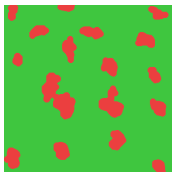


## Disperzní systémy

1/30  
AB24

jsou složené ze dvou (i více) fází (a také roztoky polymerů).  
Zpravidla **dispergovaná fáze** ve **spojité fázi**  
Obvykle s/l, l/l, ...



Rozdělení podle velikosti částic:

- hrubě disperzní (heterogenní), > 1 μm
- koloidní 1 μm–1 nm (nepravé roztoky)
  - heterogenní (micely, sraženiny, ...) , nanočástice
  - homogenní (roztoky makromolekul)
- analytické (homogenní) (pravé roztoky)

Příklady: roztoky polymerů, asfalt, škrob, čerstvá sraženina, mléko, ...

## Vlastnosti disperzí

2/30  
AB24

- Vzhled: hrubé – mléčné zakalené až neprůhledné (turbidita)  
velikost  $\gg \lambda$ : bílá/šedá (pro nebarevné částice)  
velikost  $\approx \lambda$ : Tyndallův jev, víc se rozptyluje modrá  
velikost  $\ll \lambda$ : Rayleighův rozptyl světla (modrá obloha, červánky)  
pozn.: pružný (elastický) rozptyl, energie fotonu se nemění
- Koligativní vlastnosti – měřitelné jen u jemných disperzí
- Brownův pohyb; difuzivita klesá s rostoucí hrubostí ( $D = k_B T / 6\pi\eta R$ )
- Viskozita – větší než u spojité fáze, často ne-Newtonovské chování
  - deformuje se/teče po překonání meze (plastický materiál)
  - při zvětšování (smykového) napětí se viskozita:
    - snižuje (pseudoplastický materiál) (*shear-thinning*)
    - zvyšuje (dilatantní materiál) (*shear-thickening*): voda + škrob →
- Hustota – mezi oběma fázemi
- Povrchové napětí – často klesá

$\lambda =$  vlnová délka světla



\*poněkud odlišná je dilatance granulárního materiálu = změna objemu po aplikaci napětí, např. vlhký písek na pláži vypadá sušší po slápnutí

## Disperzní systémy – klasifikace

3/30  
AB24

	dispergovaná látka		
	(s)	(l)	(g)
prostředí	(s)	tuhý sol tuhá směs	tuhá emulze tuhá pěna
	(l)	(lyo)sol suspenze	emulze pěna
(g)	aerosol kouř, prach	aerosol mlha	-

koloidy (< 1 μm)  
hrubě disperze (> 1 μm)

Tvar částic:

- globulární (koule), izometrické částice ( $r_x \approx r_y \approx r_z$ )
- laminární (placky), anizometrické částice ( $r_x \approx r_y \gg r_z$ )
- fibrilární (vlákna), anizometrické částice ( $r_x \gg r_y \approx r_z$ )

## Disperzní systémy – klasifikace

4/30  
AB24

Interakce:

- lyofilní disperze (částice smáčí disperzní prostředí)  
ve vodě: hydrofilní
- lyofobní disperze (částice nesmáčí disperzní prostředí)  
ve vodě: hydrofobní
- volné – částice daleko od sebe, neinteragují
- vázané – částice interagují („slepí se“) (gel)

## Příprava disperzí

5/30  
AB24

- polymerace
- přesycení roztoku (např. ouzo), podchlazení (metastabilní stav), příp. spinodální dekompozice (nestabilní)
- vznik micel přesycením roztoku surfaktantu nad kritickou micelární koncentrací (CMC)
- mechanicky z větších částic (mletí, ultrazvuk)
- elektricky (oblouk, katodické rozprašování)
- srážecí aj. reakce – produkt je nerozpustný (např. AgBr při přípravě fotografických „emulzí“), často následováno peptizací.

Mikrokrystalky sraženiny bývají slepeny, protože v koncentrovaném roztoku je elektrická dvojvrstva příliš tenká a nestabilizuje koloid (viz teorie DLVO), po vymytí iontů může dojít k oddělení krystalků – peptizací.

Agregace slabými silami:

volně disperzní částice  $\xrightarrow[\text{peptizace}]{\text{flokulace}}$  slabě vázané agregáty

## Rozdělovací funkce

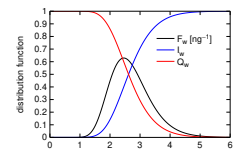
show/fraktaly.sh 6/30  
AB24

**Hmotnostní diferenciální rozdělovací funkce**  $F_w(m)$ :  
podíl (pravděpodobnost = počet/celkový počet)  
částic s hmotností v intervalu ( $m, m + dm$ ) je  $F_w(m)dm$ .

$$\text{normalizace: } \int_0^{\infty} F_w(m)dm = 1$$

**Integrální rozdělovací funkce:** podíl částic s hmotností <  $m$ :

$$I_w(m) = \int_0^m F_w(m')dm', \quad Q_w(m) = \int_m^{\infty} F_w(m')dm' = 1 - I_w(m) \text{ doplňková}$$



Obdobně rozdělovací funkce velikosti částic ...

- Monodisperzní systém – částice stejné velikosti (špičaté rozdělení); někdy i krystalizují (virus tabákové mozaiky – 2D)  
Koule: fcc 74%, náhodné těsné uspořádání (*random close packing*) 64%

- Polydisperzní systém: např. asfaltová směs na silnici (příklad náhodného fraktálu),  
*zkus odhadnout podíl minerálního plniva!*

Frakce = skupiny částic (přibližně) stejné velikosti (získáme filtrací)

## Sedimentace

7/30  
AB24

**Sedimentace** (usazování) je pohyb a ukládání částic v tekutině ve směru působící vnější síly  $\vec{F} = -\text{grad}U$ , kde  $U$  je potenciál síly.

**Druhy sil:** tíhová (gravitační), odstředivá (centrifugální), elektrostatická, obecněji elektromagnetická

**Tíhová síla** (zrychlení =  $-g$ ) a její potenciál:

$$F = -\Delta mg \Rightarrow U(h) = -\int_0^h F dh' = \int_0^h \Delta mg dh' = \Delta mg h$$

**Síla v odstředivce (centrifuze)** a její potenciál:

$$F = \Delta ma = \Delta m R \omega^2 \Rightarrow U(R) = -\int_0^R F dR' = -\int_0^R \Delta m R' \omega^2 dR' = -\frac{1}{2} \Delta m (R \omega)^2$$

$\omega = da/dt = 2\pi v = 2\pi/t_0 =$  úhlová (kruhová) rychlost (frekvence)

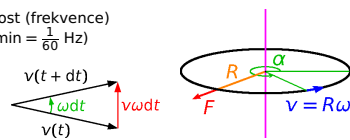
$v = 1/t_0 =$  frekvence (v Hz nebo RPM, 1 RPM = 1/min =  $\frac{1}{60}$  Hz)

$t_0 =$  perioda jedné otočky

$R =$  poloměr otáčení

$v = R\omega =$  rychlost

$$a = \text{zrychlení: } a = \frac{|\vec{v}(t+dt) - \vec{v}(t)|}{dt} = v\omega^2 = R\omega^2$$



Asfaltová směs:  
95% minerálního plniva,  
5% živice;  
u litého 93% a 7%

$\Delta m = m - m_{\text{vytl}}$ , kde  $m_{\text{vytl}}$  je hmotnost vytlačeného rozpouštědla podle Archimédova zákona

## Rychlost sedimentace

8/30  
AB24

Hustota částic =  $\rho_1$   
Hustota disperzního prostředí =  $\rho$   
Viskozita disperzního prostředí =  $\eta$   
Objem částice =  $V_1$   
Koefficient tření =  $f$   
Rychlost sedimentace =  $v$



„Sedimentační koeficient“  $s = v/g$  má rozměr času, někdy se vyjadřuje v jednotce svedberg, 1 S nebo Sv =  $10^{-13}$  s – podle vynálezce ultracentrifugy a nositele Nobelovy ceny Theodora Svedberga (1884–1971).

**V poli tíže:**

Síla (vč. vztaku podle Archimédova zákona) (formálně s opačným znaménkem)

$$F = \Delta mg = V_1(\rho_1 - \rho)g, \quad v = \frac{F}{f} = \frac{V_1(\rho_1 - \rho)g}{f}$$

Kulové částice:  $V_1 = \frac{4}{3}\pi r^3$ ,  $f = 6\pi\eta r$  (Stokes)

$$v = \frac{2r^2}{9\eta}(\rho_1 - \rho)g$$

**V centrifuze:** místo  $g$  použijeme  $R\omega^2$   
(typicky 1000g – 10 000g, ultracentrifuga až  $10^6g$ )

Malé částice sedimentují pomalu.

Molekuly taky sedimentují (velmi pomalu): obohacování uranu centrifugací UF<sub>6</sub>(g).



## Disperzní systémy – klasifikace

9/30  
AB24

## Sedimentační rovnováha

### Z Boltzmannovy pravděpodobnosti

Ideální roztok: koncentrace  $\propto$  Boltzmannova pravděpodobnost  $\Rightarrow$

$$c(h) = c_0 \exp\left(\frac{-U(h)}{k_B T}\right)$$

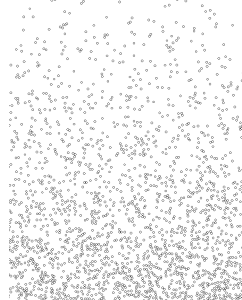
V tíhovém poli je to barometrická rovnice:

$$c(h) = c(0) \exp\left(\frac{-\Delta m g h}{k_B T}\right)$$

V centrifuze o úhlové frekvenci  $\omega = 2\pi v$  ( $v =$  frekvence):

$$c(R) = c(0) \exp\left(\frac{\frac{1}{2}\Delta m (R\omega)^2}{k_B T}\right)$$

kde  $\Delta m = V_1(\rho_1 - \rho)$



## Příprava disperzí

10/30  
AB24

## Sedimentační rovnováha

### Z rychlostí sedimentace a difuze

$$v_{\text{sedimentace}} = \frac{F}{f} = -\frac{\nabla U}{f}$$

$$v_{\text{difuze}} = \frac{J}{c} = -\frac{D \nabla c}{c} = -D \nabla \ln c = -\frac{k_B T}{f} \nabla \ln c$$

$$v_{\text{sedimentace}} + v_{\text{difuze}} = 0 = -\frac{\nabla U}{f} - \frac{k_B T}{f} \nabla \ln c \Rightarrow c = c_0 \exp\left(\frac{-U}{k_B T}\right)$$

Necht'  $\mu$  je na 1 částici (ne mol). Aproximace nekonečného zředění:

$$\mu = \mu_0 + k_B T \ln(c/c^{\text{st}}) \Rightarrow v_{\text{difuze}} = \frac{1}{f} \nabla \mu$$

Pak

$$v_{\text{sedimentace}} + v_{\text{difuze}} = 0 = -\frac{\nabla U}{f} + \frac{1}{f} \nabla \mu$$

je ekvivalentní vztahu

$$U + \mu = \text{const}$$

Před časem jsme naopak předpokládali, že  $U + \mu = \text{const}$ , a z toho odvodili Einsteinovu–Smoluchovského rovnici  $D = k_B T/f$ .

**Příklad** 11/30 AB24

Rovnovážná koncentrace monodisperzních olejových kapiček (stabilizovaných aniontovým surfaktantem) v květině 10 cm vysoké je dvojnásobná u povrchu než u dna. Vypočítejte průměr kapiček. Teplota je 25 °C, hustota vody je 0.997 g cm<sup>-3</sup>, hustota oleje je 0.920 g cm<sup>-3</sup>.

$$c(h) = c(0) \exp\left(\frac{-\Delta m gh}{k_B T}\right)$$

$$\Rightarrow \Delta m = -\ln \frac{c(h)}{c(0)} \times \frac{k_B T}{gh} = -\ln 2 \times \frac{1.381 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1} \times 298 \text{ K}}{9.81 \text{ m s}^{-2} \times 0.1 \text{ m}} = -2.91 \times 10^{-21} \text{ kg}$$

$$\Delta m = \frac{4\pi}{3} r^3 \Delta \rho = \frac{\pi}{6} d^3 \Delta \rho$$

$$\Delta \rho = 920 \text{ kg m}^{-3} - 997 \text{ kg m}^{-3} = -77 \text{ kg m}^{-3}$$

$$\Rightarrow d = \sqrt[3]{\frac{6\Delta m}{\pi \Delta \rho}} = \sqrt[3]{\frac{6 \times (-2.91 \times 10^{-21} \text{ kg})}{\pi \times (-77 \text{ kg m}^{-3})}} = 4.16 \times 10^{-8} \text{ m} \approx \underline{42 \text{ nm}}$$

**Příklad** xcat centrifuge.eu 12/30 AB24

Globulární protein má hmotnost 120 kDa. Jaká je rychlost sedimentace v centrifuze o rotující rychlosti 24 000 RPM v bodě R = 5 cm od osy rotace? Hustota proteinu je 1.35 g cm<sup>-3</sup>, viskozita vody je 0.891 mPa s, hustota vody 0.997 g cm<sup>-3</sup>. Zabrání difuze sedimentaci za teploty 25 °C?

$$\omega = 2\pi \frac{24000}{\text{min}} = 2\pi \frac{24000}{60 \text{ s}} = 2\pi \cdot 400 \text{ s}^{-1} = 2513 \text{ s}^{-1}$$

$$v = \frac{2r^2}{9\eta} (\rho_{\text{protein}} - \rho_{\text{voda}}) \omega^2 = \frac{2 \cdot (3.278 \times 10^{-9} \text{ m})^2}{9 \cdot 0.891 \times 10^{-3} \text{ Pa s}} \cdot 353 \text{ kg m}^{-3} \cdot 315827 \text{ m s}^{-2} = 2.99 \times 10^{-7} \text{ m s}^{-1} = \underline{1.08 \text{ mm h}^{-1}}$$

$$V_1 = \frac{M}{N_A \rho_{\text{protein}}} = \frac{120 \text{ kg mol}^{-1}}{6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} \cdot 1.350 \text{ kg m}^{-3}} = 1.476 \times 10^{-25} \text{ m}^3$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{3V_1}{4\pi}} = 3.278 \times 10^{-9} \text{ m}$$

$$\Delta \rho = 1350 \text{ kg m}^{-3} - 997 \text{ kg m}^{-3} = 353 \text{ kg m}^{-3}$$

$$h = \frac{k_B T}{\Delta \rho V_1 \omega^2} = \frac{1.381 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1} \cdot 298 \text{ K}}{353 \text{ kg m}^{-3} \cdot 1.476 \times 10^{-25} \text{ m}^3 \cdot 315827 \text{ m s}^{-2}} = 0.25 \text{ mm} \ll R \Rightarrow \underline{\text{ lze očekávat dobrou sedimentaci}}$$

**Stabilita disperzí** 13/30 AB24

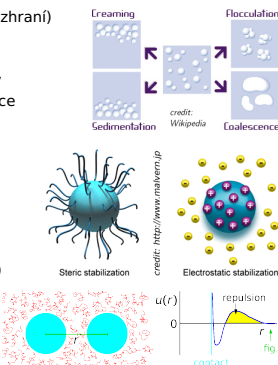
Disperze jsou termodynamicky metastabilní (velká plocha rozhraní)

**Zánik disperze:**

- flokulace (vratně), koagulace (nevratně) } přitažlivé síly
- koalescence (splynutí kapek) } částice-částice
- sedimentace (usazování), *creaming* (vzplývání)
- Ostwaldovo zrání (podle Kelvinovy rovnice)

**Stabilizace:**

- ve vzduchu: elektrickým nábojem } odpudivé síly
- v roztoku: elektrickou dvojrivrstvou } částice-částice
- sterická (adsorpce makromolekul v dobrém rozpouštědle)
- *depletion* (počestně deplece) – makromolekuly mezi
- elektrosterická
- kinetická (ve viskózním prostředí)



**Roztoky polymerů II** 16/30 AB24



**Dobré rozpouštědlo** – lyofilní polymer, články se (efektivně) odpuzují, řetězec se poněkud rozplete = náhodná procházka bez protínání.  
Velikost klubka  $\propto N^{1/2}$

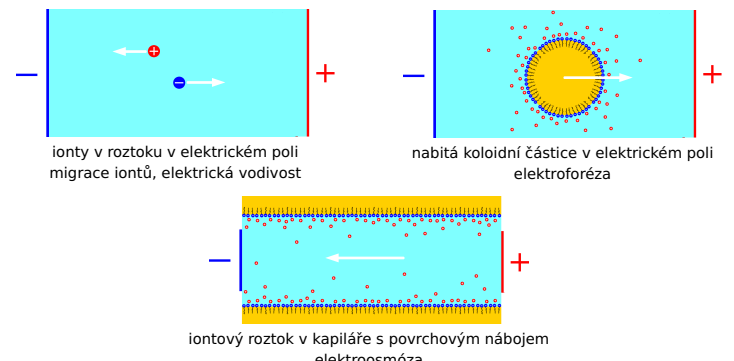
**Entropická (sterická) repulze** – klubka v dobrém rozpouštědle se odpuzují z důvodu vyloučeného objemu

**Theta-rozpouštědlo** – přitažlivé a odpudivé interakce se vyrovnají (články řetězce interagují s rozpouštědlem stejně jako navzájem)  $\approx$  ideální řetězec.  
Velikost klubka  $\propto N^{1/2}$

**Špatné rozpouštědlo** – lyofobní polymer, články se (efektivně) přitahují, řetězec se sbalí do malého objemu (s určitým podílem rozpouštědla mezi).  
Velikost klubka  $\propto N^{1/3}$ .

**Nerozpouštědlo** (nonsolvent) – žádné rozpouštědlo mezi řetězci.  
Velikost klubka  $\propto N^{1/3}$ .

**Elektrokinetické jevy** 17/30 AB24



**Elektrokinetické jevy** start show/hgheart.mov 18/30 AB24

- elektroosmóza – pohyb iontového roztoku pórním materiálem pod vlivem elektrického napětí projev: elektroosmotický tok / elektroosmotický tlak (elevace)
- opačně: elektrický proud a potenciál proudění – vznik proudu/napětí při proudění (*streaming potential/current*)
- elektroforéza – pohyb koloidu v iontovém roztoku
- opačně: sedimentační potenciál či proud

Nesměšujte s elektrokapilárním jevem (změna povrchového napětí např. rtuti při změně potenciálu) video, obrázek: jchemed.chem.wisc.edu

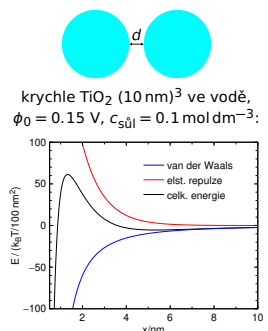
**DLVO teorie** 14/30 AB24

Děryagin (Дерягин, Derjaguin, Deryagin) + Landau (Ландау), Verwey (Verweij) + Overbeek.

- disperzní síly jsou přitažlivé – atom-atom  $\propto 1/r^6$
- po vyintegrování přes všechny atomy  $\propto 1/d$  (pro malé  $d$ )
- platí i pro částice v prostředí (po odečtení prostředí)
- stejné náboje se odpuzují – ve vzduchu jako  $\propto 1/r$
- v roztoku s ionty jako  $e^{-d/\lambda}$

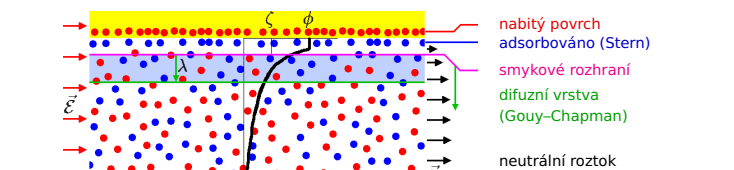
Stabilita je daná poměrem obou sil, které mají různý průběh:

- disperzní síly koloid destabilizují
- povrchový náboj koloid stabilizuje
- bariéra  $> 25k_B T \Rightarrow$  stabilita ( $e^{-E/k_B T} = e^{-25} \approx 10^{-11}$ )
- více solí v roztoku koloid destabilizuje (zkrátí se  $\lambda$ )
- pro typický čas nestability se uvažuje Brownův pohyb a typická vzdálenost mezi částicemi



**Elektroosmóza** 19/30 AB24

**smykové rozhraní** (pohybové rozhraní, *shear plane, slipping plane*) = plocha dělící pohybující se kapalinu od nepohyblivé u povrchu



Povrchový náboj =  $\sigma$ , intenzita el. pole =  $\mathcal{E}$  (rovnoběžně), viskozita =  $\eta$   
Tečná el. síla na jednotku plochy:  $\sigma \mathcal{E} = \eta \frac{v}{\lambda} \Rightarrow$  rychlost  $v = \frac{\sigma \mathcal{E} \lambda}{\eta}$   
Kapacita dvojrivrsty (na jednotku plochy)  $C/A = \epsilon/\lambda$  potenciál na smykovém rozhraní =  $\zeta =$  **zeta-potenciál** = elektrokinetický potenciál  
 $\sigma = \frac{C}{A} \zeta = \frac{\epsilon}{\lambda} \zeta \Rightarrow v = \frac{\epsilon \mathcal{E}}{\eta} \zeta$

**Roztoky polymerů I** 15/30 AB24

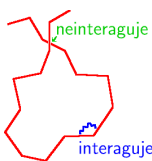
Model **ideálního řetězce**:

- články řetězce spojeny ohebně (vazby, úhly, torze)
- články dostatečně daleko od sebe již neinteragují (rozumí se efektivní interakce zprostředkovaná rozpouštědlem)
- = náhodná procházka (s protínáním) = trajektorie Brownova pohybu

Brownův pohyb:  $\langle r^2 \rangle = 6D\tau$ , čas  $\tau$  odpovídá počtu článků  $N \Rightarrow$  velikost klubka  $\propto N^{1/2}$

**Lepší modely:**

- odpudivé síly  $\rightarrow$  vyloučený objem (články se nepřekrývají)
- přitažlivé síly  $\rightarrow$  „záporný vyloučený objem“ (články se na sebe lepí)



**Elektroosmóza** 20/30 AB24

Smoluchowského (též Helmholtzova-Smoluchowského) rovnice:

$$v = \frac{\epsilon \zeta \mathcal{E}}{\eta} \quad (1)$$

Elektrický proud plochou průřezu  $A_0$ :  $I = A_0 \epsilon \kappa = A_0 \frac{U}{\lambda} \kappa$  ( $\kappa$  = konduktivita roztoku)

Objemový průtok:  $\frac{dV}{dt} = v A_0$

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\epsilon \zeta}{\eta} I \quad (2)$$

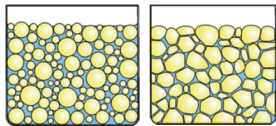
Rov. (1) platí s koeficientem  $\frac{2}{3}$  i pro **elektroforézu** kulovitých částic, jestliže jsou-li částice dost velké a daleko od sebe ( $\gg \lambda$ ). Pro malé částice přechází v iontovou vodivost,  $u \propto 1/\eta$ .

Rov. (1) a (2) se používají k měření  $\zeta$

Stabilita koloidu vyžaduje  $|\zeta|$  aspoň zhruba 40 mV.

**Izoelektrický bod**: taková koncentrace iontů/pH, že  $\zeta = 0$  ( $\approx$  částice není nabitá) – typické pro polyelektrolyty (např. proteiny, které obsahují jak  $-NH_2$ , tak  $-COOH$ ). Nejmenší odpuzování – nejlépe se svinuje.

- Typy:
- O/V (*oil-in-water*), přímá emulze: méně polární (olej) v polárnější kapalině (voda)
  - V/O (*water-in-oil*), obrácená emulze

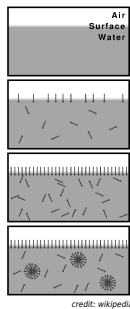


Určení typu – většina vlastností dána disperzním prostředím (el. vodivost, smáčení, rozpouštění barviv)

Koncentrované a vysoce koncentrované emulze nutno stabilizovat **emulgátorem** – povrchově aktivní látkou, např. lecitin (fosfatidylcholine)



- Zánik:**
- flokulace (vznik agregátů – elst.)
  - koalescence (splývání kapek)
  - sedimentace (šlehačka – *creaming*)



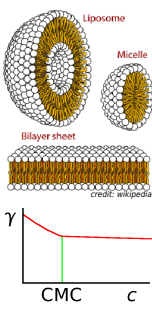
**Micela** = obvykle kulovitý útvar tvořený surfaktantem a stabilizovaný:

- lyofilní interakcí (s rozpouštědlem)
- lyofobní interakcí (vnitřek micely)

**Vznik:** roztok → mikroagregace CMC micela → válcovitě či laminární micely, kapalné krystaly ap.

**Kritická micelární koncentrace (CMC)** = počátek vzniku micel („víc se jich na povrch nevejde“), zlom na křivce  $\gamma$  vs.  $c$  (zlom je trochu zakulacený – CMC není fázový přechod)

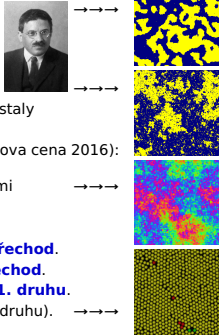
**Obrácená** (inverzní) micela (másló)



**Solubilizace** – schopnost micel absorbovat lyofobní látky

**Detergence** – praní, surfaktanty solubilizují hydrofobní špínu na povrchu

- 1. řádu (*first-order*), též 1. druhu: nespojitá 1. derivace  $G, F$  aj., tj. skok v entalpii, hustotě aj.; příklady: krystalizace, tání, var, sublimace
  - (Ehrenfest)  $n$ -tého řádu: nespojitá  $n$ -tá derivace  $G, F \rightarrow \dots$
  - spojitě (*continuous*), též 2. řádu:
    - divergence 2. derivace: kritický bod kapalina-pára, Curieův bod
    - lambda-přechod He, některé tekuté krystaly perkolace
    - všechny derivace spojitě (Berezinskii-Kosterlitz-Thouless, Nobelova cena 2016):
- např.:  $f(x) = \begin{cases} e^{-1/x} & \text{pro } x > 0 \\ 0 & \text{pro } x \leq 0 \end{cases}$  : XY model, 2D s +/- excitacemi



Zesklennění (*glass transition*) = viskozita  $> 10^{12}$  Pa s, **není fázový přechod**.

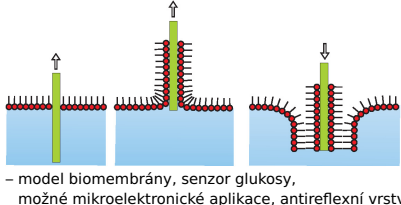
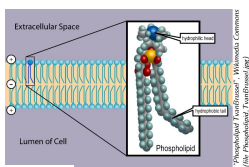
Vznik micel (v kritické micelární koncentraci, CMC) **není fázový přechod**.

Krystalizace micel (do laminární/fibrilární fáze) **je fázový přechod 1. druhu**.

**S jistotou nevíme**, jakého typu je krystalizace tuhých disků (asi 1. druhu).

Dvě vrstvy surfaktantu; buněčná membrána = fosfolipidická dvojvrstva („spleená“ hydrofobními konci), obv. 2D kapalina **vesikl** (angl. *vesicle*, č-s i vesikula, vezikl, vezikula); z dvojvrstvy, obsahuje kapalinu uvnitř lysosom (lyzozom), angl. *lysosome*; vakuola, transportní vesikl... umělý liposom (lipozom): cílený transport léků

**filmy Langmuira a Blodgettové:** více vrstvé, obv. 2D krystal



– model biomembrány, senzor glukosy, možné mikroelektronické aplikace, antireflexní vrstvy

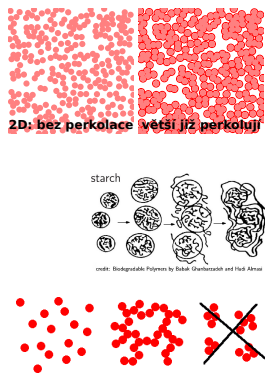
Souvislá (perkolovaná) 3D síť dispergované složky (i prostředí), v klidu netečou

Obecně **lyogel**, ve vodě **hydrogel**, vyschlý **xerogel** (malý podíl vzduchu)

reverzibilní (vratný) gel  $\xrightarrow{\text{sušení}}$  xerogel  $\xrightarrow{\text{bobtnání}}$  gel  
někdy se reverzibilita vztahuje k procesu sol  $\rightleftharpoons$  gel

- Vznik gelů:**
- želatinizací (gelatinizací) roztoků makromolekul:
    - zesílení chemickou vazbou
    - asociace (vdW, vodíkové vazby)
    - krystalické styčné body
    - geometrické síťování (propletení, *entanglement*)
  - destabilizací (obv. lyofobních) solů se zesílením (ne koagulací)

želatinizace pokračuje stárnutím gelu  
synereze = vypuzování kapaliny (jogurt)

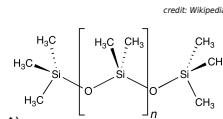


**Mechanické vlastnosti gelů:**

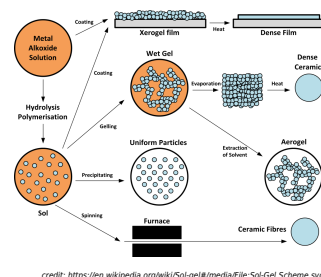
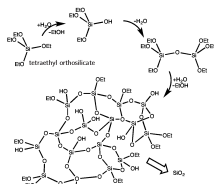
- elasticita (málo kovalentních spojů)
- tixotropie (reverzibilní slabé spoje)

**Hydrogely:**

- kontaktní čočky (polyakrylamidy, „silikon“ – propustný pro kyslík  $\uparrow$ )
- pleny (polyakrylát sodný,  $[-CH_2-CH(COONa)-]_n$ ) nabitě řetězce se odpuzováním napřimují a tvoří dutiny
- biomateriál – implantáty (silikon), lešení pro růst tkání



**Sol-gel proces:** syntéza koloidních částic v kapalné fázi, želatinizace a následná výroba různých pevných materiálů (keramika, vrstvy, vlákna aj.)



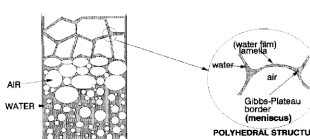
**Aerogel** = xerogel s velmi malou hustotou (supercritické sušení), silikagel až  $1.9 \text{ g dm}^{-3}$ ; alumina; aerografít  $0.18 \text{ g dm}^{-3}$  – pevnost v tahu 1 kPa

**Použití:** izolace, adsorbent, Čerenkovův detektor

**oxid grafenu+polyvinylalkohol**  $2.1 \text{ kg m}^{-3}$ , freeze casting/drying, zvuk. izolace (PUR  $32 \text{ kg m}^{-3}$ )

Plyn v kapalině

- vlnké pěny (kulovité bubliny)
- suché pěny (mnohostěny, 12–14)
- Plateauova pravidla (zákony)
- Gibbsovy-Plateauovy kanálky



Stabilizace povrchově aktivními látkami (pěnotvorná činidla): detergenty, proteiny, prášky

Zánik: vytékání kapaliny, vypařování, Ostwaldovo zrání, prtržení filmů

Suché pěny: např. pěnový polystyren

credits: <http://galerie.albumfotek.cz/krvavydedek/>, Kim&Kim

Kapalný podíl: mhy (10 nm – 10  $\mu\text{m}$ )

Pevný podíl: dým (do 10  $\mu\text{m}$ ), prach (nad 10  $\mu\text{m}$ )

**Zánik:**

- sedimentace (stabilizace: sluneční záření ohřívá částice)
- koagulace (stabilizace: náboj)

**Náboj částic:** rozprašování (tryska, moře), ionizace krátkovlnným zářením, rozměňování iontových krystalů

Aerosol hořlavých částic může vybuchnout: mouka, uhlenný prach, termobarické (FAE, *fuel air explosive*) zbraně.

**Typy šíření plamene:**

- difúzní plamen – složky se mísí difúzí (svíčka)
- deflagrace – složky jsou smíšený, šíření tepelnou vodivostí (plynový kotlík)
- detonace – složky jsou smíšený, zapáleno rázovou vlnou



credit: Dust explosion by Hans-Peter Scholz – Own work, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=23589316>

**troposféra**

- mraky
- kap(i)čky obv. obsahují nukleární jádra (často soli jako  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ) polarizovatelné anionty se shromažďují na povrchu kapiček
- pevné aerosoly
  - největší jsou částice  $\approx 300 \text{ nm}$ :
    - menší částice rychle difundují a adsorbují se
    - větší sedimentují
  - menší než cca 10  $\mu\text{m}$  (PM10, míní se aerodynamický průměr) se nezachytí v nose, dostávají se až do plicních sklípků a (menší) se mohou dostat až do krve
- smog (< *smoke and fog*):
  - Londýnského typu (kouř, mlha,  $\text{SO}_2$ ), redukční; vog = *volcanic smog*
  - fotochemický smog (L.A.):  $\text{NO}_2 + \text{VOC} + h\nu \rightarrow \text{O}_3 + \dots$ , oxidační

PM = Particulate Matter

VOC = Volatile Organic Compound

**stratosféra**

- saze (vznášejí se vlivem ohřevu slunečním zářením)
- sopečný popel,  $\text{SO}_2 \rightarrow \text{SO}_4^{2-}$  ( $\rightarrow$  ochlazení)
- nukleární zima (saze), vulkanická zima (popel,  $\text{SO}_2$ )