

jsou složené ze dvou (i více) fází (a také roztoky polymerů).

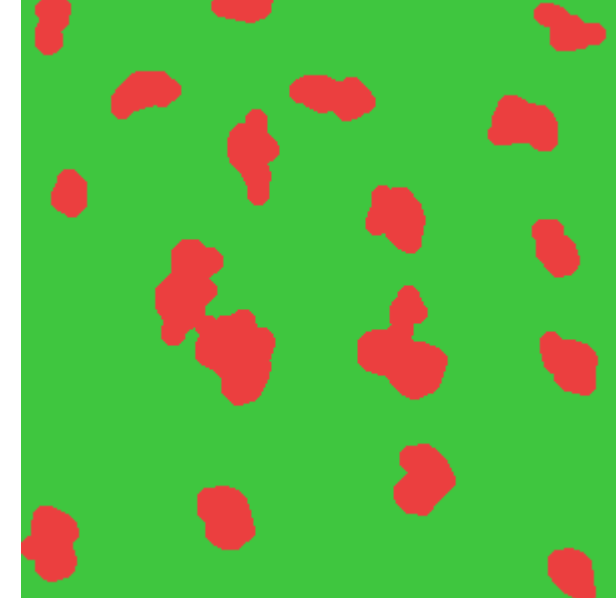
Zpravidla **dispergovaná fáze** ve **spojité fázi**

Obvykle s/l, l/l, ...

Rozdělení podle velikosti částic:

- hrubě disperzní (heterogenní), $> 1 \mu\text{m}$
- koloidní $1 \mu\text{m} - 1 \text{nm}$ (nepravé roztoky)
 - heterogenní (micely, sraženiny, ...), nanočástice
 - homogenní (roztoky makromolekul)
- analytické (homogenní) (pravé roztoky)

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



- Vzhled: hrubé – mléčně 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 spojitě fáze,
často neNewtonovské chování
– plasticita = teče po překonání meze
– dilatance = objem a také viskozita
(*shear thickening*) roste pro
větší napětí (voda + škrob)
- Hustota – mezi oběma fázemi
- Povrchové napětí – často klesá

λ = vlnová délka světla



credit: <http://www.physics.emory.edu/~weeks/squishy/>

		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 ($< 1 \mu\text{m}$)
hrubé disperze ($> 1 \mu\text{m}$)

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 ($r_x \gg r_y \approx r_z$)

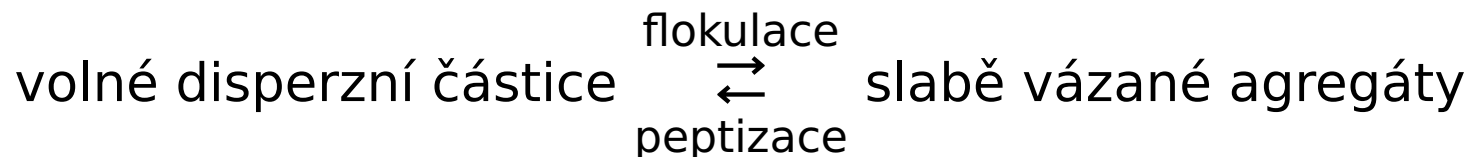
Interakce:

- 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)

- 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 el. dvojvrstva příliš tenká a nestabilizuje koloid (viz teorie DLVO), po vymytí iontů může dojít k oddělení krystalků – peptizaci.

Agregace slabými silami:



Rozdělovací funkce

Hmotnostní diferenciální rozdělovací funkce $F_w(m)$:

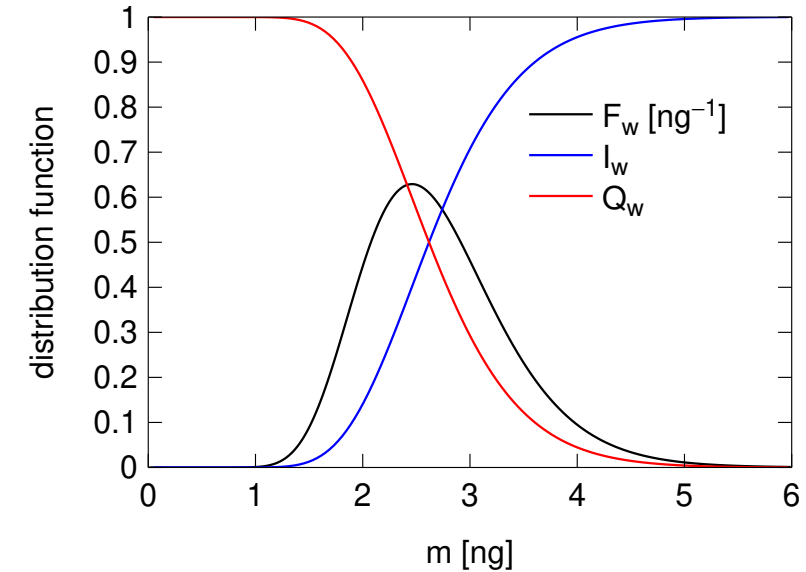
podíl (pravděpodobnost = počet/(celkový počet))

částic s hmotností v intervalu $(m, m + dm)$ je $F_w(m)dm$.

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 (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:

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

Síla v odstředivce (centrifuze) a její potenciál:

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

$\omega = d\alpha/dt = 2\pi\nu = 2\pi/t_0 =$ úhlová (kruhová) frekvence

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

$t_0 =$ perioda jedné otočky

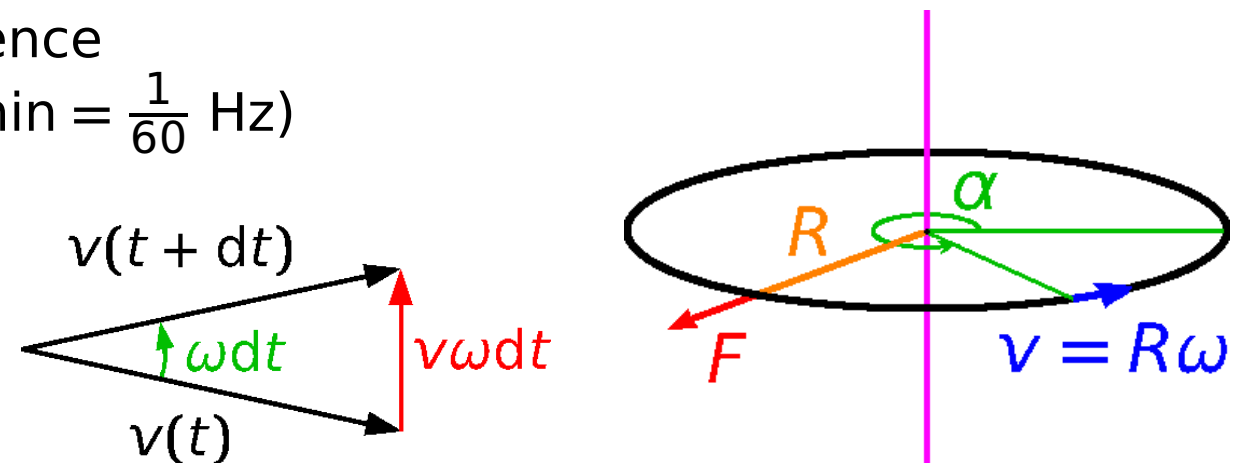
$R =$ poloměr otáčení

$v = R\omega =$ rychlost

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

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

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



Hustota částic = ρ_1

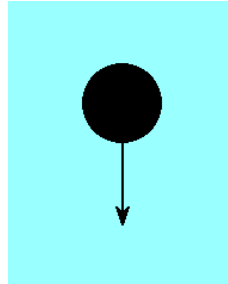
Hustota disperzního prostředí = ρ

Viskozita disperzního prostředí = η

Objem částice = V_1

Koeficient tření = f

Rychlost sedimentace = v



Poměr v/a má rozměr času. Někdy se vyjadřuje v jednotce svedberg (Sv nebo S), $1 \text{ Sv} = 10^{-13} \text{ s}$ – podle vynálezce ultracentrifugy a nositele Nobelovy ceny Theodora Svedberga (1884–1971).

V poli tíže:

Síla (vč. vztlaku podle Archimedova 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 UF₆(g).



Z Boltzmannovy pravděpodobnosti

Ideální roztok: koncentrace \propto Boltzmannova pravděpodobnost \Rightarrow

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

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 $\omega = 2\pi\nu$ (ν = frekvence):

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

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

Z rychlostí sedimentace a difuze

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

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

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

Necht' μ 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–Smoluchowského rovnici $D = k_B T/f$.

Rovnovážná koncentrace monodisperzních olejových kapiček (stabilizovaných aniontovým surfaktantem) v kyvetě 10 cm vysoké je dvojnásobná u povrchu než u dna. Vypočtete průměr kapiček. Teplota je 25 °C, hustota vody je 0.997 g cm^{-3} , hustota oleje je 0.920 g cm^{-3} .

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

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

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

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

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

Příklad

Uvažujme globulární protein o molekulové hmotnosti 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^{-3} , viskozita vody je 0.891 mPa s , hustota vody 0.997 g cm^{-3} . Zabrání difuze sedimentaci za teploty 25 °C ?

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

$$a = \omega^2 R = 315827 \text{ m s}^{-2}$$

$$V_1 = \frac{M}{N_A \rho_{\text{protein}}} = \frac{120 \text{ kg mol}^{-1}}{6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} \times 1350 \text{ kg m}^{-3}} = 1.476 \times 10^{-25} \text{ m}^3$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{3V_1}{4\pi}} = 3.278 \times 10^{-09} \text{ m}$$

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

Příklad – pokračování

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

Tloušťka, ve které klesne koncentrace na 1/e

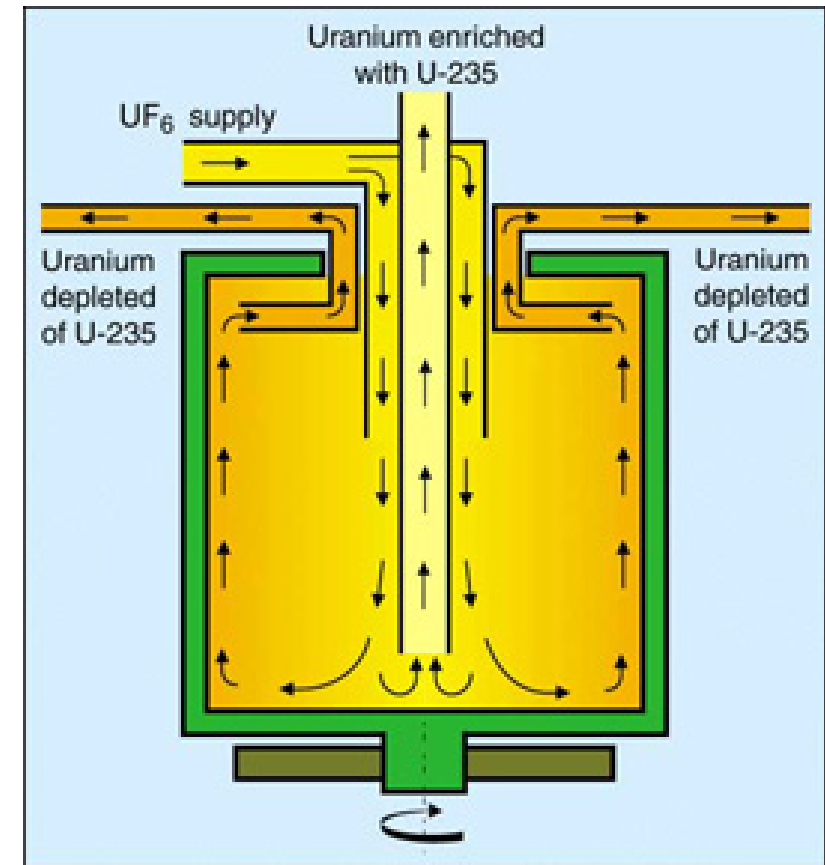
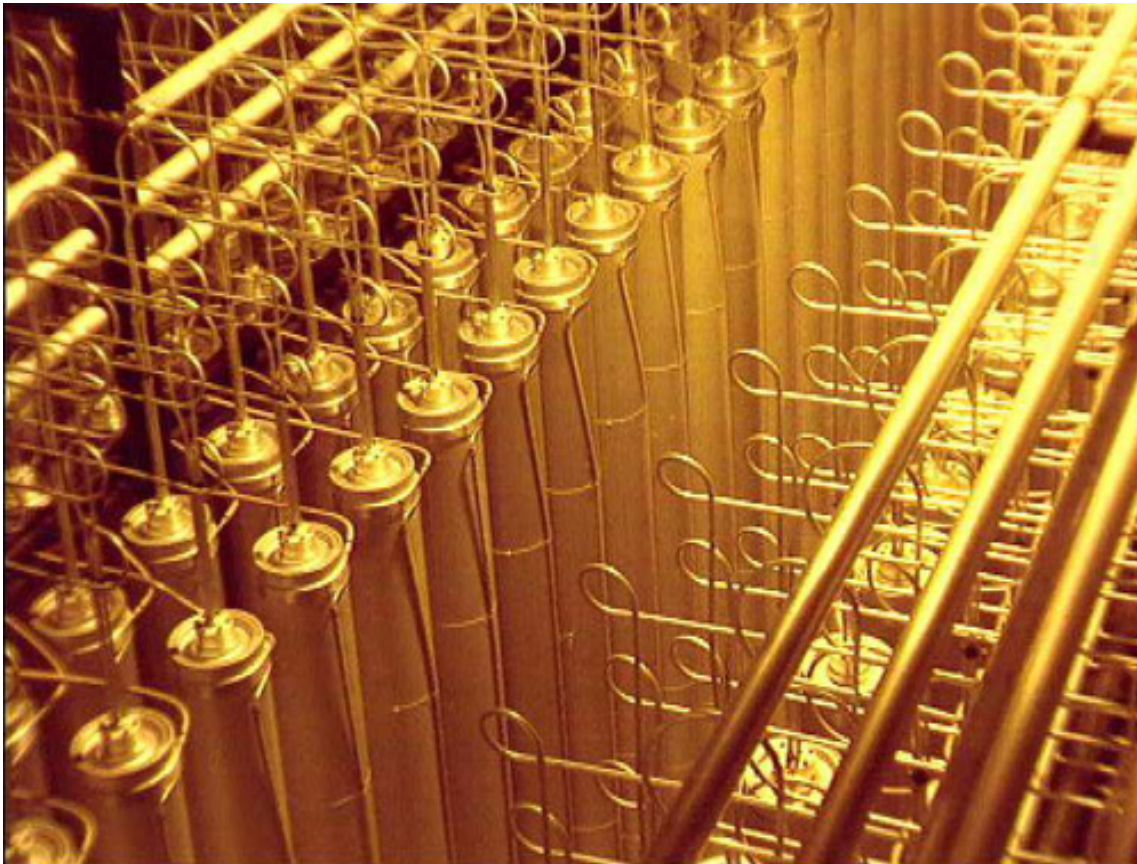
$$\exp\left(\frac{-h\Delta\rho V_1 a}{k_B T}\right) = \exp(-1)$$

$$h = \frac{k_B T}{\Delta\rho V_1 a} = \frac{1.381 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1} \times 298 \text{ K}}{353 \text{ kg m}^{-3} \times 1.476 \times 10^{-25} \text{ m}^3 \times 315827 \text{ m s}^{-2}} = \underline{0.25 \text{ mm}}$$

$h \ll R \Rightarrow$ Ize očekávat dobrou sedimentaci

Příklad. O kolik se maximálně obohatí uran (z ^{238}U na ^{235}U) v ultracentrifuze obsahující plynný UF_6 za teploty $T = 350\text{ K}$? Otáčky jsou $90\,000\text{ min}^{-1}$, na obvodu je nadzvuková rychlost (počítejte 500 m s^{-1}). V přírodním uranu je 0.71% ^{235}U a zbytek je ^{238}U .

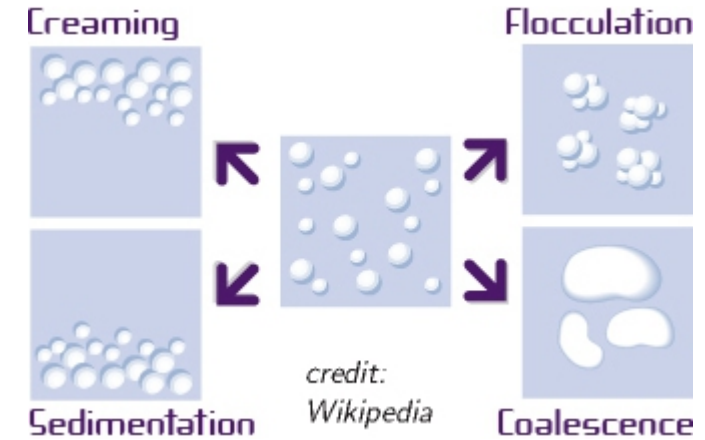
$$R = 5.3\text{ cm}, \omega = 9425\text{ s}^{-1} \Rightarrow 0.13\%$$



Disperze jsou termodynamicky metastabilní (velká plocha rozhraní)

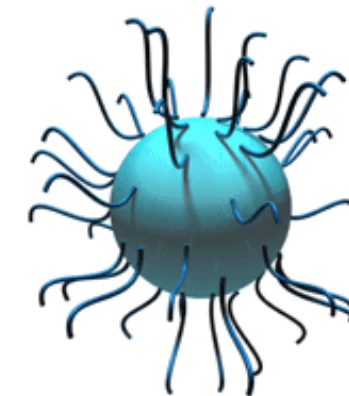
Zánik disperze:

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



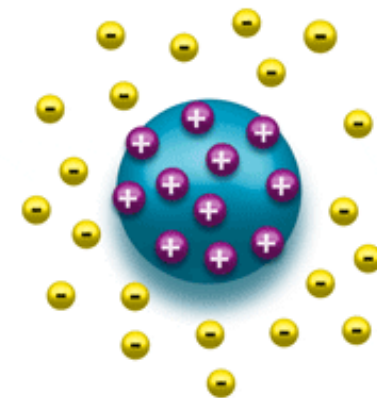
Stabilizace:

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

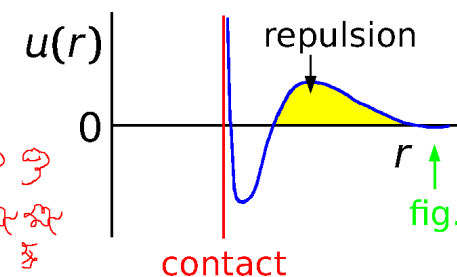
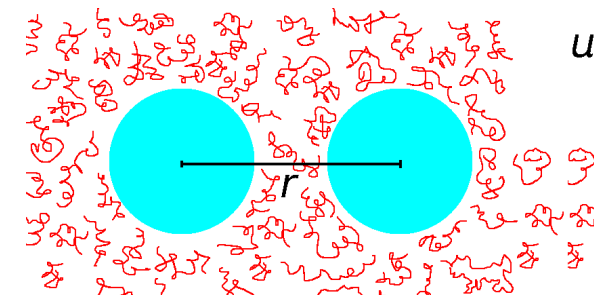


Steric stabilization

credit: <http://www.malvern.jp>

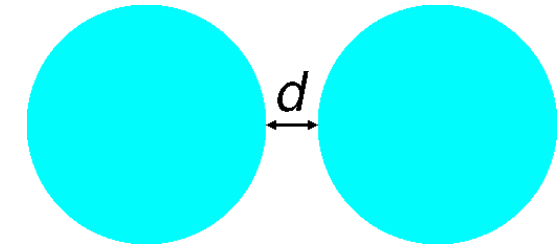


Electrostatic stabilization

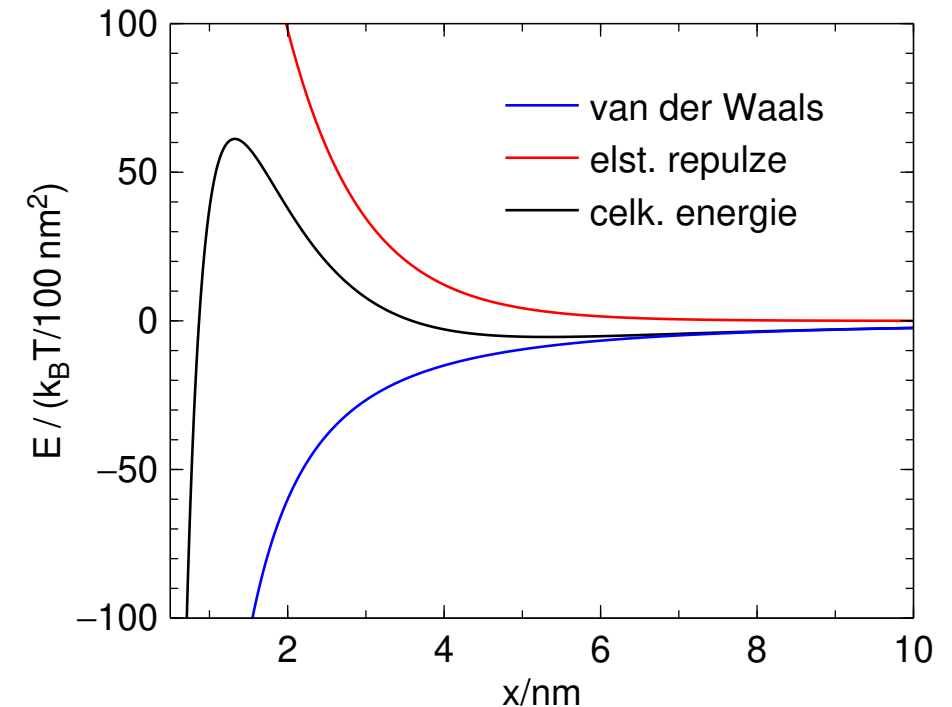


Děrjagin (Дерягин, Derjaguin, Deryagin) + **L**andau (Ландау), **V**erwey (Verweij) + **O**verbeek.

- 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 $\propto e^{-d/\lambda}$



krychle TiO_2 $(10 \text{ nm})^3$ ve vodě,
 $\phi_0 = 0.15 \text{ V}$, $c_{\text{sůl}} = 0.1 \text{ mol dm}^{-3}$:



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 λ)
- pro typický čas nestability se uvažuje Brownův pohyb a typická vzdálenost mezi částicemi

Model **ideálního řetězce**:

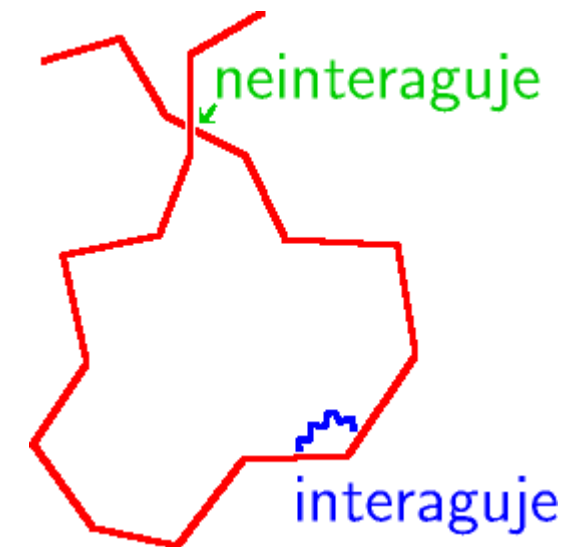
- články řetězce spojeny ohebně (vazby, úhly, torze)
- články dostatečně daleko od sebe již neinteragují (rozumí se efektivní interakce zprostředkovaná rozpouštědlem)
= náhodná procházka (s protínáním) = trajektorie Brownova pohybu

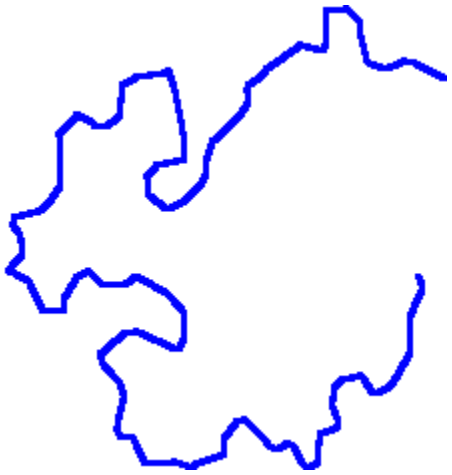
Brownův pohyb: $\langle r^2 \rangle = 6D\tau$, čas τ odpovídá počtu článků N

⇒ velikost klubka $\propto N^{1/2}$

Lepší modely:

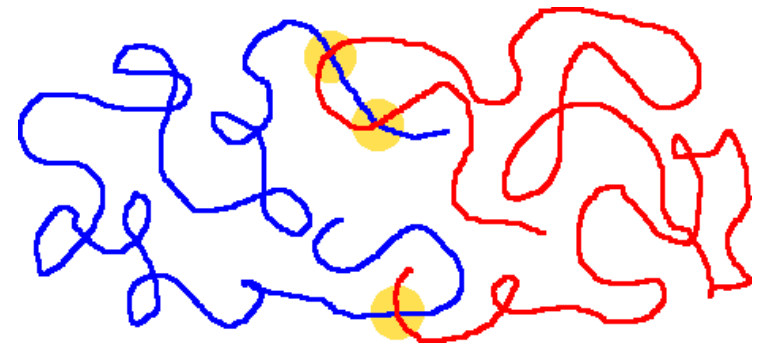
- odpuzivé síly → vyloučený objem (články se nepřekrývají)
- přitažlivé síly → „záporný vyloučený objem“ (články se na sebe lepí)





dobré rozpouštědlo – lyofilní polymer, články se (efektivně) odpuzují, řetězec se poněkud rozplete = náhodná procházka bez protínání – velikost klubka $\propto N^{1/1.7}$

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



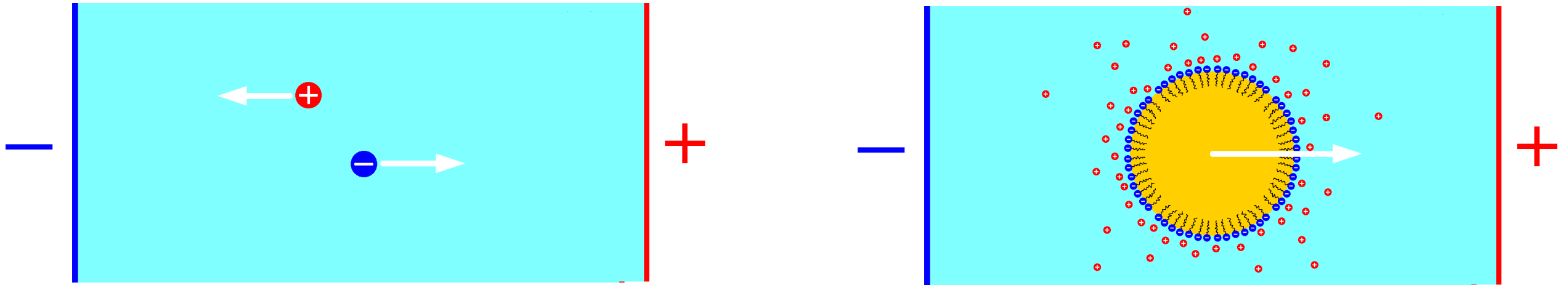
theta-rozpouštědlo – přitažlivé a odpuzivé interakce se vyrovnají (články řetězce interagují s rozpouštědlem stejně jako navzájem) \approx ideální řetězec – velikost klubka $\propto N^{1/2}$



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

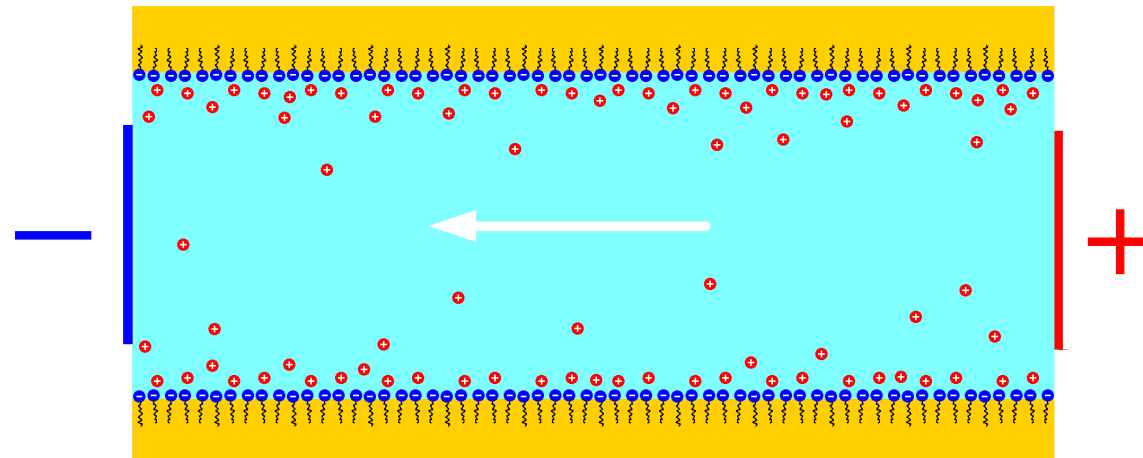


ne-rozpouštědlo – žádné rozpouštědlo mezi řetězci – velikost $\propto N^{1/3}$

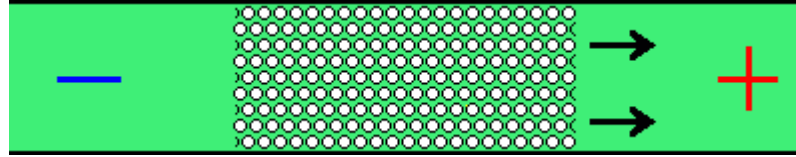


ionty v roztoku v el. poli
migrace iontů, el. vodivost

nabitá koloidní částice v el. poli
elektroforéza

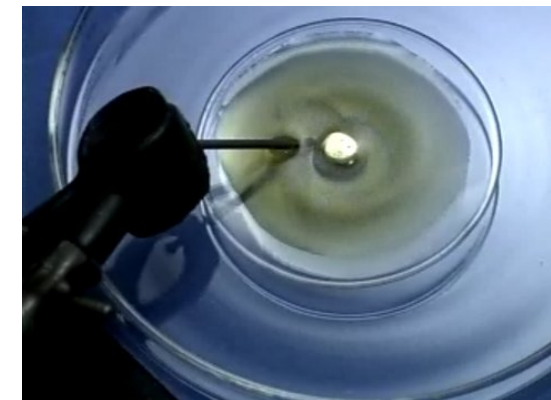


iontový roztok v kapiláře s povrchovým nábojem
elektroosmóza

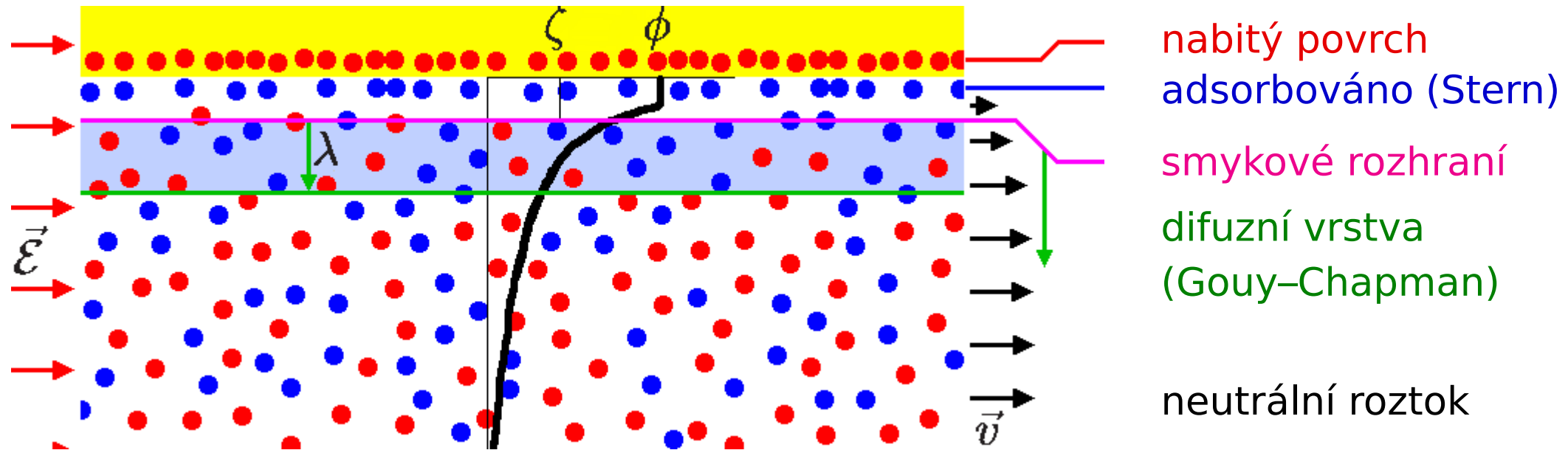


- elektroosmóza – pohyb iontového roztoku pórzním materiálem pod vlivem el. napětí
projevy: elektroosmotický tok / elektroosmotický tlak (elevace)
- opačně: elektrický proud a potenciál proudění – vznik proudu/napětí při proudění (*streaming potential/current*)
- elektroforéza – pohyb koloidu v iontovém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

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



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



Povrchový náboj = σ , intenzita el. pole = \mathcal{E} (rovnoběžně), viskozita = η

Tečná el. síla na jednotku plochy: $\sigma\mathcal{E} = \eta \frac{v}{\lambda} \Rightarrow$ rychlost $v = \frac{\sigma\mathcal{E}\lambda}{\eta}$

Kapacita dvojvrstvy (na jednotku plochy) $C/A = \epsilon/\lambda$ potenciál na smykovém rozhraní = ζ = **zeta-potenciál** = elektrokinetický potenciál

$$\sigma = \frac{C}{A}\zeta = \frac{\epsilon}{\lambda}\zeta \Rightarrow v = \frac{\epsilon\mathcal{E}}{\eta}\zeta$$

Smoluchowského (též Helmholtzova–Smoluchowského) rovnice:

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

Elektrický proud plochou průřezu \mathcal{A}_0 : $I = \mathcal{A}_0 \mathcal{E} \kappa = \mathcal{A}_0 \frac{U}{L} \kappa$ (κ = konduktivita roztoku)

Objemový průtok: $\frac{dV}{dt} = v \mathcal{A}_0$

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

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, $u \propto 1/\eta$.

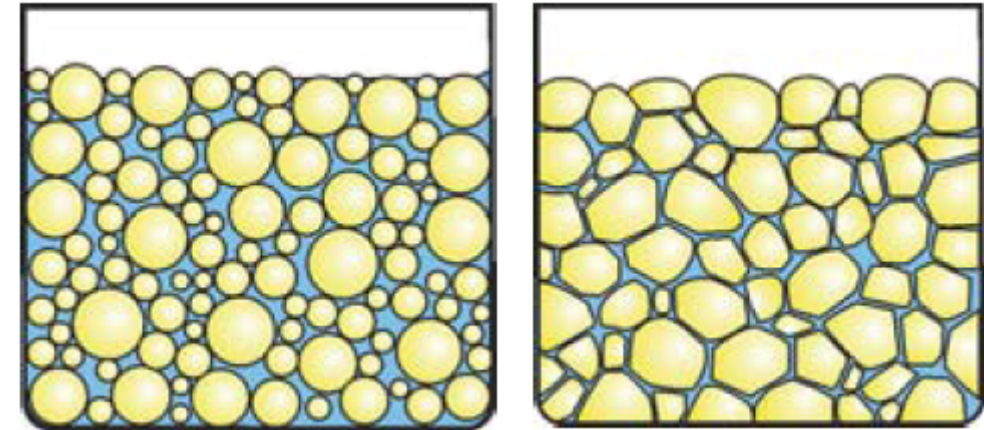
Rov. (1) a (2) se používají k měření ζ

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 $-\text{NH}_2$, tak $-\text{COOH}$). Nejmenší odpuzování – nejlépe se svinuje.

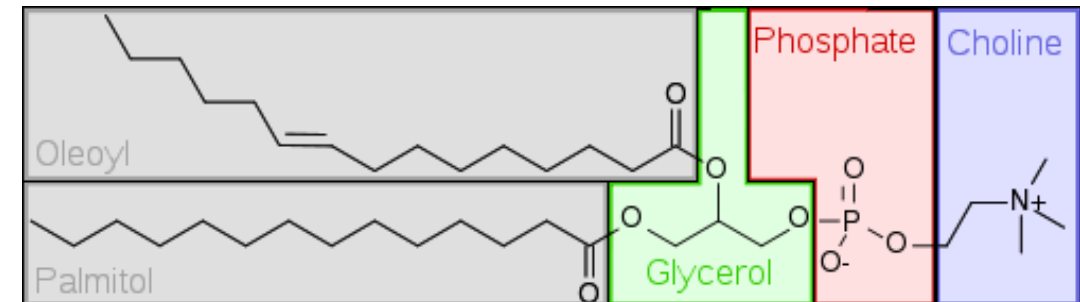
Typy:

- 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)

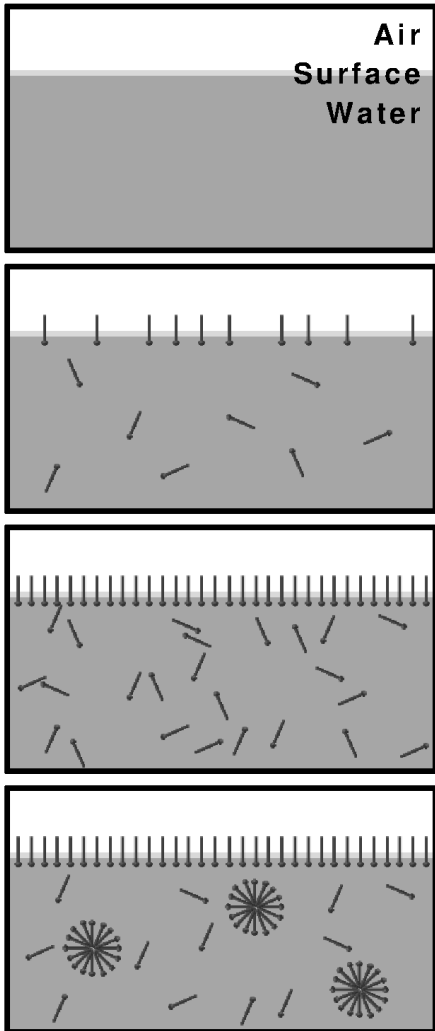
Koncentrované a vysoce koncentrované emulze nutno stabilizovat **emulgátorem** – povrchově aktivní látkou, např. lecitin (phosphatidylcholine)



credit: wikipedia

Zánik:

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



credit: wikipedia

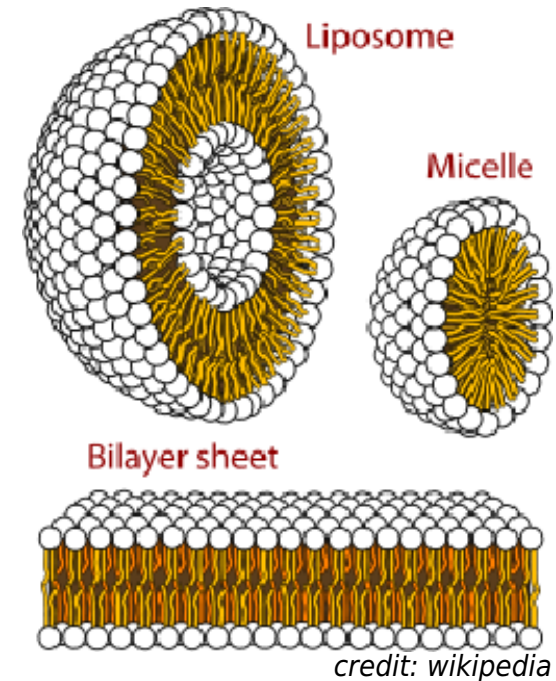
Micela = obvykle kulovitý útvar tvořený surfaktantem a stabilizovaný:

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

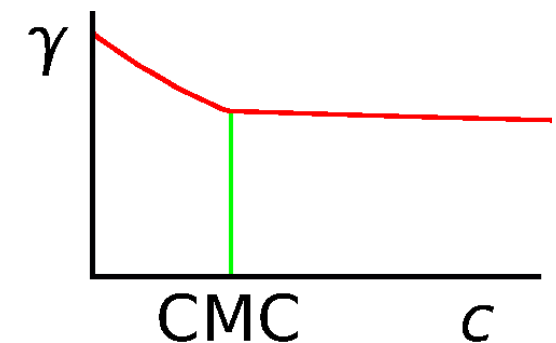
Vznik: roztok \rightarrow mikroagregace $\xrightarrow{\text{CMC}}$ micela \rightarrow válcovité či laminární micely, kapalné krystaly ap.

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

Obrácená (inverzní) micela (máslo)



credit: wikipedia



Solubilizace – schopnost micel absorbovat lyofobní látky

Detergence – praní, surfaktanty solubilizují hydrofobní špínu na povrchu

Vsuvka: klasifikace fázových přechodů

● 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

● spojitě (*continuous*), též 2. řádu:

– divergence 2. derivace: kritický bod kapalina–pára, Curieův bod
lambda-přechod He, některé tekuté krystaly
perkolace

– všechny derivace spojitě (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 →→→

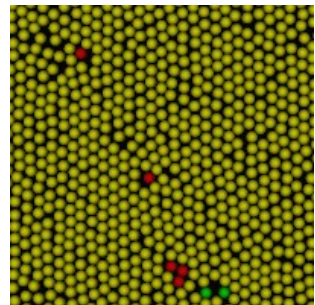
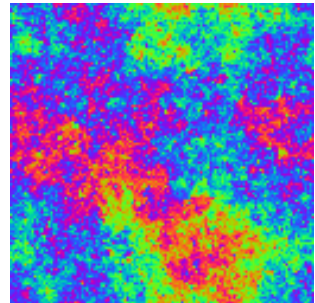
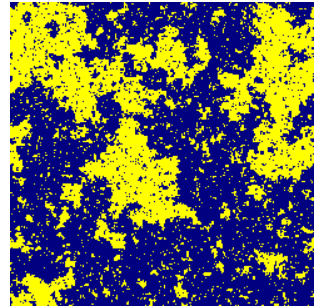
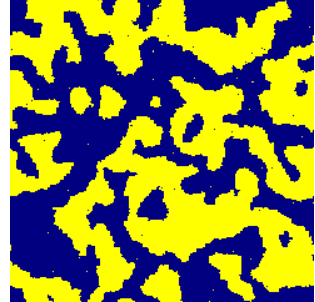
– ...

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

Vznik micel (v 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 („slepená“ hydrofobními konci), obv. 2D kapalina

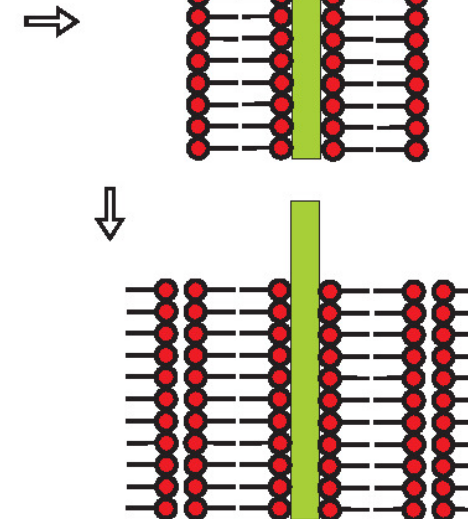
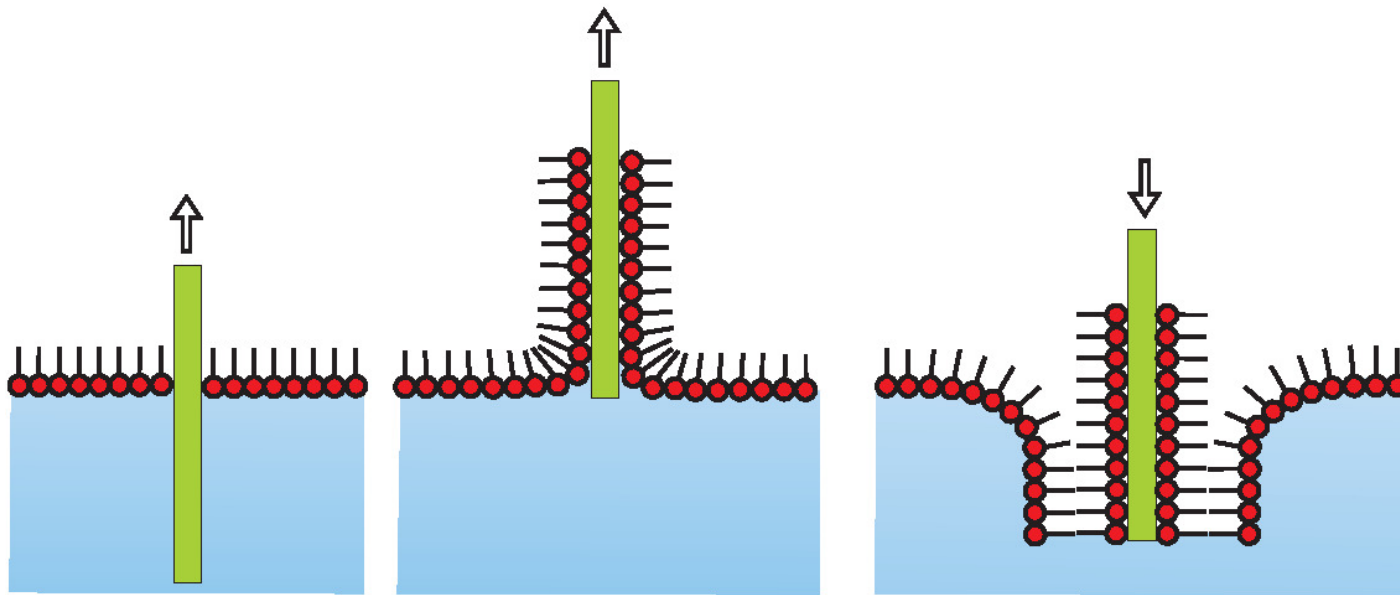
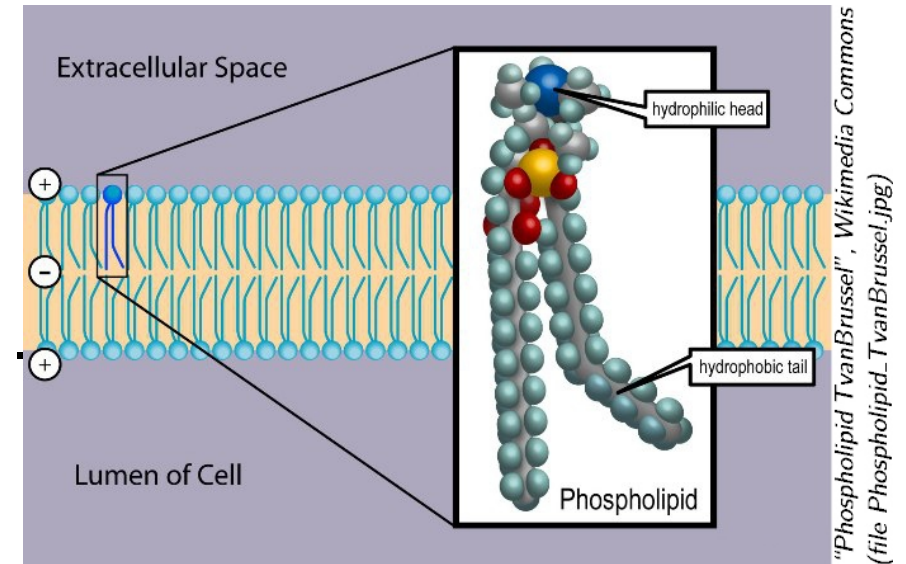
vesikl (angl. *vesicle*, č-s i vesikula, vezikl, vezikula);

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 $\xrightleftharpoons[\text{bobtnání}]{\text{sušení}}$ xerogel

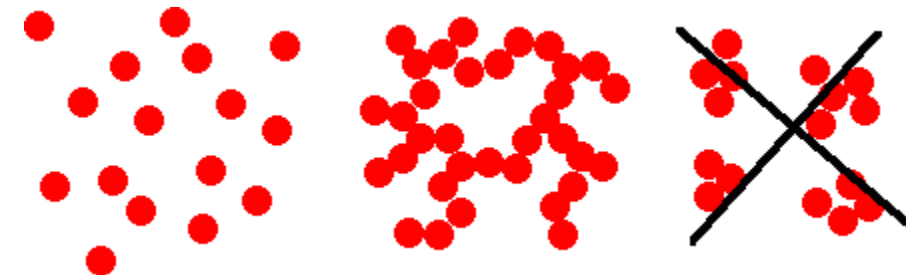
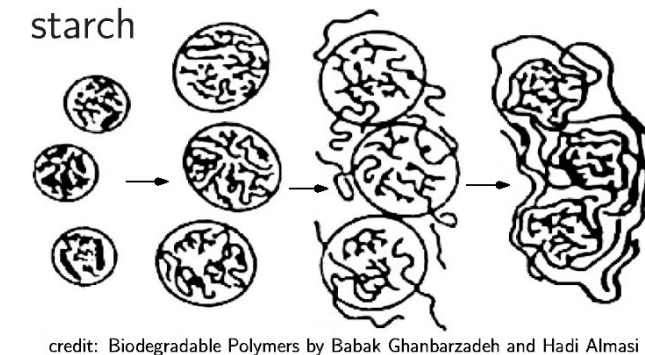
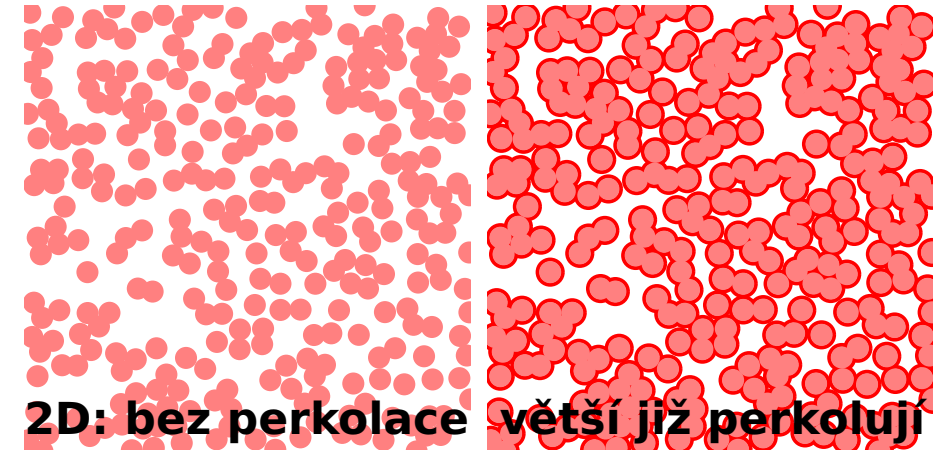
někdy se reverzibilita vztahuje k procesu sol \rightleftharpoons gel

Vznik gelů:

- želatinizací (gelatinizací) roztoků makromolekul:
 - zesítnění chemickou vazbou
 - asociace (vdW, vodíkové vazby)
 - krystalické styčné body
 - geometrické síťování (propletení, *entanglement*)

- destabilizací (obv. lyofobních) solů se zesítněním (ne koagulací)

želatinizace pokračuje stárnutím gelu
synereze = vypuzování kapaliny (jogurt)



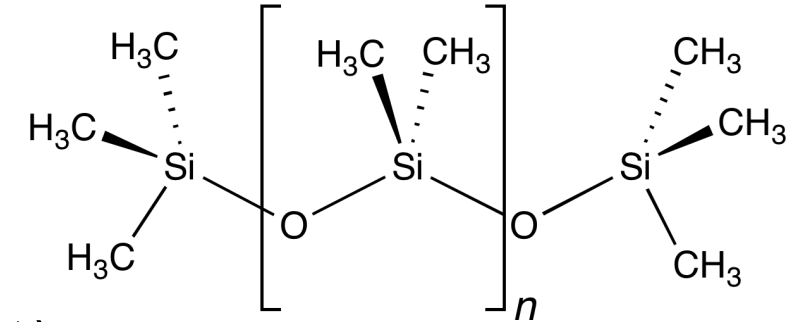
Mechanické vlastnosti gelů:

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

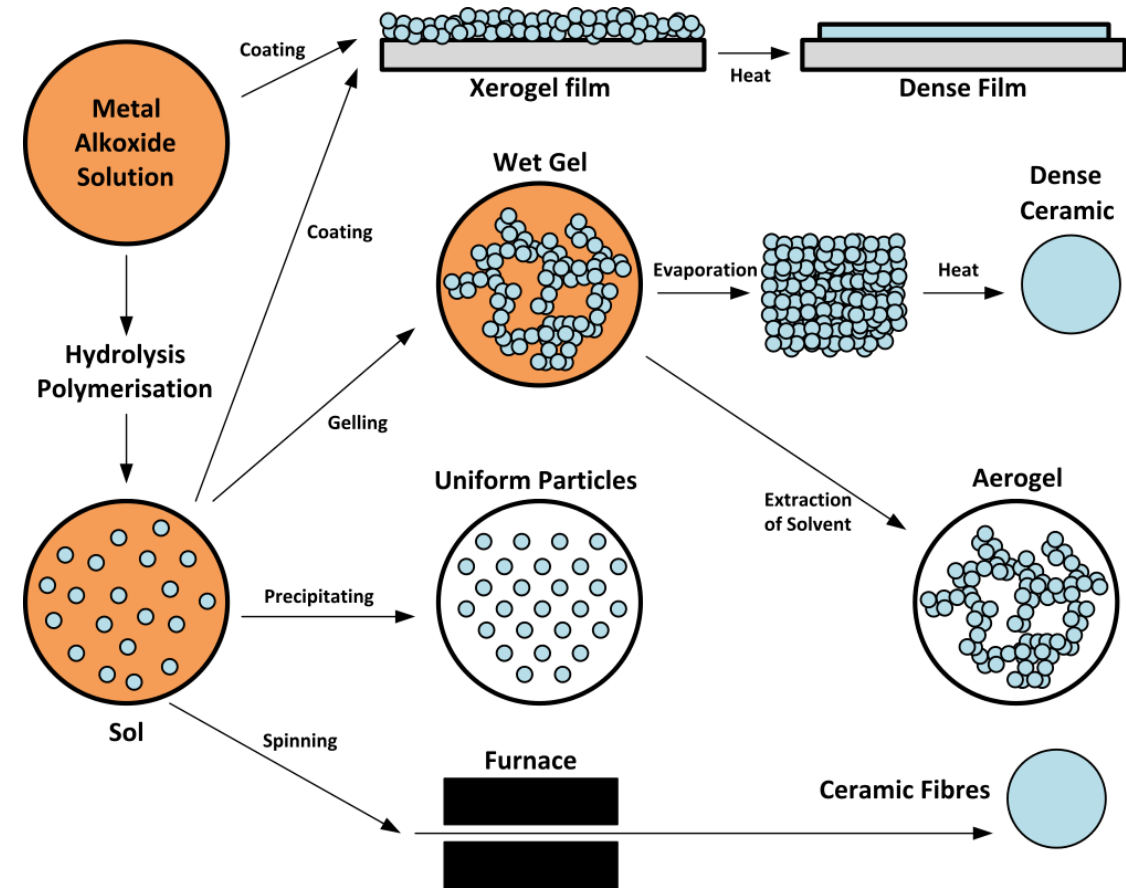
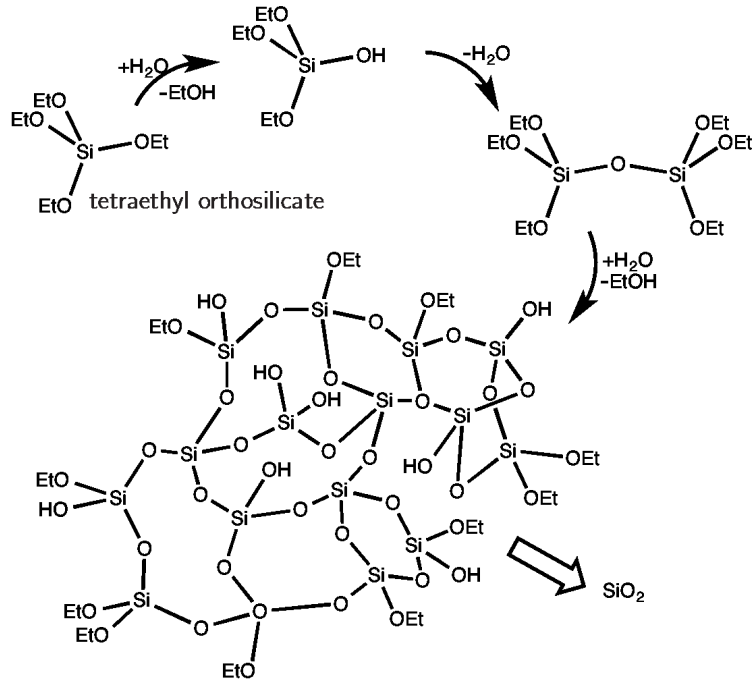
Hydrogely:

- kontaktní čočky (polyakrylamidy, „silikon“ – propustný pro kyslík ↑)
- pleny (polyakrylát sodný, $[-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{COONa})-]_n$)
nabité řetězce se odpuzováním napřimují a tvoří dutiny
- biomateriál – implantáty (silikon), lešení pro růst tkání

credit: Wikipedia



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



credit: https://en.wikipedia.org/wiki/Sol-gel#/media/File:Sol-Gel_Scheme.svg

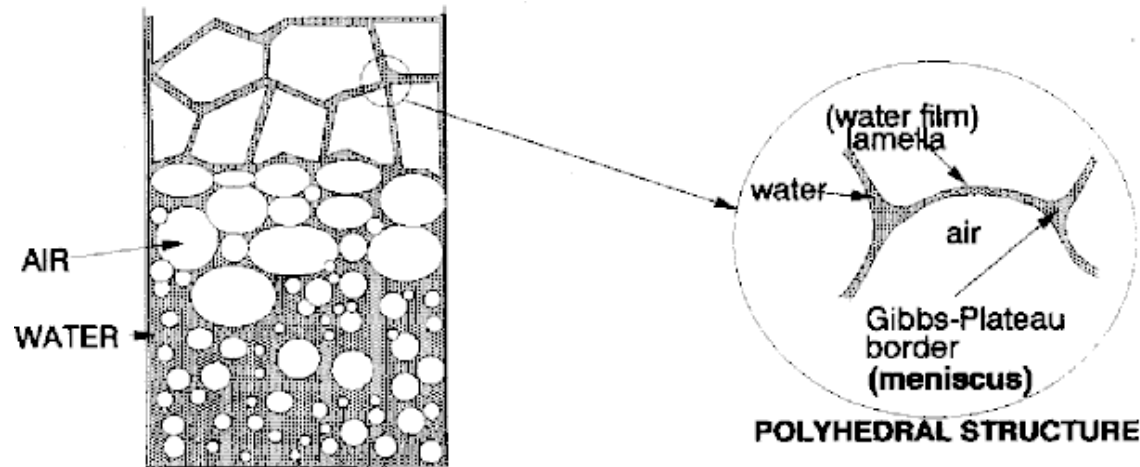
Aerogel = xerogel s velmi malou hustotou (superkritické sušení), silikagel až 1.9 g dm^{-3} ; alumina; aerografít 0.18 g dm^{-3} – pevnost v tahu 1 kPa

Použití: izolace, adsorbent, Čerenkovův detektor

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

Plyn v kapalině

- vlhké 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, protržení filmů

Suché pěny: např. pěnový polystyren

Kapalný podíl: mlhy (10 nm – 10 μm)

Pevný podíl: dým (do 10 μm), prach (nad 10 μm)

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, uhelný prach, termobarické (FAE, *fuel air explosive*) zbraně.

Typy šíření plamene:

- difuzní plamen – složky se mísí difuzí (svíčka)
- deflagrace – složky jsou smíšeny, šíření tepelnou vodivostí (plynový kotel)
- detonace – složky jsou smíšeny, zapáleno rázovou vlnou



troposféra

● mraky

kap(ič)ky obv. obsahují nukleační jádra (často soli jako $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$)
polarizovatelné anionty se shromažďují na povrchu kapiček

● pevné aerosoly

nejstabilnější jsou částice ≈ 300 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

PM = Particulate Matter

● smog (< *smoke and fog*):

- Londýnského typu (kouř, mlha, SO_2), redukční; vog = *volcanic smog*
- fotochemický smog (L.A.): $\text{NO}_2 + \text{VOC} + h\nu \rightarrow \text{O}_3 + \dots$, oxidační

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, SO_x)