kapaliny. Síla tíhová je zde rovna síle setrvačné směrem nahoru a dochází pro tuto chvíli k beztížnému stavu. Jedinou silou, působící na kapičku, je síla povrchového napětí).

Povrchové napětí je definováno jako síla dF , působící na jednotku délky povrchu dl (tečně k povrchu kapaliny)

$$\sigma = \frac{dF}{dl} \quad (7.1)$$

Nebo jako energie dE jednotky povrchu kapaliny dS

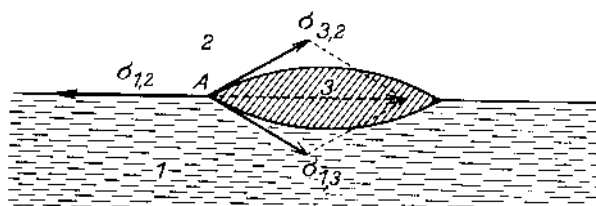
$$\sigma = \frac{dE}{dS} \quad (7.2)$$

(v tomto případě se jedná o tzv. *volnou energii*, definovanou v termodynamice pomocí vztahu $dE = -S.dT - p.dV$, kde S je entropie soustavy, charakterizující její uspořádání a p , T a V jsou její tlak, teplota a objem. Dochází-li ke změně povrchu kapaliny izotermicky, je teplota konstantní a tedy $dT = 0$ a změnu objemu lze snadno převést na změnu povrchu)

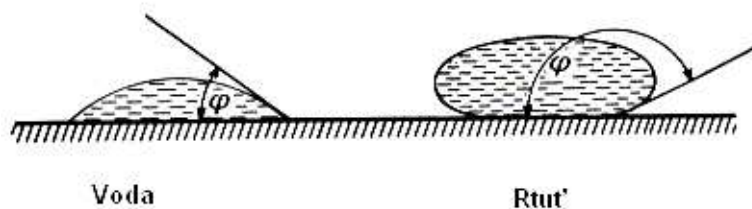
Povrchové napětí kapalin závisí na více parametrech (to plyne z Obr.9.1.) Bude záviset na kvalitě přechodu kapalina – plyn i na prostředí nad kapalinou, tedy zřejmě na hustotě obou prostředí, teplotě, tlaku čistotě kapaliny, apod.:

$$\sigma = f(T, p, \rho, \text{čistota, tenze par,}) \quad (7.3)$$

Obdobu povrchového napětí kapalin mají i pevné látky (ztuhnutím by se nemělo nic příliš měnit na kvalitativním Obr.9.1). V případě pevných látek se povrchové napětí nazývá povrchovou energií pevných látek. Proto můžeme kvalitativně i kvantitativně objasnit tvar povrchu kapaliny na rozhraní tří prostředí, pevného, kapalného a plynného, stejně jako tvar kapiček jedné kapaliny na povrchu druhé (nejsou-li navzájem rozpustné), nebo na povrchu pevné látky. Některé z těchto případů jsou uvedeny na Obr.9.4 a 9.5.



Obr.9.4. Tvar kapiček jedné kapaliny na kapalině druhé.



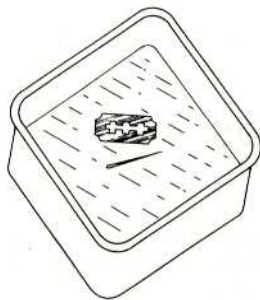
Obr.9.5. Tvar kapiček kapaliny na pevném povrchu (např. skle).

9.2. Výskyt a využití povrchového napětí.

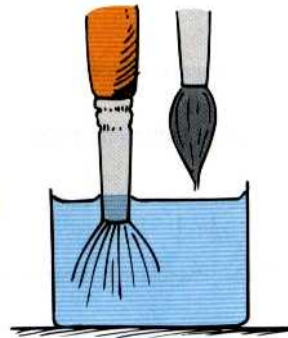
Jevy povrchového napětí pozorujeme téměř všude v přírodě kolem nás a nacházejí využití v mnoha odvětvích lidské činnosti, v chemii, biologii, v domácnosti, průmyslu, zemědělství, atd. Uvedeme přehled alespoň některých z nich:

- Využití v chemii: jevy povrchového napětí jsou podstatou celých odvětví chemie, jako je např. koloidní chemie, chromatografie, vysvětluje vlastnosti povrchově aktivních látek a katalyzátorů, atd.
- Využití v biologii: povrchové napětí vysvětluje mnoho jevů, souvisejících s činností buněk, stejně jako kapilární jevy v rostlinách, atd.
- Využití v domácnosti: mytí, praní, holení, jsou činnosti, které mají společnou podstatu. Jde o umožnění smáčení nečistot a tím jejich odstranění. Studená voda má vysoké povrchové napětí a tak abychom ji mohli použít k výše uvedeným činnostem, musíme toto napětí snížit (ohřátím, přidáním látek, snižujících povrchové napětí – mýdla, saponátů apod.).

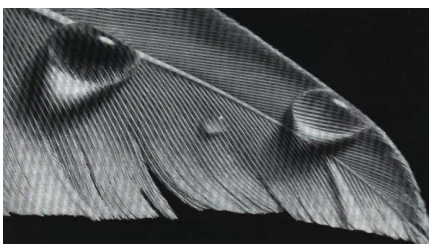
- d) Využití v zemědělství: aby bylo možno správně aplikovat herbicidy a insekticidy, je třeba upravit vhodně povrchové napětí postřiků (aby buď ulpěly, nebo neulpěly na daném druhu rostliny – kulturní či plevelné)
- e) Využití v průmyslu: technologický postup, zvaný *flotace* spočívá v oddělování hlušiny od těžené látky (železa, zlata apod.). Kapalina s vhodně upraveným povrchovým napětím (voda + saponát) způsobí, že hlušina bude smáčena a klesne ke dnu a nemáčená látka, na níž se vytvoří vzduchové bublinky vyplave na hladinu. Fyzikální podstata *broušení* je založena na skutečnosti, že vhodná kapalina sníží povrchové napětí broušených či obráběných látek. Chceme-li například vrtat otvor ve skle, lze to provést s úspěchem pod vodou (sklo se však musí pečlivě odmastit).
- f) Přírodní jevy: existence povrchového napětí vysvětluje takové jevy, jako je pohyb drobného hmyzu po vodní hladině, „plavání“ drobných předmětů (žiletka, jehla, hliníková mince) na hladině vody (Obr.9.6.), jaká síla způsobí změnu tvaru špičky štětce po namočení, apod.(Obr.9.7.). Rovněž objasní důvod, proč voda nepronikne peřím vodních ptáků a ti mohou snadno plavat po vodní hladině (Obr. 9.8). a naopak důvod, proč se tito ptáci utopí, když je zasáhne ropná skvrna na hladině. I tvar kapek rosy na listech a květech rostlin souvisí s povrchovým napětím vody (Obr.9.9.). Velkou většinu meteorologických jevů lze také objasnit povrchovým napětím vody (elektrický náboj v bouřkových mracích, tvar vodních kapek, vznik krup, apod.).



Obr.9.6. Drobné kovové předměty „plavou“ na povrchu kapaliny díky povrchovému napětí.



Obr.9.7. Síla povrchového napětí stáhne po namočení štětec do špičky.



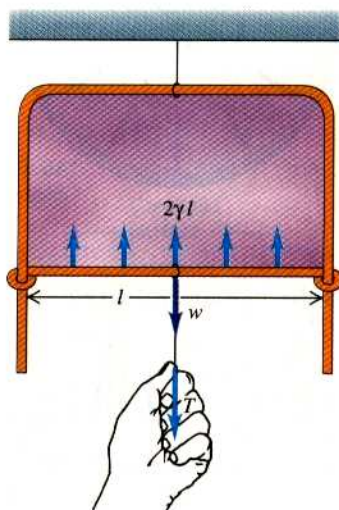
Obr.9.8. Kapičky vody na ptačím peří.

Obr.9.9. Kapičky vody na nesmáčivém povrchu okvětních lístků růže.

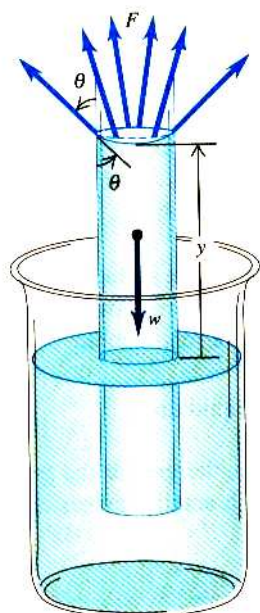
9.3. Měření povrchového napětí.

Povrchové napětí lze měřit buď metodami přímými, nebo nepřímými:

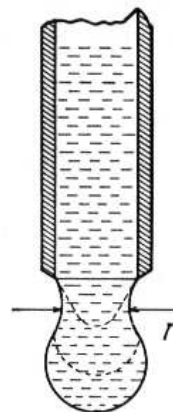
- a) Přímá metoda, vycházející z definice: tato metoda vychází ze vztahu (9.1) a Obr.9.10. Do měřené kapaliny ponoříme tělísko definovaného tvaru o známé délce a měříme sílu, potřebnou k vytažení tělíska z kapaliny.



Obr.9.10. Princip přímé metody měření povrchového napětí.



Obr.9.11. Metoda ze vzestupu v kapiláře.



Obr.9.12. Kapková metoda.

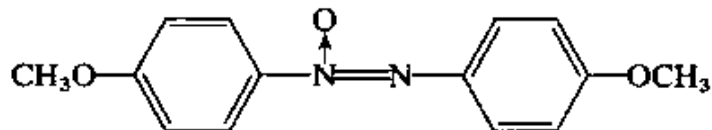
- b) Metoda, využívající vzestupu v kapiláře: z Obr.9.11. plyne, že síla povrchového napětí je v rovnováze s tíhou sloupce kapaliny. Toho lze využít k měření povrchového napětí kapalin (je třeba změřit hustotu kapaliny a poloměr kapiláry).
- c) Metoda kapková: necháme-li odkapávat kapalinu z tenké trubičky (Obr.9.12.), můžeme tvrdit, že kapička odkápně tehdy, když je síla tíhová rovna síle povrchového napětí, působící na obvodu kapiláry. Skutečnost je však taková, že kapička neodpadne celá a část jí zůstane na konci kapiláry. Proto tuto metodu užíváme jako metodu relativní, tj. srovnáváme tíhu určitého počtu kapek neznámé kapaliny se stejným počtem kapiček kapaliny se známým povrchovým napětím (a předpokládáme, že zbytek kapaliny, který neukápl, je stejný pro obě kapaliny).

9.4. Tekuté krystaly.

Na přelomu 19. a 20. století zjistil Rakouský biolog Reinitzer při zahřívání různých pevných látek až nad bod tání, že vzniklá kapalina je zprvu neprůhledná (opalizuje) a teprve při dalším zahřívání se od jisté teploty změní na průhlednou kapalinu. Stručně řečeno, některé látky mají dva body tání. Se svým pozorováním se svěřil svému příteli fyzikovi Lehmannovi, který se tomuto problému intenzivně věnoval a nazval tyto látky „mezofáze“ (později *parakrystaly*, *kapalné krystaly*, *tekuté krystaly*). Zjistil, že tyto krystaly lze získat rozpouštěním v rozpouštědle (*lyotropní tekuté krystaly*), nebo roztavením (*termotropní tekuté krystaly*).

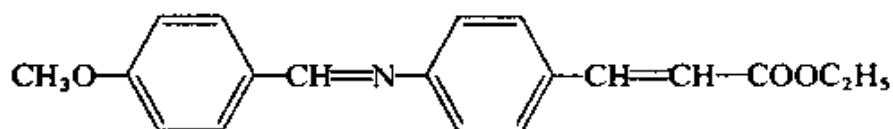
Příklad tekutých krystalů:

P – azoxyanisol



Oblast výskytu fáze tekutých krystalů: < 357 K – 423 K >.

Ethylester p – anisalaminoskořicové kyseliny

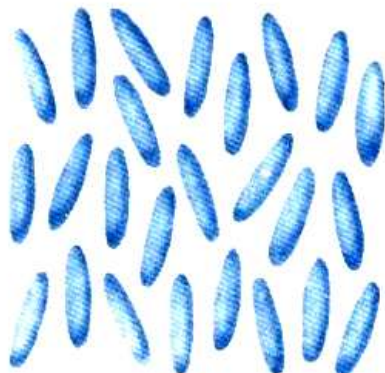


Oblast výskytu fáze tekutých krystalů: < 356 K – 412 K >.

9.4.1. Struktura tekutých krystalů.

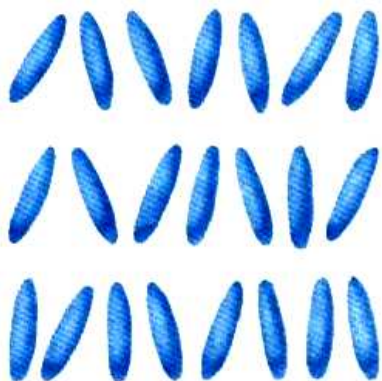
Obecně se dá říci, že tekuté krystaly se vyskytují u látek, které mají nesymetrické, protáhlé molekuly, tedy u látek organických. Takové dlouhé molekuly lze uspořádat tak, že jsou uloženy v trojrozměrné krystalové mřížce, uspořádané ve všech třech směrech (pak se jedná o pevnou fázi). Dále je lze uspořádat ve dvou směrech, nebo v jednom směru (to se jedná o tekuté krystaly). Jsou-li neuspořádané, mají strukturu typických kapalin. Proto se přímo nabízí rozdělení tekutých krystalů podle stupně uspořádání na:

a) Nematické tekuté krystaly (název pochází od řeckého slova νεμα = nit). Tyto tekuté krystaly jsou uspořádány v jednom směru (samozřejmě díky tepelnému pohybu jsou ze svého směru stále vychylovány – Obr.9.13.).

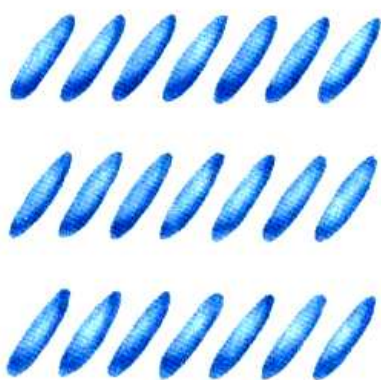


Obr. 9.13. Struktura nematických tekutých krystalů.

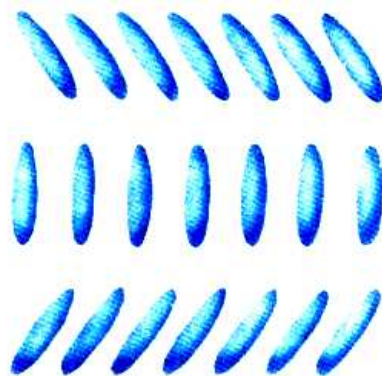
b) Smektické tekuté krystaly ($\sigma\mu\epsilon\gamma\mu\alpha$ = mýdlo). V případě těchto tekutých krystalů existuje uspořádání ve dvou směrech, tj. molekuly jsou uspořádány ve vrstvách (Obr. 9.14a,b,c..). Mezi vrstvami se u lyotropních tekutých krystalů nachází kapalina, v níž jsou rozpuštěny. Z obrázků je vidět, že podélné osy molekul v jednotlivých vrstvách mohou být orientovány různým směrem. Odtud plyne, že takové krystaly jsou určitě opticky aktivní (stáčí polarizační rovinu – to můžeme pozorovat např. u šampónu).



Obr.9.14a. Struktura smektických tekutých krystalů.

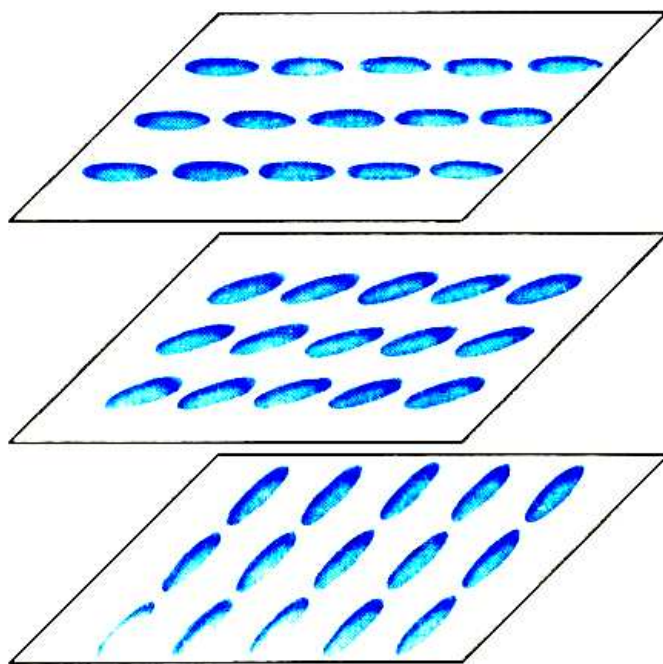


Obr.9.14.b. Příklad orientace smektických tekutých krystalů.



Obr.9.14c. Příklad orientace smektických tekutých krystalů.

c) Cholesterické tekuté krystaly: Z Obr.9.15. plyne, že cholesterické tekuté krystaly jsou uspořádány v jednotlivých rovinách tak, že v každé z nich jsou podélné osy molekul rovnoběžné a v sousedních rovinách jsou vždy trochu pootočené. Cholesterické tekuté krystaly jsou opticky aktivní i tenká vrstvička těchto krystalů značně stáčí polarizační rovinu.



Obr.9.15. Cholesterické tekuté krystaly.

- d) Diskotické tekuté krystaly: Struktura těchto krystalů připomíná hromádku mincí (molekuly jsou ploché, mají tvar disků).

9.4.2. Vlastnosti a využití tekutých krystalů.

Významnou vlastností tekutých krystalů je skutečnost, že jsou velmi citlivé na změnu fyzikálních polí (kromě gravitačního), na změnu teploty, chemické látky apod. Tato citlivost se projevuje ve změně struktury a lze ji indikovat opticky (již zmíněným stáčením polarizační roviny, průhledností, barvou apod.). Například citlivosti na teplotu se využívá v lékařství (měření malých změn teploty kůže). Citlivosti na změnu elektrického pole se využívá při konstrukci displejů a obrazovek s tekutými krystaly. Citlivosti na chemické látky se využívá při konstrukci přístrojů, umožňujících měřit přítomnost malého množství různých látek (např. kokainu a jiných drog).

Živé organismy jsou ve své postatě tekutými krystaly (rostlinné tkáně, kosti, svaly) a důvodem toho, že život na Zemi vznikl na bázi tekutých krystalů je právě jejich citlivost na změny vnějších podmínek (která je hybnou silou evolučního vývoje).

? 9.5. Kontrolní otázky

9.5.1. Objasněte fyzikální podstatu vzniku povrchového napětí kapalin.

- 9.5.2. Uved'te alespoň dva případy využití povrchového napětí v domácnosti.
- 9.5.2. Uved'te alespoň dva příklady využití povrchového napětí v průmyslu.
- 9.5.3. Které přírodní jevy lze vysvětlit pomocí povrchového napětí?
- 9.5.4. Objasněte princip alespoň jedné metody měření povrchového napětí kapalin.
- 9.5.5. Existuje analogie povrchového napětí i u pevných látek?
- 9.5.6. Zmizí síla povrchového napětí při ztuhnutí kapaliny?
- 9.5.7. Charakterizujte pojem „tekuté krystaly“.
- 9.5.8. Jak dělíme tekuté krystaly?
- 9.5.9. Uved'te a objasněte několik příkladů využití tekutých krystalů v praxi.
- 9.5.10. Objasněte, proč vznikl život na Zemi na bázi tekutých krystalů.