

Kolloidika vizsgakérdések

II. éves gyógyszerészhallgatók számára

Kolloid részecskék típusai, szerkezetének jellemzői

Kolloid diszperz és kohezív rendszerek

Kolloid rendszerek képződésének alapelvei, intermolekuláris kölcsönhatások

Makromolekulák kémiai szerkezete, a molekulagombolyag jellemzői

Polimeroldatok képződése szételegyedése, makromolekulák kölcsönhatásai

Szilárd polimerek szerkezete, fizikai állapotai, duzzadása

Amfipatikus molekulák szerkezete, típusai

A micellaképződés egyensúlya, termodinamikai feltételei

A micella szerkezetét és a C_M értéket befolyásoló tényezők

Tenzidoldatok fizikai-kémiai tulajdonságai

Tenzidoldatok tulajdonságainak jellemzése a HLB értékkel, szolubilizáció tenzidoldatokkal

Határfelületi energia, fázisok érintkezésekor fellépő nedvesedési jelenségek

Adszorpció, adszorpciós folyamatok energiaváltozásai

Gáz- és gőzadszorpció, adszorbensek szerkezetvizsgálata

Nemelektrolitok és amfipatikus vegyületek és makromolekulák adszorpciója

Adszorpció és diffúzió szerepe nyújtott hatású gyógyszerekben

Elektrolitadszorpció szilárd/folyadék határfelületen

Az elektromos kettősréteg szerkezete, jellemzése

Elektrokinetika jelenségek, az elektrokinetika potenciált befolyásoló tényezők

Kolloid és durva diszperziók jellemzése, csoportosítása

Diszperziók előállítása diszpergálással, aprítási ellenállás

Kolloid és durva diszperziók előállítása kondenzálással

Kolloid és durva diszperziók állandósítása

Kolloid diszperziók stabilitását megszabó tényezők

Kolloid diszperziók (szolok) flokkulálása

Emulziók jellege, előállítása, megszűnése

Mikroemulziók, gyógyszerészeti emulziók, habok

Szuszpenziók tulajdonságai, adhéziós erők

Szerkezetes (strukturált) szuszpenziók tulajdonságai

Kolloid rendszerek szerkezetének jellemzői

Diszperz rendszerek makroszkópos tulajdonságainak függése a részecske típusától

Diszpergált részecskék alakjának és nagyságának jellemzése

Diszpergált részecskék nagyságának és alakjának meghatározási elvei

Halmazok (örlemények, üledékek krémek) részecskeméreteloszlásának meghatározási elvei.

Részecskénagyság mérésének optikai alapjai

A reológiai tulajdonságok kapcsolata a szerkezettel

Kolloid rendszerek folyásgörbéi

Kolloid diszperz rendszerek viszkozitásának függése a részecske típusától és a töménységtől

1

Kolloid részecskék típusai, szerkezetének jellemzői

három különböző mechanizmussal képződhetnek

1. mikroforrás:

makroszkopos forrás $1-10^3$ nm mérettartományban

atom-, ion-, vagy molekulahalmazokat korrukt létre valamely fizikai paraméter megváltoztatásával
például az oldatkoncentráció hatását túllepve

új minőség: fizikai értelemben vett felület, ehhez minimum $N+1$ részecske szükséges,
mert így megkülönböztethetjük külső és belső molekulákat

a részecskék az intermolekuláris erők asszimmetrikus erőterében helyezkednek el
a felületi molekuláké nagyobb a potenciális energiája \rightarrow felületi energia

a felületi energia - méretfüggő, a kolloid mérettartomány legalsó határával jelentkezik a legnagyobb többlet.

- miatt nem lehetnek termodinamikai egyensúlyi állapotban, csak kinetikai állandóságuk van
- miatt léphet föl adsorpció

2. makromolekula:

kovalens kötésekkel keletkezik molekulákból polimerizációs, poliaddíciós, polikondenzációs folyamatokban

új minőség: az a belső láncszegségeket független mozgása, ami a molekula egészének mozgását nem befolyásolja (szegmens mozgás)

két szerkezeti egység a szegmens és a molekula

alsó határa 10^4 relatív molekulatömeg

felső határa 10^7 relatív molekulatömeg (alábból független, de e fölött nem rendelkezik hőmozgással)

3. micella:

molekulák nagy mértékű asszociációja

10^2-10^3 méretű (rel. molekulatömeg) amphipatikus molekulák  asszociálódnak

pl. Na-szappán

50-100 molekula \rightarrow gömbmicella

10^5 db molekulától \rightarrow nagy micella

új tulajdonság: poláros és apoláros térszerek különíthetők el egy egységen belül

lehetséges átmenetek:

nagyicella
globuláris felhárja
lineáris polimer

→ mikrofázis
→ asszociáció

1

tipus	szerkezet	közegbehatolás	felület
makromolekula	molekula	van	nincs
micella	asszociátum	nincs	lehet
mikrofázis	atomhalmaz	nincs	van

2

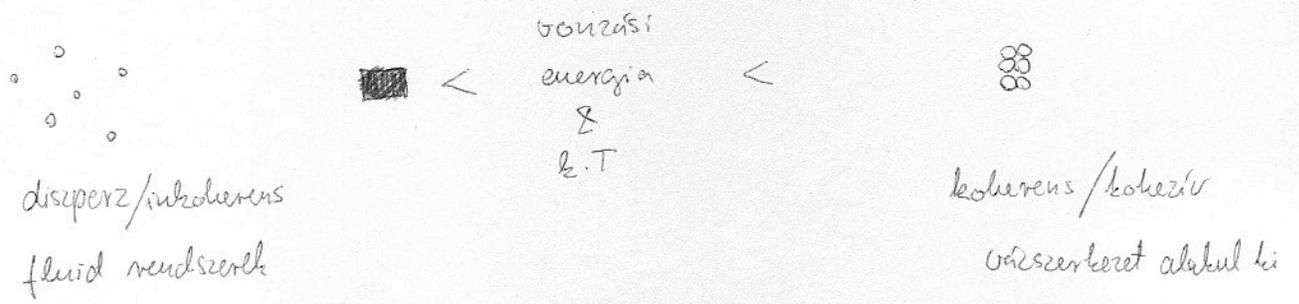
Kolloid diszperz és kohezív rendszerek

a kolloid rendszer - homogén közegből és abban eloszlított részecskékből állnak

- tulajdonságait megszabja a:

- részecske
- részecske-részecske kölcsönhatás (interpartikuláris kölcsönhatás)
- vonzási energia és a hőmozgás kinetikus energiájának viszonya ($\frac{3}{2}k \cdot T$)

a vonzási energia és a hőmozgás kinetikus energiájának viszonya alapján:



DISZPERZ

1. makromolekuláris kolloidoldat (oldott polimer)
2. asszociációs kolloidoldat (oldott mosószer)
3. kolloidális diszperzió (apró csapadék, tej)
4. durva diszperzió ($\mu\text{m} \rightarrow$ chlorocid injekció)

KOHEZÍV

a, reverzibilis kohezív rendszerek (csak fizikai kötések)

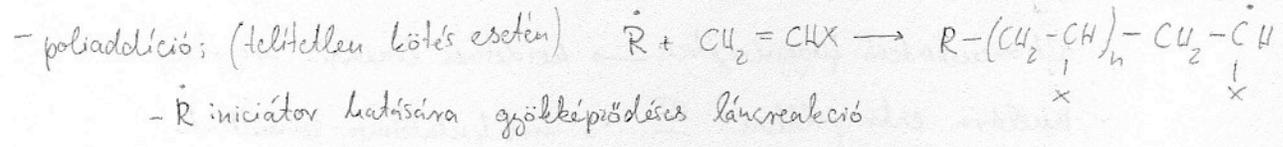
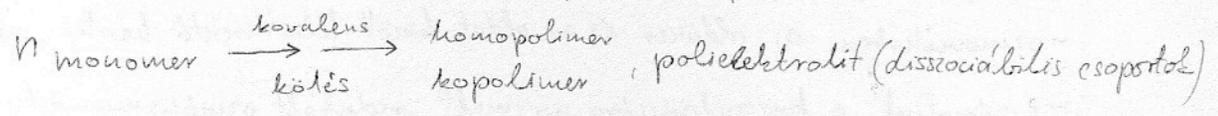
1. reverzibilis polimer gél (kacsougya)
2. micella gél (szappangél)
3. kolloid halmaz ($\text{Fe}(\text{OH})_3$ -gél)
4. durva halmaz (varrelin, fogkrém)

b, irreverzibilis, diffúz kohezív rendszerek (kémiai kötések)

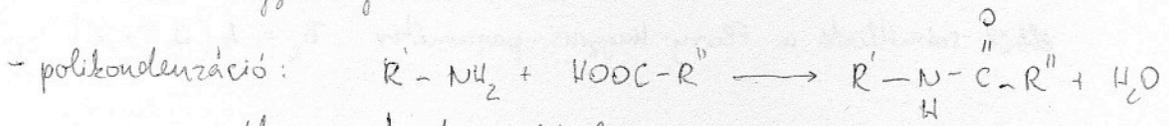
1. kémiai tésháló gél (főtt tojás, gumi)
2. szilárd-gáz xerozél (gyógyásanti szén, száraz sívacs)
3. szilárd-folyadék liozél (nedves sívacs)

Macromolekulák kémiai szerkezete, a molekulagombolyag jellemzői

előállítás: szintetikus úton, polimerizációval (polimerizáció, poliaddíció, polikondenzáció)



- R iniciátor hatására gyökképződéses láncreakció
- hasonló méretű termékek
- nem egyensúlyra vezető reakció



- egyensúlyra vezet, kis molekulájú melléktermék képződik
- H folyamatosan távozik
- lépésös mechanizmus

vázszerkezet alapján

funkciós szám: a reagáló kisebb egységek funkciós csoportja a meghatározó jellemző kötés: C-C, éter, észter, amid

- lineáris: 2 funkciós csoport cellulóz, PÉT
- elágazott: 3 funkciós csoport amidopektin, kaucsuk
- globuláris: intermolekuláris kötések kazein, albumin
- térhálós: intermolekuláris kötések vulkanizált kaucsuk, brüfkehéjék

oldott lineáris polimerlánc, molekulagombolyag

- jellemzése idealizált állapotban: statisztikus gombolyag
a polimerizációfok, a szegmenshossz, végcsoportok és rotációs szög segítségével, kölcsönhatásmentes állapot feltételezésével számítható \rightarrow átlagos láncvegytávolság (\bar{r}_0)

- referenciaállapothoz viszonyítjuk a reális alakot:
p oldószerben expandáltabb, rossz oldószerben kompaktabb struktúra

jellemzése: - expansziós faktor $\alpha^2 = \frac{\bar{r}^2}{r_0^2}$ ha $\alpha > 1 \rightarrow$ expanszió

- tehetetlenségi (gyirdécs) sugár

- a polimer és az oldat között: kölcsönhatási paraméter (χ) $\xrightarrow{\alpha}$ 0 expanszió $\xrightarrow{0,5}$ 1 kompaktság \rightarrow

Θ -állapotban az $\chi = 1$, $\alpha = 0,5$

a reális oldat tulajdonságai közelítik az idealizáltét

molekulák relatív molekulatömegének meghatározása

1. oszmózisnyomás-mérés

- oszmóméterben az oldószer és az oldat között féligáteresztő hártya, mérjük π oszmózisnyomást
- kiszámoljuk a koncentrációra normált redukált oszmózisnyomást; $\frac{\pi}{c}$ és ábrázoljuk a koncentráció függvényében \rightarrow keretben lineáris függvény hullára extrapolálva: $\frac{RT}{M}$ a molekulatömeg számítható
- az iránytengensből számolhatunk második víráleegyütthatót: $\log \beta = R \cdot T \cdot B_2$
ebből számítható a Flory-Huggins paraméter: $B_2 = k(0,5 - \chi)$

2. fényelrődés mérés

- spektrofotométerben teljes intenzitáscsökkenést ($I = I_0 - (I_{abs} + I_{szóródás} + I_{visszaverés})$) mérünk, amelyből sem az abszorpció, sem a visszaverődött intenzitás nem méretfüggő, ezért ha ezeket kiküszöböljük, a szórás méretfüggéséből meghatározható M
- Lambert-Beer törvény: $I = I_0 \cdot e^{-\tau \cdot l}$ τ a turbiditási koefficiens (zavarosság)
 τ -t mérjük, H optikai jellemőt számoljuk
ábrázoljuk $\frac{Hc}{\tau}$ vs. c függvényt lineáris szelvény extrapoláció $\rightarrow M$
második víráleegyüttható $\rightarrow \chi$ (F-H p.)

3. sedimentációs állandó mérése

- az ülepedés sebesség összefügg a molekulák méretével: $\frac{dx}{dt} = \frac{V \Delta \rho \omega^2 d}{f}$
ahol V részecsketérfogat, f súrlódási erő, ω - szögsebesség
 d - a forgástengelytől való távolság az ultracentrifugában
- sedimentációs koefficiens: $S = \frac{dx}{dt \omega^2 d}$ és $M = \frac{R \cdot T \cdot S}{D(1 - \bar{v} \cdot \rho_0)}$
ahol $\bar{v} = \frac{1}{\rho}$ parciális térfogat és D diffúziós állandó

4. viszkozitás mérés

- Hagen-Poiseuille törvény $\frac{V}{t} = \frac{\pi R^4 \Delta p}{8 \eta l}$
- relatív viszkozitást számolunk és ebből
 - specifikus viszkozitás $\eta_{rel}^{-1} = \eta_{sp}$
 - határviszkozitás $[\eta] = \frac{\eta_{sp}}{c}$, ha $c \rightarrow 0$
- ábrázoljuk $\frac{\eta_{sp}}{c}$ vs. c függvényt - lineáris extrapolációval: $[\eta] = k \cdot M^x$

5 Polimeroldatok képződése, szételegyedése, makromolekulák kölcsönhatásai

molekulák oldódása

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

- akkor megy végbe, ha ΔG negatív

- elegyedési entropia ΔS

- a makromolekulák oldódásakor mindig pozitív

- molekulatömegfüggő

$$\Delta S = \Delta S_{ideális} - R \cdot n_2 \cdot \ln P$$

ahol P polimerizációs fok, n_2 az oldószer anyagmennyisége

- elegyedési entalpia: ΔH

- az oldószer és a szegmensek kölcsönhatása szabja meg

$$2W_{RK} \begin{matrix} \gg \\ \ll \end{matrix} W_{RR} + W_{KK}$$

exoterm
aterrmikus
endoterm

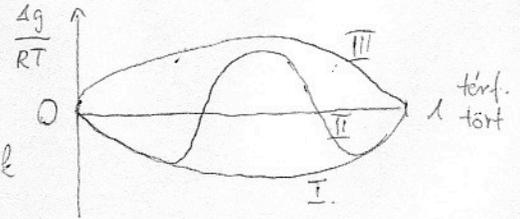
- szabadentalpiásűrűség: Δg

egységfázisnyi mennyiségre vonatkoztatott szabadentalpiaváltozás

I-es típus: $\Delta g < 0$ korlátlan elegyedés

III-as típus: $\Delta g > 0$ sohasincs oldódás

II-es típus: csak kis és nagy koncentrációkban oldódik



az oldékonyság hőmérséklettel és oldószerösszetétellel szabályozható

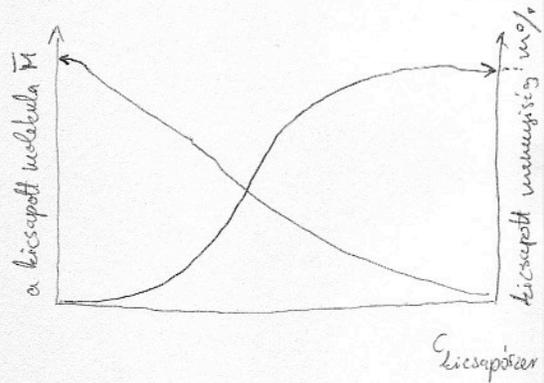
szételegyedés

ha jó oldószeres polimeroldathoz (I.) kicsapószert (III) adunk, amely elegyedik az oldószerrel, akkor a polimer két különböző tömegű frakcióra válik szét.

- az oldott molekulák tömege lecsökken, mert a legnagyobbak kicsapódnak (ezek oldódnak a legrosszabbul)

- ha szokatlanosan végezzük → frakcionális koaguláltatás

szételegyedés érhető még el, ha rossz oldószeres oldat hőmérsékletét változtatjuk



makromolekulák kölcsönhatásai

- a koncentráció növelése új tulajdonságok megjelenésével jár, mert a szegmensek egymást áthatják és az oldat folyásakor nemcsak az egymáshoz viszonyított elmozdulás, hanem a gömbölygők megjelölése is bekövetkezik (viszkózus és elasztikus bse)

- ha tömény oldatban az oldószer jószágát csökkentjük (kicsapószert) → fizikai térfelbontás, reverzibilis gél képződik, más csak az elasztikus tulajdonság jellemző

- fehérje molekuláival az izoelektromos ponton a legnagyobb a koaguláció

6

Szálló polimerok szerkezete, fizikai állapotai, duzzadása

Szerkezet

ha a polimer oldadékát hűtjük, az oldat töményítéséhez hasonló szerkezeti változásokon megy keresztül, rendeződik.

ahogy csökken a hőmérséklet, nő a összekötés

fonalmolekulák \rightarrow kötegek \rightarrow rojtosított vagy hajtogatott micellák \rightarrow kristallitok

kristallit: a rendezett térszerkezet, a szilárdságot feleltetik

amorf: rendezetlen térszerkezet, a rugalmasságot feleltetik

duzzadás

ha folyadék vagy gőzmolekulák jutnak be a térszerkezet közé \rightarrow duzzadás

korlátlan duzzadás: a felvett oldószer jó oldószer a molekuláknál termodinamikailag a makromolekulák között csak fizikai kötések a duzzadást oldódás követi

korlátolt duzzadás: a felvett folyadék termodinamikailag rossz oldószer a makromolekulák között kémiai kötések

amorf polimerok fizikai állapotai

a polimerok szerkezeti egységeinek (molekula, szegmens) hőmozgási lehetőségei a hőmérséklet emelkedésével nőnek \rightarrow állapotváltozás

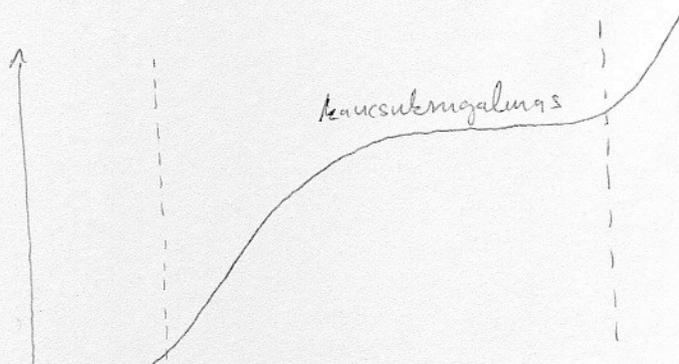
állapot	mozgás	elmozdulás erő hatására
üvegyszerű	atomrezgés	atomtávolság-változás
kaucsukmágnas	mikro-Brown	molekulanyúlás
folyékony	makro-Brown	molekula helyváltoztatás

- a kaucsukmágnas állapot a szegmensmozgás eredménye

- termomechanikai görbe:

σ_0 relatív megnyúlás az eredeti hossz

$$\sigma = \frac{\Delta l}{l_0}$$



7

Amfipatikus molekulák szerkezete, típusai

amfipatikus molekula:



↑ apoláros, ↑ poláros szerves vegyület, asszociációra képesek

- az $\bar{M} \sim 10^2 - 10^3$ relatív molekulatömegű mérettartományban már keltezőképpen elkülönülnek a polaritásuk
- létrejöhetnek a micellák
- a micellaképződés háttérereje, hogy különböző felületek különböző polaritású felületén főlhalmozódnak a molekulák
- ma már nem képesek oldódni, asszociátumokat hoznak létre.

lehetnek:

1. tenzidok: mesterségesen előállított amfipatikus molekulák

ionos tenzidok: a poláros és apoláros csoportok térbelileg jól szétválnak
lehetnek anionosak vagy kationosak

neunionos tenzidok: a poláros és apoláros csoportok nagysága és száma eltér arányukkal befolyásolható a polaritás
HLB (hidrofil/lipofil balance) érték

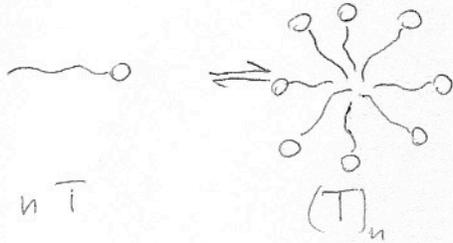
nagy HLB \rightarrow poláros oldószerben oldódik

kis HLB \rightarrow apoláros oldószerben oldódik

2. természetes eredetűek:
- koleszterin, lecitin, epesav
- mehilénkék, kungóörös

A micellaképződés egyensúlya, termodinamikai feltételei

a kis micellákat tartalmazó kolloidoldatok termodinamikai egyensúlyi rendszerként kezelhetők, ezért érvényes rájuk a tömeghatás törvénye:



$$nT \rightleftharpoons (T)_n \quad K = \frac{[(T)_n]}{[T]^n} = \frac{c_q/n}{[c(1-q)]^n}$$

ahol q - a molekulák hányada a micellában

n - a molekulák száma a micellában

c - móltöménység

K - egyensúlyi állandó

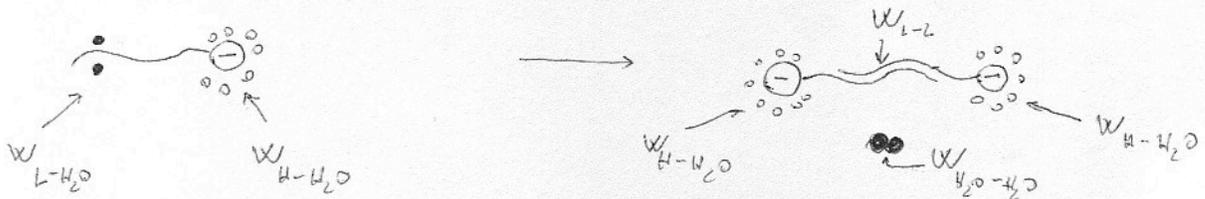
K egyensúlyi állandó segítségével termodinamikai adatok számolhatók:

$$(\Delta G^\ominus, \Delta S^\ominus, \Delta H^\ominus) \quad \Delta G^\ominus = \frac{RT}{n} \ln K$$

$$\Delta G^\ominus \sim RT \cdot \ln C_M \quad (C_M \text{ kritikus micellaképződési koncentráció})$$

a micellaképződés sejt-töménységintervallumban (C_M) rohamosan megindul asszociáció:

a fő dinamikai hajtóerő a tenzidmolekula apoláris csoportjait körülvevő vízmolekulák szabadulási válsága és egymással való asszociációja



$$\Delta W = 2W_{L-H_2O} - W_{H_2O-H_2O} - W_{L-L}$$

- ha a víz-vízmolekulák asszociációja révén elegendően nagy energia keletkezik, az entalpiaváltozás negatív
- a páronkénti asszociációval felszabaduló vízmolekulák entrópiája nő
- a lipofil csoportok az apoláris micellamagba kerülnek, ahol konformációs entrópiájuk nő

a tenzidmolekulákból már kis töménységnél is közel felített monoréteg keletkezik a határfelületen, ezért a tenzideket felületaktív anyagoknak nevezzük

9] A micella szerkezetét és a C_M -értéket befolyásoló tényezők

a micellák szerkezete a molekulák szerkezetétől függ:

- ionos tenzidekből szabályos szerkezetű micellák (gömb, lemez)
- lemezes nagymicellák a C_M -nél kétszeresnél nagyobb töménységű oldatokban
- ionos tenzidekből organikus oldószerben képződhetnek láncszerkezetű micellák
- nemionos tenzidekből vízben is létrejöhetnek láncszerkezetű micellák
- vízben a tenzid apoláris csoportjai, apoláris oldószerben a poláris csoportjai asszociálódnak.

a C_M -értéket befolyásolja:

vizes oldatban:
$$C_M = f \left(\frac{1}{M_{\text{apoláris}}}, T, C_{\text{elektrolit}}, C \right)$$

- csökkenti: a molekula apoláris részének növekedése (szabadra való H_2O)
a poláris csoport hidrofilitásának csökkenése (tenzidoldékonyság)
az ionos tenzid C_M értékét az elektrolit konc. növelése
- növeli: a hőmérséklet növelése (az oldékonyságot növeli)
a közepes (~~koncentráció~~) polaritású organikus anyag töménysége

Ha növeljük az amfifil molekulák koncentrációját, más, rendezett struktúrák alakulnak ki:

- hengeres
- lemezes
- vetikuláris

ezek tagzáma nagy (10^5)

10

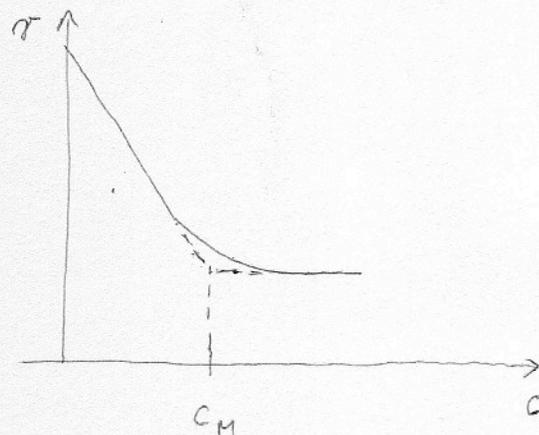
Tenzidoldatok fizikai - kémiai tulajdonságai

1. felületi feszültség csökkentő hatás:

a tenzidek a víz felületi feszültségét csökkentik, mert az apoláris csoport képezi a folyadék-felszín külső rétegét.

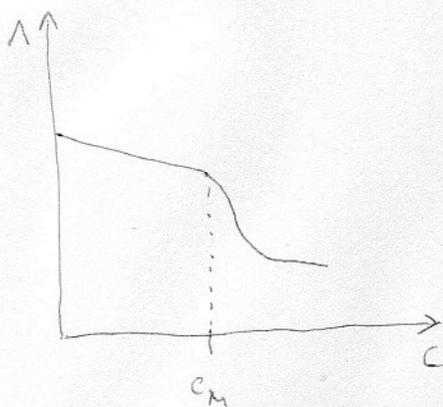
a csökkenés a felített réteg kiépüléséig, a C_M -értéknek megfelelő töménység eléréseig tart.

a C_M érték fölött az oldott molekulák aktivitása sem nő tovább.



2. vezetőképesség csökkentő hatás:

ionos tenzidek vezetőképessége (Λ fajlagos moláris vezeték) a C_M -értéknel nagymértékben csökken, mert a micellákban lévő molekulák egy része nem disszociál:



3. szolubilizáló hatás

vízben nem oldható apoláris vegyületek tenzidoldatokban a C_M -érték fölött oldódnak, mert vagy felhalmozódnak a micellák apoláris magjában, vagy vegyes micellák képződnek.

11

Tenzidoldatok tulajdonságainak jellemzése a HLB értékkel, szolubilizáció tenzidoldatokkal

HLB

a nemionos tenzidekben a poláris - apoláris csoportok nagysága és száma különböző lehet, ezért arányukkal nagymértékben befolyásolható a molekula polaritása

HLB - hydrophile - lipophile - balance

- a tenzidek micellaképzését jellemző érték
- 0 - 20-ig

nagy HLB érték \rightarrow poláris oldószerben jól oldódik

kis HLB érték \rightarrow apoláris oldószerben oldódik

- a HLB-érték becslése különböző polaritású folyadékokban valós oldással történik
- megszabja a tenzidek felhasználását

tipikus HLB-értékek:	3-6	v/o - emulgeálószer
	7-9	nedvesítőszerek
	8-12	o/v - emulgeálószer
	12-15	detergens
	15-20	szolubilizálószer

Szolubilizáció

vízben nem oldódó apoláris vegyületek tenzidoldatokban a C_{11} érték fölött oldódnak, mert a molekulák:

- fölhalmozódnak a micellák apoláris magjában, vagy
- vegyes micellákat képeznek

Határfelületek

a határfelületek az intermolekuláris erők asszimmetrikus erőterében helyezkednek el, a molekulák erőtere egyik irányban nincs lekötvé, ez szabad felületi energiaként $[J/m^2]$ jelentkezik, egységnyi felületre vonatkoztatott energia. Tiszta folyadékok esetében a felületi feszültséggel azonos $[N/m]$ és egyenlő az egységnyi felület létrehozásához szükséges munkával.

felületi többletenergia:

- követhetőség a kapillaritás: $\frac{2\sigma}{r}$

- homorú és domború felületek gőznyomása eltér a sík felületekétől:

$$p = p^0 \cdot e^{\frac{2\sigma V}{RT r}}$$

ahol σ - felületi feszültség, V - mólterfogat

r - folyadékfelszín sugara, p^0 - sík felületű folyadék tenziója

- a sík felületek mindig endoterm, ezért energetikailag heterogének, az éleken és csúcsokon lévő molekulák szabad energiája nagyobb, mint a sík felületen lévőké.

az oldékonyság a részecskék méretének csökkenésével nő: $L = L_0 \cdot e^{\frac{2\sigma \cdot M}{r(S_s - S_L)RT}}$

- a felületi többletenergia elsősorban a kötési energiától függ

- tiszta anyagok esetén, amelyek saját gőzükkel érintkeznek, a felületi energia a molekulák, ionok közötti kötési energia növekedésével nő

- gázoknak nincs önálló felülete, így nincs felületi energiájuk sem

- poláris folyadékok esetén a felületi energia nő a polaritás növekedésével

- apoláris folyadékok felületi feszültsége nő a molekula tömegével (diszperziós)

- amphipatikus molekulák esetén $\sigma <$ mint a várható

mert a határterekben irányítottan helyezkednek el, így csökkentik az intermolekuláris erők asszimmetriáját

- hőmérsékletfüggő

kondenzált fázisok meglévő felületeinek érintkezéskor az összes felületi energia csökken.

az új határfelület energiája mindig kisebb, mint a megszűnő két felület energiájának összege.

nedvesedési folyamatok

1. adhéziós nedvesedés

- miképpen fázis mikroszkópikus

- jellemző az adhéziós energiával: $W_a = \gamma^{SL} - \gamma^{SV} - \gamma^{LV}$

SV, LV kondenzált fázisok érintkeznek (γ eltűnik)
SL az új határfelület (γ jön létre)

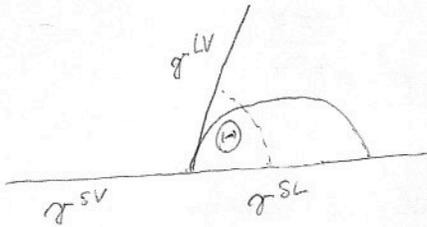
2. szétterülési nedvesedés

- a folyadékfázis mikroszkópikus

$$W_s = \gamma^{LV} + \gamma^{SL} - \gamma^{SV}$$

- előfordulhat, hogy nem filmréteget, hanem cseppet alkot a folyadék:

a szétterülés mértéke a peremszöggel / szétterülési szöggel jellemezhető (Θ)



- a háromfázisú peremvonal és a csepp érintkező határvonára meg
- mindhárom fázis felületi energiája saját felületének csökkentésére törekszik

- Θ minél kisebb, annál jobban nedvesít a folyadék

- Young-egyenlet: $\gamma^{SV} = \gamma^{SL} + \gamma^{LV} \cdot \cos \Theta$

- teljes szétterülés esetén $\Theta = 0 \rightarrow \cos \Theta = 1$ és

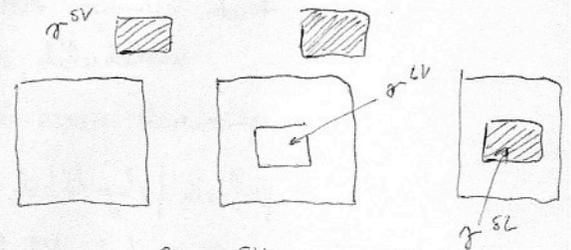
$$\text{a szétterülési együttható: } S = \gamma^{SV} - \gamma^{SL} - \gamma^{LV} \geq 0$$

$$S = -W_s$$

3. immerziós nedvesedés

az adhéziós energia egy Q_w része felszabadul, amely hozzájárul a nedvesedési hőhöz

$Q_w < W_a$, mert ebben az esetben átmenetileg a szilárd anyag felületével egyenlő nagyságú üreg keletkezik is létre kell hozni



$$Q_w = \gamma^{SL} - \gamma^{SV} = W_a + \gamma^{LV}$$

az adsorpció

- határfelületi főlhalmozódás, a mobilis komponensek főlhalmozódása
 - pozitív adsorpció: az oldott anyag főlhalmozódása
 - negatív adsorpció: az oldószer főlhalmozódása
- a határmezeg vastagsága kis molekulák adszorpciója esetén néhány nm, makromolekulát esetén ≈ 100 nm

energiaváltozások

ha a molekulák főlhalmozódnak a határfelületen, csökken az energia

- adszorpciós kötések:
- fizikai kölcsönhatások (fizisorpció) pl.: oxigén aktív szénen
diszperziós erők reverzibilisen tartanak össze több réteget
 - kémiai kölcsönhatások (kemisorpció) pl.: BaSO_4 - Na-sztearát
kémiai kötések irreverzibilisen kötnek egy réteget

jellemezhető: - fajlagos adszorbeált mennyiséggel

felületi többlet: $n_i^{\sigma} = n_i - [V^{(\alpha)} c_i^{(\alpha)} + V^{(\beta)} c_i^{(\beta)}]$ megmutatja a többlet mennyiséget a felületben

- felületi többletkoncentráció

$$\Gamma_i^{\sigma} = \frac{n_i^{\sigma}}{A_s} \left[\frac{\text{mol}}{\text{m}^2} \right]$$

a termodinamikai háttér:

- mivel az entrópiaváltozás negatív, az entalpiaváltozásnak kell ezt kompenzálni, hogy a szabadentalpiaváltozás negatív legyen.

integrális adszorpciós entalpia:

megmutatja n^{σ} adszorpciószám megkötődésekor keletkező hőmennyiséget

differenciális adszorpciós entalpia:

az 1 mol gáz/gőz megkötődését kísérő hőmennyiség

14

Gáz- és gőzadszorpció, adszorbensek szerkezetvizsgálata

- gázok adszorpciója szilárd felületen mindig pozitív.

az adszorbeált mennyiség nyomásfüggését a Langmuir-izoterma írja le

→ dinamikus adszorpcióra vonatkozik $v_{adszorpció} = v_{deszorpció}$

$$v_{adsz.} = k_a \cdot p (1-f)$$

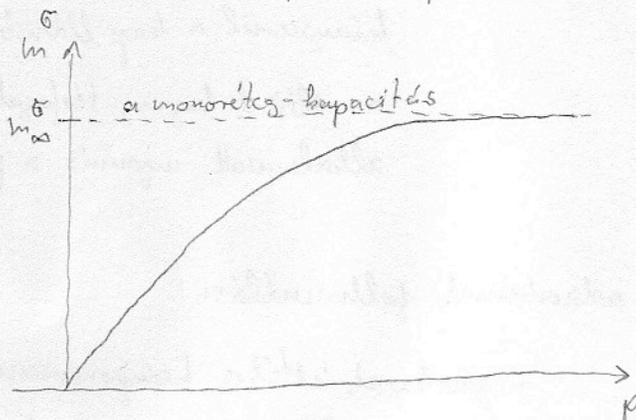
$$v_{desz.} = k_d \cdot f$$

ahol $f = \frac{m \cdot \sigma}{m_{\infty} \cdot \sigma_{\infty}}$ a határfelületen lévő molekulák által elfoglalt felület

$$\rightarrow b = \frac{k_d}{k_a} \rightarrow f = \frac{p}{p+b}$$

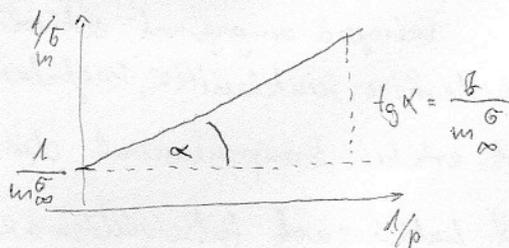
$$\rightarrow m \cdot \sigma = m_{\infty} \cdot \sigma_{\infty} \cdot \frac{p}{p+b} \quad \text{gázok esetén}$$

$$\rightarrow m \cdot \sigma = m_{\infty} \cdot \sigma_{\infty} \cdot \frac{C}{C+b} \quad \text{oldatok esetén}$$



a Langmuir-izoterma linearizált alakja:

$$\frac{1}{m \cdot \sigma} = \frac{1}{m_{\infty} \cdot \sigma_{\infty}} + \frac{b}{m_{\infty} \cdot \sigma_{\infty}} \cdot \frac{1}{p}$$



- pórusos adszorbensek:

nagy belső felülettel rendelkező szilárd anyagok

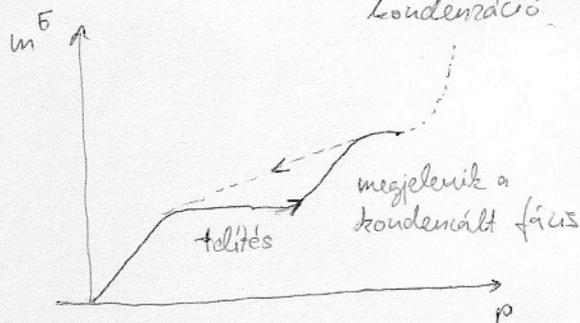
a gőzök a belső kapillárisokban kondenzálódhatnak,

- ha nedvesítik a kondenzálódó gőzök a kapilláris felület

- a görbült felület fölötti gőznyomás a sík felülethez képest nő → túlnyomás kondenzáció

a kapilláris-kondenzációs izotermával látható le:

$$p = p_0 \cdot e^{\frac{-2\sigma \cdot V}{r \cdot R \cdot T}}$$



az adszorbensek jellemzőitől:

fajlagos felület: $[m^2/g]$

pórusok mérete, pórusok méreteloszlása

felület...

- pórusméret - eloszlás:

Hg-poroziméterrel határozzuk meg

a Hg a legtöbb kapillárisot nem nedvesíti ($\theta > 90^\circ$) $\rightarrow \cos \theta$ negatív, így a kapillárisokba nem hatol be önként

a Hg-t a kapillárisokba kiűző nyomással kell bekegyesíteni

ha a próbelési nyomás exponálensé válik a kapillárisnyomással, a higany bekegyesül a kapillárisba.

$$p_R = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos \theta}{R}$$

az eltűnt higany térfogata a pórusok térfogata alkalmazott nyomás a pórusnyomás

adsorbensek felhasználása:

- gázlevegő értékes komponenseinek kivonása
mérgező anyagok eltorolítása
- oldatok desztilláció, szűrtelenítése, reagfalauntása
- oldatok értékes komponenseinek tisztítása
- retard hatású szerek felszívódása a szervezetben \rightarrow egyszerre nagyobb mennyiséget lehet bevinni kötött formában

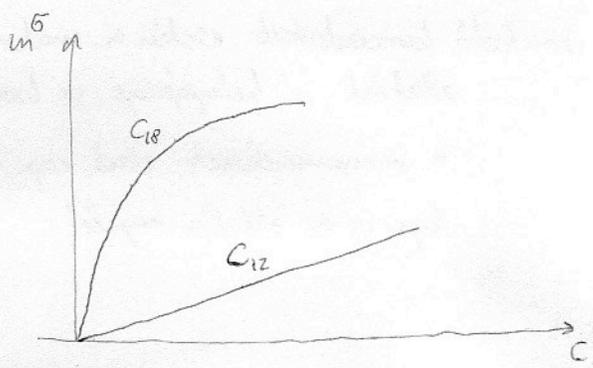
Nemelektrolitok

- adszorpciókat a komponensek polaritásviszonyai határozzák meg, ektől függ a felület nedvesedése és az anyag szolvatációja.
- poláris adszorbensen a polárisabb komponens adszorbeálódik annál jobban, minél apolárisabb az oldószer.
- leírható a Langmuir-izotermával

amfipatikus vegyületek

- ellentétes polaritású fázisok határfelületén az amfipatikus vegyület adszorpciója mindig pozitív, mert az indukált elhelyezkedéssel csökkentik a határfelületi energiát és így a szabadentalpiát is.

- adszorpciójuk szétláncfüggő (a méret növelésével a polaritás csökken)
 leírható Langmuir-izotermával, egyensúlyi nyomás helyett töménység



$$m^{\sigma} = m^{\sigma}_{\infty} \cdot \frac{c}{c+b}$$

- ha nem ellentétes polaritásúak a fázisok, akkor is lehet pozitív az adszorpció, ha kemisorpció következik be
- monoréteg kialakulása után egy második tenzidóréteg is adszorbeálódhat, mert az első réteg kötődése után a felület hidrofóbabbá válik. (ionos tenzidok)

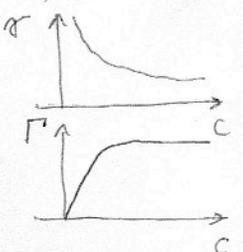
a levegő/vizes oldatokban

a Gibbs egyenlet kapcsolatát ír le az adszorbeált mennyiség és a felület energiája közt:

$$d\sigma = \Gamma_i^{\sigma} d\mu_i \quad (\Gamma_i^{\sigma} \text{ anyag adszorpciója } \mu_i \text{ kémiai potenciálban változást okoz, ez pedig } d\sigma \text{ felületi feszültségváltozást jelent)}$$

$$\Gamma^{\sigma} = -\frac{1}{RT} \cdot \frac{d\sigma}{d \ln a} \quad \text{ami hígoldatra } \approx -\frac{c}{RT} \cdot \frac{d\sigma}{dc}$$

tehát a felületi feszültség az oldott anyag függvényében változik.
 minden σ -t csökkentő anyag adszorpciója pozitív



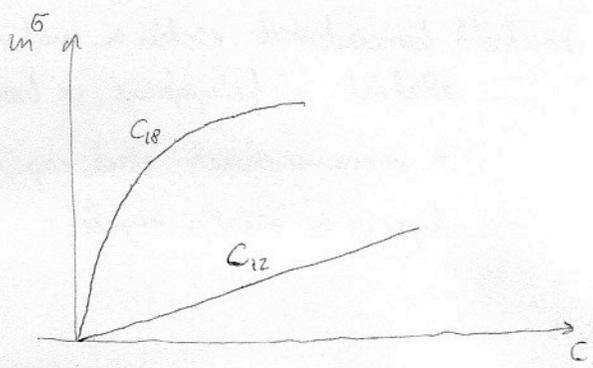
Nemelektrolitok

- adszorpciókat a komponensek polaritásviszonyai határozzák meg, ektől függ a felület nedvesedése és az anyag szolvatációja.
- poláris adszorbensen a polárisabb komponens adszorbeálódik annál jobban, minél apolárisabb az oldószer.
- leírható a Langmuir-izotermával

amfipatikus vegyületek

- ellentétes polaritású fázisok határfelületén az amfipatikus vegyület adszorpciója mindig pozitív, mert az indukált elhelyezkedéssel csökkentik a határfelületi energiát és így a szabadentalpiát is.

- adszorpciójuk szétláncfüggő (a méret növelésével a polaritás csökken)
 leírható Langmuir-izotermával, egyensúlyi nyomás helyett töménység



$$m^{\sigma} = m_{\infty}^{\sigma} \cdot \frac{c}{c+b}$$

- ha nem ellentétes polaritásúak a fázisok, akkor is lehet pozitív az adszorpció, ha kemisorpció következik be
- monoréteg kialakulása után egy második tenzidoreteg is adszorbeálódhat, mert az első réteg kötődése után a felület hidrofóbabbá válik. (ionos tenzidok)

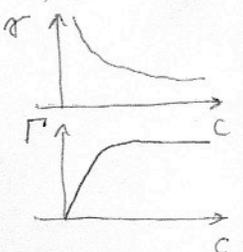
a levegő/vizes oldatokban

a Gibbs egyenlet kapcsolatát ír le az adszorbeált mennyiség és a felület energiája közt:

$$d\sigma = \Gamma_i^{\sigma} d\mu_i \quad (\Gamma_i^{\sigma} \text{ anyag adszorpciója } \mu_i \text{ kémiai potenciálban változást okoz, ez pedig } d\sigma \text{ felületi feszültségváltozást jelent)}$$

$$\Gamma^{\sigma} = -\frac{1}{RT} \cdot \frac{d\sigma}{d \ln a} \quad \text{ami hígoldatra } \approx -\frac{c}{RT} \cdot \frac{d\sigma}{dc}$$

tehát a felületi feszültség az oldott anyag függvényében változik.
 minden σ -t csökkentő anyag adszorpciója pozitív



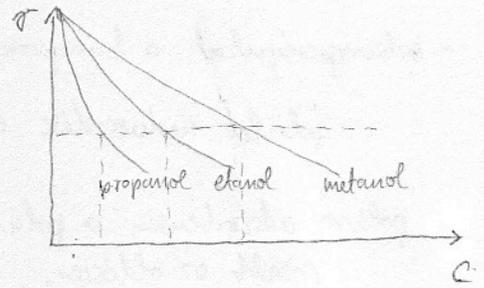
- SZISZKOVSKI - egyenlet:

amfipatikus homológok $n+1$ szénatomszámú tagja harmadlaggi koncentrációban csökkenti ugyanolyan mértékben a víz felületi feszültségét, mint az n szénatomszámú.

$$\Delta\sigma = \sigma_0 - \sigma = A \cdot \ln(1 + B \cdot c)$$

A és B empirikus állandó

$$\frac{B_{n+1}}{B_n} = 3,4$$



makromolekulák

többszire amfipatikus felépítésűek, ezért az amfipatikus vegyületek adszorpciójára vonatkozó szabályok itt is érvényesek.

több kötésponton is adszorbeálódhatnak \rightarrow nagy affinitású isoterma

növekedő koncentráció esetén a makromolekula segmentszámával tudja változtatni az alakját, a helyigénye a koncentrációval csökken.

a monomereknek csak egy része kötődik a felülethez, a többi hurokot kizárva az oldatba nyúlik

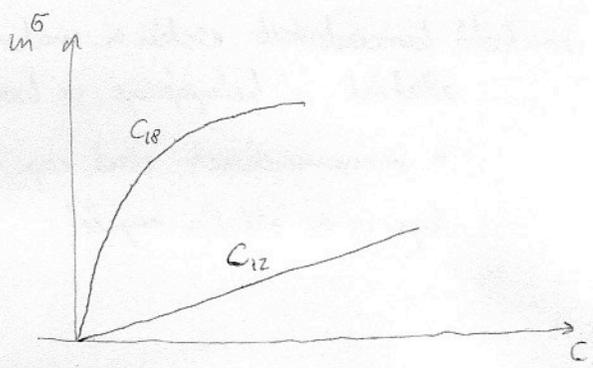
Nemelektrolitok

- adszorpciókat a komponensek polaritásviszonyai határozzák meg, ektől függ a felület nedvesedése és az anyag szolvatációja.
- poláris adszorbensen a polárisabb komponens adszorbeálódik annál jobban, minél apolárisabb az oldószer.
- leírható a Langmuir-izotermával

amfipatikus vegyületek

- ellentétes polaritású fázisok határfelületén az amfipatikus vegyületek adszorpciója mindig pozitív, mert az indukált elhelyezkedéssel csökkentik a határfelületi energiát és így a szabadentalpiát is.

- adszorpciójuk szétláncfüggő (a méret növelésével a polaritás csökken)
 leírható Langmuir-izotermával, egyensúlyi nyomás helyett töménység



$$m^{\sigma} = m_{\infty}^{\sigma} \cdot \frac{c}{c+b}$$

- ha nem ellentétes polaritásúak a fázisok, akkor is lehet pozitív az adszorpció, ha kemisorpció következik be
- monoréteg kialakulása után egy második tenzidoreteg is adszorbeálódhat, mert az első réteg kötődése után a felület hidrofóbabbá válik. (ionos tenzidok)

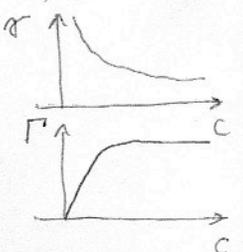
a levegő/vizes oldatokban

a Gibbs egyenlet kapcsolatát ír le az adszorbeált mennyiség és a felület energiája közt:

$$d\sigma = \Gamma_i^{\sigma} d\mu_i \quad (\Gamma_i^{\sigma} \text{ anyag adszorpciója } \mu_i \text{ kémiai potenciálban változást okoz, ez pedig } d\sigma \text{ felületi feszültségváltozást jelent})$$

$$\Gamma^{\sigma} = -\frac{1}{RT} \cdot \frac{d\sigma}{d \ln a} \quad \text{ami hígoldatra } \approx -\frac{c}{RT} \cdot \frac{d\sigma}{dc}$$

tehát a felületi feszültség az oldott anyag függvényében változik.
 minden σ -t csökkentő anyag adszorpciója pozitív



116

Adszorpció és diffúzió szerepe újított kutasú gyógyszerekben

a újított kutasú gyógyszerek felszívódását szabályozza az adszorpció

nagyobb mennyiséget lehet egyszerre bevinni kötött formában

- nem egyszerre szabadul föl
- csökken a gyógyszeradagok száma
- konstans hatóanyagkoncentráció biztosítható

a terápia ideje alatt a gyógyszer hatóanyagtartalma C_{MIN} minimumkoncentráció fölött kell, hogy legyen, viszont nem haladhat meg egy C_{MAX} értéket, mert káros lenne a szervezetre

hagyományos megoldás: többször kisebb dózis bevétele

új megoldás, amely csökkenti a hatóanyag felszívódásának sebességét, hogy nagyobb dózist is be lehessen venni, és csak hosszabb idő után kelljen új dózist alkalmazni.

1. a hatóanyagot olyan kapszulába töltjük, amelynek falán át csak diffúzióval jut a gyomorba vagy
2. a kapszulába adszorbenst is töltünk, így a hatóanyag koncentrációját adszorpciós egyensúllyal vezéreljük

a természetben lejátszódó folyamatok matematikai leírására kompartment-modelleket alkalmazunk a újított kutasú gyógyszerek vizsgálatakor három kompartment

1. kapszula
2. gyomor
3. egész vérkeringés

a modellek felírása után számítógépes simulációt végezhetünk, s a paraméterek megfelelő megválasztásával jelentősen megnövelhetjük a két hatóanyag-bevétel között eltelt időt anélkül, hogy a hatóanyagkoncentráció C_{MIN} alá csökkenne

Elektrolitadszorpció a szilárd/folyadék határfelületen

a határfelületeken adszorbeálódó elektrolit egyik ionja szorosabban kötődik a felülethez,
ez a preferált, specifikusabban kötődő ion
a másik ion kicsit távolabb, diffúzusan helyezkedik el (ellenion)

hialakul az elektromos kettősréteg.

az ionok határfelület és az oldat belseje közötti megoszlását az adszorpciós izoterma adja meg

különböző ionok adszorpciós sorrendje:

- a kristály egyik ionjával azonos ion
- nohonion
- H^+ v. OH^- -ion
- nagyobbt vegyértékű ion

ebben a sorrendben az izoterma meredeksége és m_{∞}^{σ} -értéke is csökken

nétegrációs szilikátok és disszociálabilis csoportokat tartalmazó polimerek ioncsere-re képesek

- csak az ellenion cserélhető, a másik ion kötött
- az egyensúlyt a disszociációállandók és az ionaktivitások szabják meg

18

Az elektromos kettősréteg szerkezet, jellemzése

a határfelület meglévő többletenergiája miatt a töltéssel rendelkező részecskéket is felhalmozódhatnak

preferált töltés a felület közelében (potenciálmeghatározó ion, belső fegyverzet)
másik töltés távolabb

egy kialakul az elektromos kettősréteg

a töltés származhat:

- specifikusan adszorbeálódó iontól
- ionos tenzidet, polielektrolitok adszorpciójától
- felület disszociációtól

a felületi töltéssűrűséget a koncentráció függvényében ábrázolva feltételezhető: görbélhez jutunk. (σ_0 max)

a határfelület potenciálja:

minden q töltés körül elektromos erőter, tasítják egymást:

$$F = q_1 q_2 / (4\pi \epsilon d^2)$$

ha a végfelület elektromos töltést közelítünk, mint azt végzünk, amely a töltés erőterének energiájával egyezik meg.

a felületig való közelítéshez szükséges munka a felületi potenciál ψ_0

az elektromos erőter potenciálját az ott lévő ionok csökkentik

hisz potenciálok esetén $\psi_0 = \frac{4\pi}{\epsilon K} \sigma_0$ a felülettől távolodva $\psi(x) = \psi_0 \cdot e^{-Kx}$

ahol K az ionerősségre jellemző Debye-Hückel paraméter $K = k \left(\sum_{i=1}^{(\infty)} n_i z_i^2 \right)^{1/2} \left[\frac{1}{\text{cm}} \right]$

n_i - az ionok koncentrációja a felülettől távol, z_i - töltésszám

fiktív vastagság: $x = \frac{1}{K} \longrightarrow \psi(x) = \frac{\psi_0}{e}$

a potenciál nagysága függ:

- felülettől való távolságtól
- felület töltéssűrűsége
- ionerősségtől

a potenciálmeghatározó ionokkal ellentétes töltésű ionok az ellenionok, ha ezeknek túl nagy a koncentrációja, átöltés következhet be.

19) Elektrokinetikai jelenségek és az elektrokinetikai potenciált befolyásoló tényezők

elektrokinetikai jelenségek

1. elektroforézis

elektromos potenciálkülönbség miatt mozognak a részecskék

2. elektrooszmózis

elektromos hatásra áramlik a folyadék

3. ülepedési potenciál

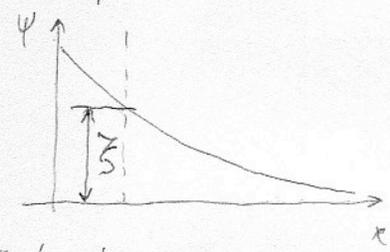
4. áramlási potenciál

kapillárisban lévő folyadékot külső nyomással áramoltatunk, felhasad az elektromos kettősréteg, és a behelyezett elektródok között potenciálkülönbség lép föl.

mindegyikből meghatározható az elektrokinetikai, vagy zéta-potenciál:

a kettősréteg hasadási síkje és a folyékony fázis belseje közötti potenciálkülönbség

annál nagyobb, minél nagyobb a felületi potenciál és minél kisebb a közeg elektrotömölyessége



zeta meghatározása:

elektroforézis esetén:

$$F_{\text{elektr.}} = F_{\text{súrl.}}$$

$$Q \cdot E = 6\pi\eta r v$$

$$\frac{v}{E} = U_{\text{elektroforézis}} = \frac{Q}{6\pi\eta r}$$

gömb esetén: $\zeta = \frac{Q}{4\pi r \epsilon E}$

$$U_{\text{effor.}} = \frac{\epsilon \cdot \zeta}{1,5 \eta}$$

áramlási potenciál esetén:

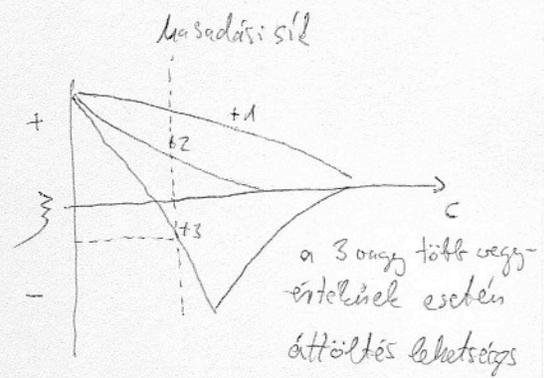
$$\frac{\Delta V}{\Delta p} = \frac{\epsilon \cdot \zeta}{\eta \cdot \chi}$$

zeta-potenciált befolyásoló tényezők:

- hasadási sík (a hidrátburkol függvénye)
- különböző vegyjártékai, nem adszorbeálódó elektrolitok

polielektrolitok esetén

átöltés nem az elektromos kettős rétegtől, hanem a savas/bázikus csoportok disszociációjától származik ezt a p_H befolyásolja



Kolloid és durva diszperzió jellemzése, csoportosítása

a diszperzió valamely közegben eloszlott mikrofausokat tartalmaznak

Csoportosításuk a részecske és a közeg halmazállapota alapján történik, 8 féle diszperzió állítható elő, amely a részecske mérete alapján lehet kolloid (1-1000 nm) vagy durva (1-100 µm) diszperzió:

részecske	közeg	kolloid	durva
L	G	aeroszol	köd
S	G	aeroszol	füst
G	L	gázszuszpenzió	gázdiszperzió
L	L	kolloidális emulzió	emulzió
S	L	szuszpenzió	szuszpenzió
G, L, S	S	szilárd szuszpenzió	szilárd diszperzió

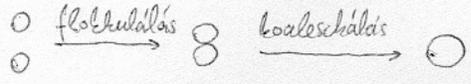
termodinamikai instabilitás - kinetikai állandóság

a mikrofausok nagy fajlagos felülete miatt nagy a felületi energia, termodinamikai szempontból a diszperzió instabil rendszerek

a cseppek összefolyása vagy a szilárd részecskék összelapályosodása a fajlagos felület csökkenésével jár, így csökken a felületi energia, termodinamikailag kedvezőbb állapot jön létre

halmazképződés (aggregálódás):

1. kolloid diszperziókban a hőmozgás miatt → perikinetikus koaguláció



a dezaggregálás nehéz, peptizálás (kémiai módszer)

2. durva diszperzió különböző ülepedési sebesség miatt → ortokinetikus koaguláció

a nagy részecskékre viszonylag nagy nehézségi erő hat, a felületek olyan közel kerülhetnek egymáshoz, hogy a vékony adszorpciós réteg ellenére is vonzás alakul ki:

a dezaggregálás könnyebb, mert az érintkező felületek nagysága, és így a vonzói energia kisebb, valamint keveréskor nagyobb vízrőreó hat.

sebességgradiens: $\Delta v / \Delta x$ vízrőreó: $\tau = \eta \frac{\Delta v}{\Delta x}$ vízrőreó $F = \tau \cdot A$

a kondenzálás és a reinkonzalidáció

termodinamikai hajtóereje a határfelület megszűnése

$$R \cdot T \cdot \ln \frac{L_a}{L} = \frac{2\sigma^{3/2} \cdot M}{a(S_s - S_l)} \quad \text{ahol } a \text{ a részecske méret}$$

a kisebb részecskék nátkondenzálnak a nagyobbakra

a diszperziók heterogén rendszerekből aprítással és diszpergálásal állíthatók elő

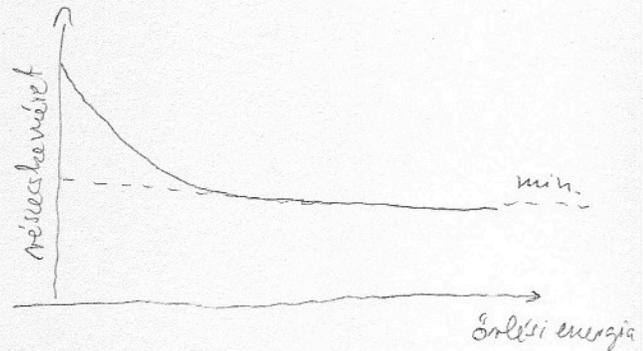
a makroszkópos fizis szétválasztása során munkavégzés $\Delta G = \sigma \cdot \Delta \left(\sum_i A_{s,i} \right)$
 örléssel csak a kolloid mérettartomány felső határáig juthatunk (0,5 μm)

Szilárd anyag

az aprítás szilárd anyagok esetén a részecské töréseivel, kopásával, a hibahelyek mentén történik

aprítási ellenállás:

- a mechanikai energiát egyre nehezebb a kisebb részecskékre koncentrálni
- a kritikus méret után az aprítással egyidejűleg a részecskék újabb összetapadása és rekristallizálása is végbemegy
- a legkisebb méret és az örlés energiaigénye is csökkenthető, ha az aggregáció lejtőerejét, a határfelületi energiát csökkentjük. ez elérhető megfelelő polaritási folyadékban való oldással (nedves örlés), felületaktív tenziddel vagy makromolekulák adagolásával



Folyadékok

nyíróerővel a makrocseppet deformáljuk, akkor esik szét önként kisebb cseppekre, ha a felülete nagyobb, mint a belőle keletkező kis cseppek összes felülete.

diszpergálhatunk ultrahanggal is a kavitációs hatás felhasználásával, de az ultrahangnak koaguláló hatása is lehet, ha a nagy és kis részecskék amplitúdójában különböznek és így nagy az ortokinetikus koagulálás

Suszpenzió készítése: oldalmény folyadékban való eloszlása, nedves örlés

füst: oldalmény levegőben való eloszlása

gádiszperzió: gáz pórnásos testek való átlátszóvá tétele

emulzió, suszpenzió: ultrahangos diszpergálás

köd: folyadékporlasztással

aeroszol: folyadékporlasztás, stabilitását kis részecskék esetében a perikinetikus, nagy részecskék esetében az ortokinetikus koagulálás szabja meg.

homogén rendszerből történő előállításhoz túltelített rendszert kell létrehozni. ennek lehetőségei:

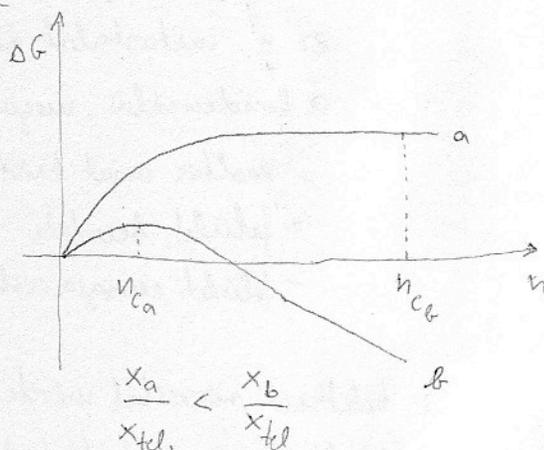
1. hőmérséklet csökkentésével az oldhatóság csökkentése
2. kémiai reakcióval az oldhatóság csökkentése
3. oldószer cserével az oldhatóság csökkentése

a göcöt n^b belső és n^s felületi molekula alkotja.

a halmazképződés során a szabadentalpiaváltozás egy darabig n^b , majd túltelítettséget ér el.

kiseb túltelítettségű a szabadentalpiaváltozás és a kritikus göcméret (n_c) is nagyobb [a görbe]

nagyobb túltelítettségűél kisebb a befektetendő energia, kisebb göcöknél kezdődik a kondenzáció [b görbe]



a kondenzációs két részfolyamat:

1. göcképződés (v_k) $k \cdot \left(\frac{c-L}{L}\right)$ (k . relatív túltelítettség)
2. göcnövekedés (v_n) $k' (c-L)$ (k' . abszolút túltelítettség)

a kétféle arány határozza meg a részecskeméretet

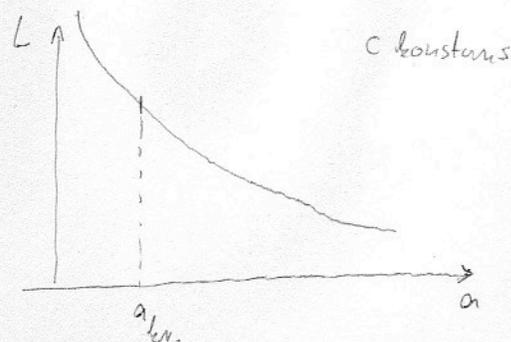
a részecskeméret reciproka D^0 diszperzitási hányados

$$D^0 = \frac{1}{a} \approx \frac{v_k}{v_n}$$

oldhatósági határ (L)

túltelített rendszerben növekedésre csak olyan méretű részecské képes, amelynek oldékonysága kisebb a túltelített oldat töménységénél.

a kritikus részecskeméret (göcméret) csökken a túltelített oldat növekedésével



kritikus részecskeméret alatt hiába lehetkeznek kolloidok, azok föl is oldódnak minél kisebbek a részecskék (a) annál nagyobb az oldékonyság (L)

a túltelítettség maximális értékét a kiindulási vegyület oldékonysága korlátozza, ha a keletkező vegyület oldékonysága nagy, kicsi a göcképződés sebessége és így nagy részecskék keletkeznek.

metastabil állapot:

a gócnak felülete van, ezért a gócépződés energiáját igényel.

hisz túltelítettségű a gócépződés sebessége kicsi, a túltelített állapot tartósan megmarad

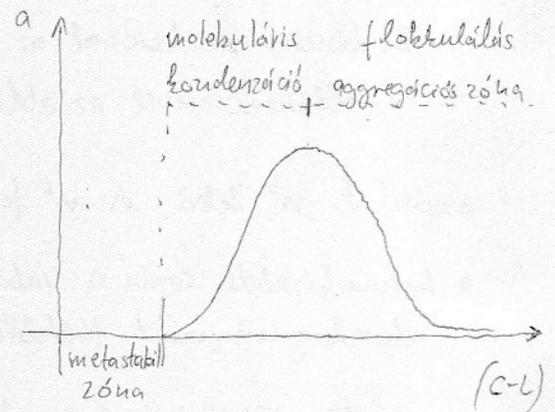
- ez a metastabil állapot

a kondenzációs megindításának lehetőségei:

- beoltás saját kristállyal
- felület bevitel
- felületi energia csökkentése segédanyagokkal

a keletkező részecskék mérete előbb nő, majd csökken a túltelítettség növekedésével.

a telítési méret elérése után aggregálódnak és a flokkulum belsejébe kerülő részecskék már nem növekedhetnek.

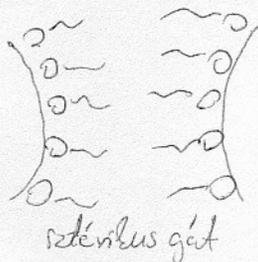
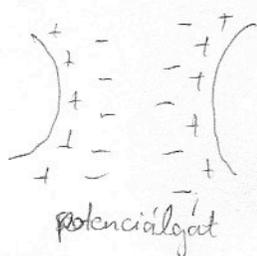


az állandósítás két lehetősége:

1. elektrosztatikus taszítás (töltéssel rendelkező határfelületek létrehozása) POTENCIÁLGÁT
2. szterikus gátolás (amfifil molekulák, ozmotikus taszítás) SZTERIKUS GÁT

a stabilizáláshoz a termodinamikai instabilitást kell kompenzálni, a részecské kinetikai állandóságát kell megnövelni.

a részecské aggregációját a felületen segédanyagokkal létrehozott potenciálját akadályozza, eredményeképpen nem érvényesülhet a van der Waals-vonzás



elektrolitoldatok:

víz közegű diszperziókban hozható létre potenciálját, ha van a részecskére specifikusan adszorbeálódó ion.

tenzidok:

ha a részecské és a közeg polaritási különbsége lehetővé teszi adszorpciójukat \rightarrow energiájukat

ionos tenzid + víz közeg \rightarrow elektrosztatikus gát

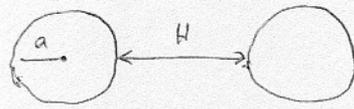
ionos tenzid + olaj közeg \rightarrow szterikus gát

nem ionos tenzid \rightarrow szterikus gát

makromolekulák

szterikus stabilizálunk, amelyet polielektrolitok esetén kiegészít a töltés is

1. DLVO-elmélet, potenciálgát:



- a részecskék közötti vonzások nagysága a részecskék és a közeg anyagi minőségétől függvény

- összetett Hamaker-állandóban a kölcsönhatási energiákat summázzhatjuk, így a vonzási potenciál:

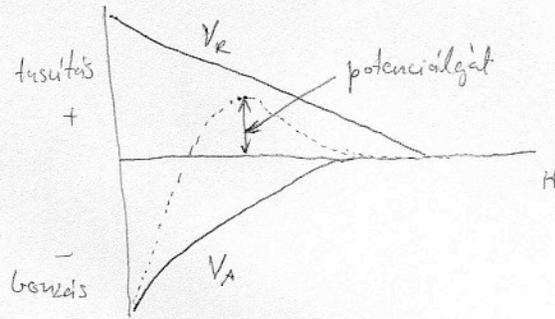
$$V_A = - \frac{A_{1,2} \cdot a}{12H}, \text{ ha } H \ll a$$

- az elektromos tiszításból származó tiszítási potenciál: $V_R = \frac{\Psi_0^2 \cdot \epsilon \cdot a}{2} \ln[1 + e^{-\chi H}]$

- az eredő potenciálgörbe: $V_T = V_A + V_R$

ha V_R nagy, akkor a potenciálgát is nagy, ha nagyobb, mint $10 kT$, akkor a rendszer stabil

ha a potenciálgát kicsi, minden ütközés flokkulációhoz vezet

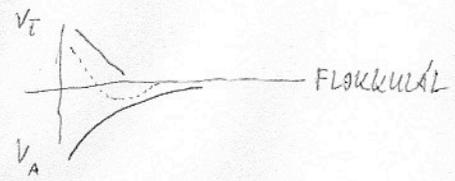
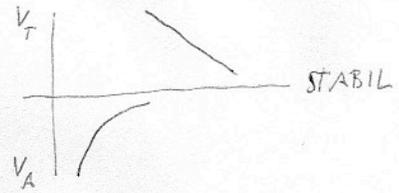


2. sztérikus gát

ha az adszorbeált tenzidek és makromolekulák az adszorpciós réteg kétszeresénél közelebb kerülnek, megkezdődik az adszorbeált molekulák láncainak egymásbaakadása.

a növekvő koncentráció osmotikus tiszítást vált ki

ha az adszorpciós rétegenél is közelebb kerülnek, a polimerréteg kompressziója is növeli a tiszítást

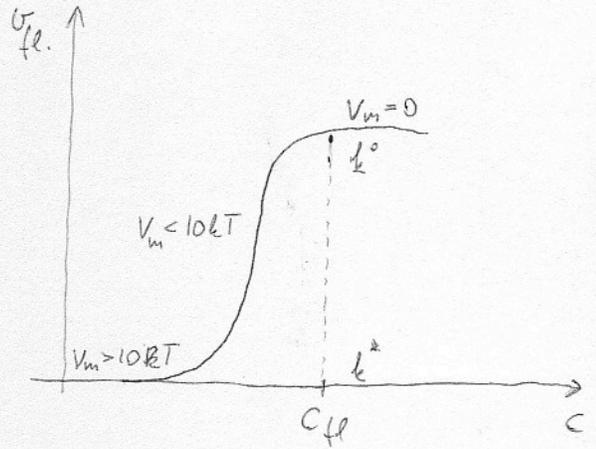


3. közeg molekulái

a közeg molekuláiból kialakuló adszorpciós rétegek is szerepe van, az adszorbeált tenzidek vagy makromolekulák által kötött oldószermolekulák növelik a felület solvációsóját

Kolloid diszperziók (szolok) flokkulálása

- ha elektromos kettősréteggel stabilizált szolok növekvő töménységben elektrolitot adunk, a flokkulálás megindul, ha $V_m < 10kT$ és a sebessége addig nő, amíg el nem éri $V_m = 0$ értéket ez az elektrolittöménység a flokkulálatható érték (c_{fl})



stabilitási tényező: $W = \frac{k^0}{k^2}$

Hardy-Schulze: a flokkulálatható érték a vegyjárték függvénye: $c_{fl} = f\left(\frac{1}{Z}\right)^6$

- semleges polimerrel vagy nemionos tenziddel védett szol akkor flokkulál, ha az adszorbeált polimer \ominus -állapotba jut, vagy a tenzidet kisorsol ez elérhető a polimer kicsapószereivel igen nagy elektrolittöménységgel a flokkulálás oka az adszorbeált rétegek közti vonzás föllepése

érzékvényítő hatás

ha a diszperzióhoz csak annyi semleges polimeret adunk, hogy a felület borítottsága 0,5 legyen, és a taszítópotencial nem nagy, a polimer hidrátotéseket hoz létre és a részecskék flokkulálnak

- a részecskék töltéselőjelével ellentétes polielektrolitoknak és ionos tenzideknek igen erős a flokkulálatható hatása, mert kömbösítik a felületi töltést. tenzidok esetén a felület hidrofóbabbá válik és a van der Waals vonzások megnövekednek

emulziók jellege

olaj a vízben o/v
víz az olajban v/o

- a jellegmeghatározás:
1. hígítással o/v vízzel, v/o olajjal hígítható
 2. sűrűzéssel poláros vagy apoláros szűrővel alkalmazás
 3. konduktivitással sózásra csak az o/v vezetőképesség nő

előállítás

az emulzió típusát a stabilizáló tenzid (emulgátor) HLB-értéke szabja meg.

- az lesz a közeg, amelyikben az emulgátor oldódik, vagy jobban oldódik, mert csak így alkultathat ki vastag adszorpciós réteg
- ha hasonlóan oldódik, a nagyobb térfogatú lesz a közeg
- a két fázist egyített diszpergáljuk

ha kése emulzióban az emulgátor HLB-értékét megváltoztatjuk, fázis inverzió következhet be és az emulzió átcsap

az emulzióban az ^{amfifil molekulák} ~~tenzid~~ a két határfelület közötti feszültséget csökkenti a tenzidok a koaleszcenciát gátolják

nagy stabilitású emulziókat keverékemulgátorokkal lehet előállítani → komplex emulzió

stabilitása

- eloszlási állandóság (sűrűségmiatti szétválás)

cseppméret, sűrűségkülönbség csökkentésével növelhető
közeg viszkozitásának növelésével növelhető

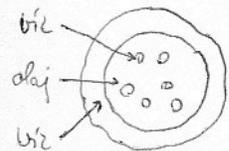
ha kicsi az eloszlási állandóság → krém képződik

- koaleszcencia állandóság (a cseppek összefolynak)

a határfelületek stabilizálásával növelhető

ha kicsi a koaleszcenciaállandóság → keletkező nagy cseppek elkülönülnek

ha mindkét fázisban közepesen nedvesedő szilárd anyagot viszünk a rendszerbe, az felgyűlik a fázishatáron és kohezív struktúrájával meggátolja az eloszlást és a koaleszcenciát



mikroemulziók

- nagy ionos tenzidőtöménységű (10-25 tömeg%) kis HLB-értékű anyagok jelenlétében olyan vegyes micellák képződnek, amelyek 40-60% apoláris anyagot képesek oldani. Lehetnek termodynamikailag stabil rendszerek.
- vízrel és apoláris folyadékkal is hígíthatók
- a cseppek nanométeresek, 50-80%-os csepp-töménység is előállítható
- a határfelületi feszültséget 3-4 nagyságrenddel csökkentik (az amfifil molekula mellett még határfelületi feszültséget csökkentő segédanyag \rightarrow sinerg hatás)

gyógyszerészeti emulziók

- többnyire a krémek (tömény emulziók) stabilizálására a fontos
- tenzidekből, makromolekulákból olyan vastag adszorpciós réteget alakítanak ki, amelynek rugalmas tulajdonsága is van és így alkalmas a koaleszcíálás megakadályozására
- stabilizálhatók szilárd anyagokkal is, ha azok mindkét folyadékban rosszul oldódnak és így a határfelületen székénusan gátolják a koaleszcíálást

habok

- gázdiszperziókból befőtőződés útján hab képződik, amely poliéderecs szerkezetű
- a gázbuborékokat folyadékfilamellák választják el és kötik össze ezzel stabilizálás a rendszert stabilizálja
destabilizálás a habzást gátolja (kis molekulás vízmű alkohol)
- szilárd anyagok eltávolítására használhatóak

28

Szuszpenziók tulajdonságai, adhéziós erők

a részecskeméret $1-100 \mu\text{m}$

- nagyobb, mint a kolloid, ezért ülepedik gravitációs térben
- az ülepedésben mindig vonzás hat (adszorpciós réteg csökkentheti)
- az ülepedés méretfüggő, a stabil szuszpenziók részecskéi egyedileg, méret szerint ülepednek, diffúz eloszlás jön létre
tömör üledék kicsi fajlagos adhéziós erővel \rightarrow nehezen földszható
- nem stabilizált szuszpenziók részecskéi már ülepedés közben aggregálódnak és laza tértöltés váz, strukturált szuszpenzió alakul ki.
ez könnyen földszható üledéket ad, amelyben nagy a részecskék közötti fajlagos adhéziós erő.

adhéziós erők

a részecskefelületet összetartó erők

- fajlagos adhéziós erő $F_a \quad \left[\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right]$

meghatározása Buzságló-módszerrel

1. dőlésszögmérés

csiszolt felületen a monoréteg megcsiszolásnál legkisebb réteg

$$A \cdot F_a = \frac{4}{3} a^3 \pi \Delta \rho \cdot g \cdot \sin \beta = m \cdot g \cdot \sin \beta$$

2. tárgylemezre ülepített üledék a felület megfordítása után leszakad, a legnagyobb tapadóra maradó részecskeméretből számítható

- annál kisebb, minél kisebb a részecske és közeg közötti polaritáskülönbség
minél nagyobb az elektrokinetikai potenciál

nem stabilizált suszpenziók részecskéi, ha a tömegsúly nem túl kicsi

- már ülepedés közben aggregálódnak
- laza, térszerű váz alakul ki, strukturált suszpenzió keletkezik

az ülepedés csak a váz tömörödéséből áll

strukturált suszpenzió kialakulását és határfelülettel való ülepedés jelzi.

az üledék:

- laza
- könnyen felbontható
- nagy a részecskék közötti fajlagos adhéziós erő

- tömörsége: $f\left(\frac{1}{F_a}\right)$ $F_a = f\left(\frac{1}{\text{nedvesítés}}; \frac{1}{\text{potenciál}}\right)$

a közeg összetételén keresztül szabályozható a részecskék közötti adhéziós erő

F_a porhalmozókat is jellemez, azok tekintetűk aeroszolokból keletkező üledékeként

a strukturált suszpenziók viszkozitása nagyobb, mint a szerkezet nélküliek
könnyebb homogénizálhatóság miatt gyógyszer-suszpenzióknak ez az alkalmas.

diszperz rendszer esetén:

részecske típusa
alakja
nagysága
eloszlása

ha mikrofázis, akkor a stabilizátor típusa

koherív rendszer esetén még:

vázrészecskék közötti vonzóerőspontum

váz térfogati töltje

váz szerkezete vagy a váz közötti hézagok alakja, méreteloszlása

ezekkel a tényezőkkel jellemezhetők a kolloid rendszerek, ezek szabják meg a koherív \rightleftharpoons diszperz átalakulási lehetőségét, a koherív rendszer stabilitását, rugalmas tulajdonságait.

a szerkezet fontos ^{jellemzője} ~~szerepe~~ a kémiai összetétele a közegnek

a közeg polaritása megszabja: - makromolekulák expansziós faktorát

- tenzidek c_H értékét

- felületek nedvesedőképességét

az elektrolitok és a pH megszabja: - elektromos kétfázisú szerkezetét

- disszociálható csoportok disszociációját

közeg és a részecske egymástól nagynyomású ultrahanggal választható el
az elválasztás megvalósítható preparatív ultracentrifugálással
elválasztás után lehetséges a részecske és közeg kémiai vizsgálata

31

Matroszkópos tulajdonságok függése a részecske típusától

ÜLEPEDÉS

kolloid diszperz rendszer \rightarrow nincs sedimentáció (ülepedés, lefölbodás)
dialízis után c állandó (átdiffundál a membránon)

ZAVAROSSÁG

okok: mikrofázis
nagy micella
globuláris protein
m. átmérő $> 10-50 \mu m$
és nagy a töreszám

FLOKULÁLTATÓ ÉRTÉK

mikrofázis 0,1 M
polimer }
tenzid } 1 M

STABILIZÁCIÓ

a közegben nem oldódó anyag feldoldódik \rightarrow micellák

BEPÁRLÁS

polimer oldat \rightleftharpoons hajlékony film
gél \rightarrow xerogél
 \leftarrow

32

Diszperz részecskék alakjának és nagyságának jellemzése

ALAK

- izometrikus
 - gömb
- anizometrikus
 - lemez
 - palack

NAGYSÁG megadása

- mikrofazis → részecskesugárral
- makromolekula → \bar{M} és átlagos láncvégtávolság és expansziós faktor
- micella → átmérő, asszociációs fok
- anizometria esetén → tengelyarány, ekvivalens rádiusz

nagyság megadása átlaggal:

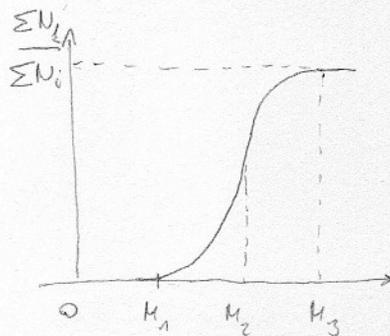
$$\bar{M}_n = \frac{\sum N_i M_i}{\sum N_i} \quad \text{szám szerinti átlag}$$

$$\bar{M}_w = \frac{\sum N_i M_i^2}{\sum N_i M_i} \quad \text{tömeggel súlyozott átlag}$$

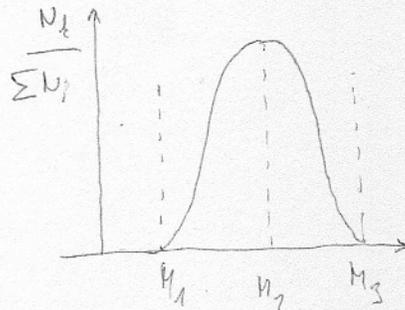
$$\frac{\bar{M}_w}{\bar{M}_n} = \begin{cases} \rightarrow \text{monodiszperz rendszerekben} = 1 \\ \rightarrow \text{polydiszperz rendszerekben} > 1 \end{cases}$$

polydiszperz rendszer részecskénagysága jellemezhető eloszlási görbével:

1. összeggörbe:



2. gyakorisági görbe:



33 | Diszpergált részecskék nagyságának és alakjának meghatározási elvei

a részecskék eloszlását befolyásoló tényezők: $F_{sed} - F_{diff}$

ha $F_{diff} \ll F_{sed} \rightarrow$ ülepedés

$$S \cdot c \cdot g = D \frac{dc}{dx}$$

$$F_{grav} = V(\rho - \rho_0)g = V \Delta \rho g$$

$$F_{súrl.} = f \frac{dx}{dt}$$

az egyenletes ülepedés sebessége: Stokes egyenlet: $v = \frac{dx}{dt} = \frac{2}{9} \cdot \frac{a^2 \cdot \Delta \rho \cdot g}{\eta_0}$

kis részecskék esetén, centrifugális erőterben g helyett $\sigma = \omega^2 x$

sedimentációs koefficiens:

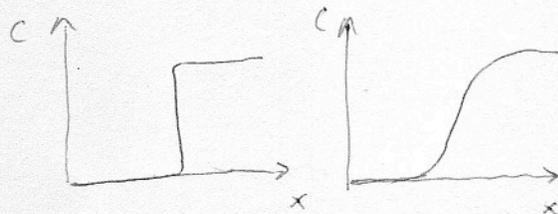
$$S = \frac{dx/dt}{\omega^2 x} = \frac{2a^2 \Delta \rho}{9 \cdot \eta_0} = \frac{M(1 - \bar{v} \rho_0) D}{RT} \quad [\text{Svedberg}]$$

ha $F_{sed} \ll F_{diff} \rightarrow$ diffúzió

1. $\frac{dc}{dx} \rightarrow 0 \quad D = \frac{kT}{6\pi\eta_0 r}$

a transzlációs mozgás $\frac{3}{2} kT \rightarrow \bar{x} = (2Dt)^{1/2}$

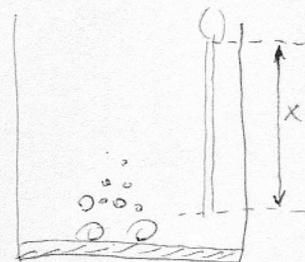
2. $\frac{dc}{dx} > 0 \quad \text{Fick: } m = -DA \frac{dc}{dx} t$



1. Andreasen módszer (Stokes egyenlet alapján)

ha $v = \frac{2}{9} \cdot \frac{a^2 \Delta \rho \cdot g}{\eta_0}$, akkor $v_i = \frac{x}{t_i}$

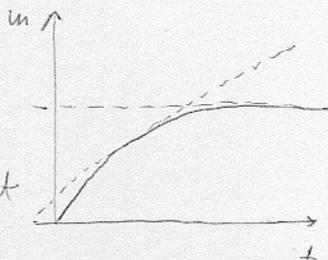
és $a_i = \left(\frac{9 \eta_0 \cdot v}{2 \Delta \rho g} \right)^{1/2}$



2. sedimentációs mérleg a kiülepedett részecskék tömegének időbeli változását méri

iránytárgenus megadja az éppen ülepedő részecskék sebességét

érintő tangensre az ülepedőnél nagyobb méretű részecskék nagyságát



3. Coulter-számláló részecskeszámláló határcsoma

Részecskeerősség meghatározás:

1. koncentrációgradienst hozunk létre réteggel vagy ultracentrifugálással és mérjük az időbeli változását

a töménységkülönbségek optikai különbséget jelentenek \rightarrow fényszórás mérés

a, réteggel:

t diffúziós idő után fényképezzük a koncentrációgradiens-távolság görbét, akkor a kezdeti töménységet ismerve diffúziós állandót számolhatunk

$$\frac{dc}{dx} = - \frac{c_0}{(\sqrt{4\pi Dt})^{1/2}} \exp(-x^2/4Dt)$$

b, ultracentrifugálással

a görbe maximumánál forgástengelytől való távolságából (a távolodás sebességéből) a Stokes-egyenlet alapján számolható az átlagos sugár

innen a rel. molekulatömeg:

$$M = \frac{R \cdot T \cdot s}{D(1 - \nu \rho)} \quad \nu - \text{fajtérfogat}$$

Tengelyáram - meghatározás:

a rotációs Brown-mozgás végezte során a sebességgradiens az anizotropikus részecskéket egy irányba való beállításra törekszik.

a beállítás annál kisebb sebességgradiensűl következik be, minél nagyobb a részecske tömege és tengelyáramja.

kehéztörés mérésével a részecske tömegéből számítható a tengelyáram

Halmazotz (örlemények, üledékek, pépek) részecskeméretelosításának meghatározási elvei

a mérésekhez stabil, üllpítés közben nem flokuláló suspenzióra van szükség.

az adhéziós erőt jelentősen csökkenteni, az aggregátumokat dezaggregálni kell

50 µm-nél nagyobb részecskék szitasorozaton kiönthetőek el

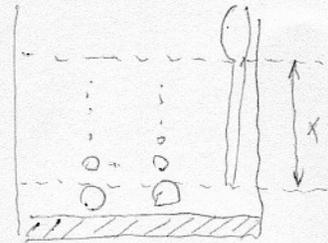
2-50 µm nehézségi erőterben való ülepités

0,2-2 µm (ultracentrifugálással való ülepités

1. Andreasen - módszer (Stokes egyenlet alapján)

$$v = \frac{2}{9} \cdot \frac{a^2 \cdot \Delta \rho \cdot g}{\eta_0} \quad , \quad v_i = \frac{x}{t_i}$$

$$\text{ahol } a_i = \left(\frac{g \cdot \eta_0 \cdot v}{2 \Delta \rho g} \right)^{1/2}$$



meghatározható a t_i időpontokhoz tartozó, a_i sugárú részecskékhez képest kisebb részecskék tömegszázát

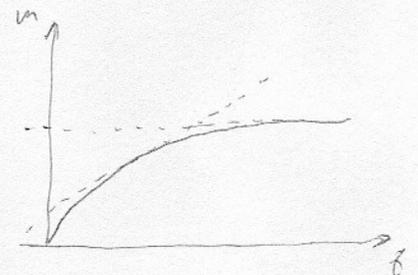
2. Sedimentációs mérleg

a suspenzióba merülő serpenyő a kiülepitett részecskék időbeli változását méri

üledék mennyisége (m) vs. t fv.

iránytangens megadja az éppen ülepedő részecskék sebességét $\Delta m / \Delta t$

az érintő tangensmetre megadja az ülepedőnél nagyobb méretű részecskék nagyságát



3. Coulter - számláló

1 µm-nél nagyobb részecskék kapillárison átaramoltatva növelik az ellenállást, így számunk és méretelosításuk mérhető

a diszperz rendszerbe beeső fény I_0 intenzitása áthaladás után I -re esőken, mert a fény

- elnyelődik: I_{ab} (szines rendszer)
- oldalirányban szóródik: I_{sz} (kolloid) méretfüggő fényerő
- visszaverődik: I_v ($2a > \lambda$ rendszerben)

$$I = I_0 - (I_{ab} + I_{sz} + I_v)$$

ha elhanyagolható vesszük az abszorpciót és a visszaverődést, a szóródásról is felírható a

Lambert-Beer törvény: $I = I_0 \cdot e^{-\tau \cdot l}$ ahol τ a turbiditási (zavarossági) koefficiens

ha $2a \approx \lambda/10 - \lambda/20$ (Rayleigh-tartomány)

és ha a magas koncentráció miatt nem lép fel interferencia a szórt fénysugarak között, azaz minden irányban azonos intenzitású a fénysórás azonos sűrűségben

$$\tau = K \cdot \frac{N_1 \cdot V^2}{\lambda^4}$$

K - optikai adatokat összegyűjtő áll.

N_1 - részecskeszám

V - részecskeátfolyás

λ - hullámhossz

oldatot eszék, vagy ha $2a \approx \lambda/10 - \lambda$ méretűek,

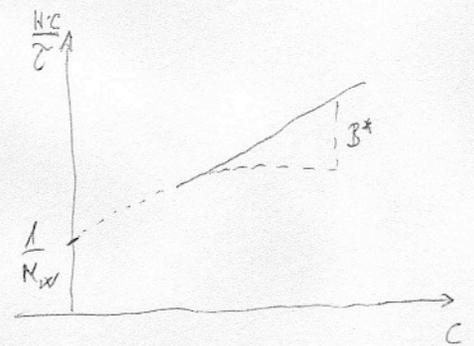
de a törésmutatójuk nem nagyon tér el a közegtől

Debye-egyenlet: - ideális oldatban: $\tau = H \cdot c \cdot M$

H optikai konstans

reális oldatban: $\frac{H \cdot c}{\tau} = \frac{1}{M} + 2B_2^* c + C^* \cdot c^2$

$$B_2^* = R \cdot T \cdot B_2$$



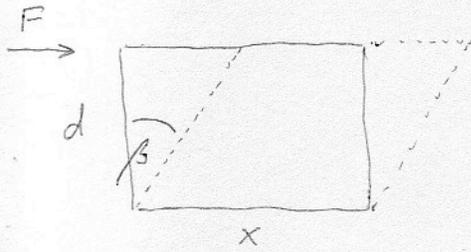
amásodik viszáleegyütthatóból kapjuk a részecskéhez kölcsönhatási energiáját

a szórt fény interferencia miatt gyengül, kivéve a 0° os irányt, ezért az

egyenletet 0 -ra extrapoláljuk

A reológiai tulajdonságok kapcsolata a szerkezettel

- a reológia kérdései:
1. erő hatására reverzibilis (rugalmas deformáció) vagy irreverzibilis (folyás) alakváltozás következhet-e be
 2. az alakváltozás függ-e az alkalmazott erő nagyságától
 3. milyen tényezőktől függ a rugalmassági modulus és a belső súrlódási együttható értéke



deformáció: $\gamma = \tan \beta = \frac{\Delta x}{d}$

nyírófeszültség: $\tau = \frac{\text{erő}}{\text{felület}} = \frac{F}{x^2}$

ideálisan rugalmas anyag esetében: $\tau = \mu \cdot \gamma$ (Hooke-tör.) μ - nyírómodulus
 Newtoni, ideálisan viszkózus folyadékok:

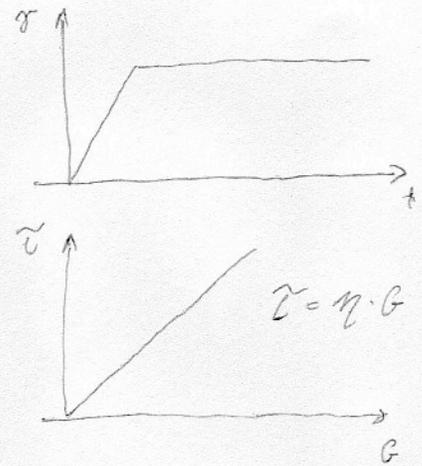
kis molekulájú anyagok

ha folyadékot feszítünk ki erővel, az egyes rétegek eltérő sebességgel mozdulnak el.

a sebességgradiens $G = \frac{\Delta v}{d} \left[\frac{1}{s} \right]$

fenntartásához a súrlódás miatt τ feszültség szükséges a rendszer deformációjára időfüggő és irreverzibilis

a sebességgradiens egyenesen arányos a feszültséggel, arányossági tényező η

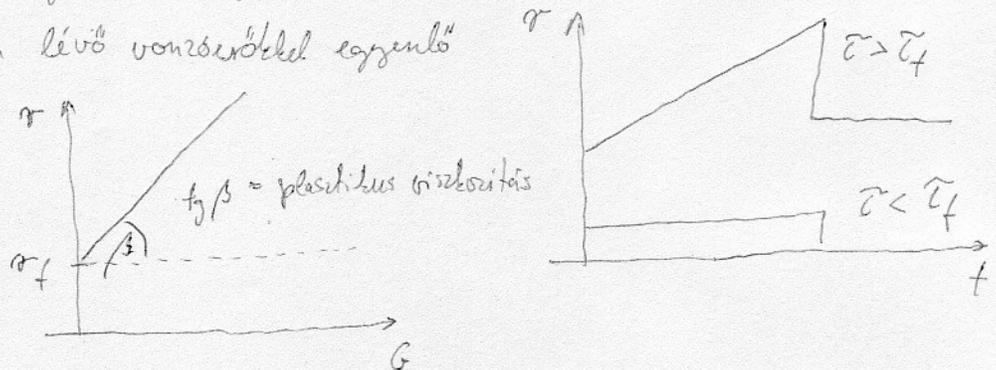


Bingham - testek, ideálisan plasztikus anyagok

választeret gyenge fizikai vonzóerővel

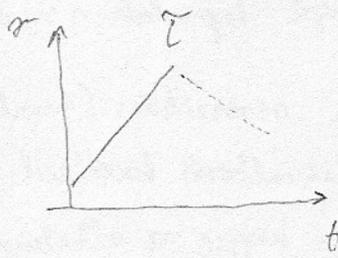
kis deformáció \rightarrow rugalmas nagy deformáció \rightarrow irreverzibilis

a folyás annál a nyírófeszültségnél (τ_f folyáshatár) indul meg, amely az egységnyi felületen lévő vonzóerővel egyenlő



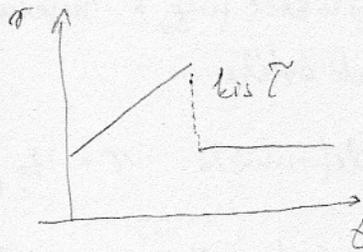
kaucsukrugalmas anyagok

időt igénylő deformáció



viskoelastikus anyagok

pl.: tojásfehérje

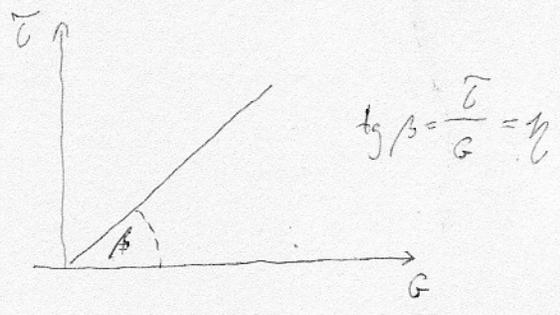


Kolloid rendszerek folyásgörbéi

a sebességgradiens és a nyírófeszültség közötti kapcsolat a folyásgörbe

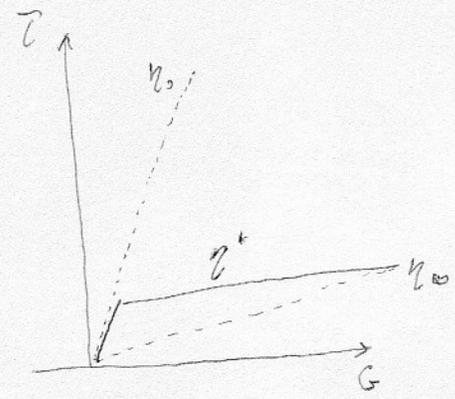
Kis töménység

a diszperz rendszerek Newtoniak
 a részecskék közötti kölcsönhatások nem érvényesülnek
 akkor érvényes, ha $\eta_{rel} < 1,2 \div 1,5$



Nagyobb töménység

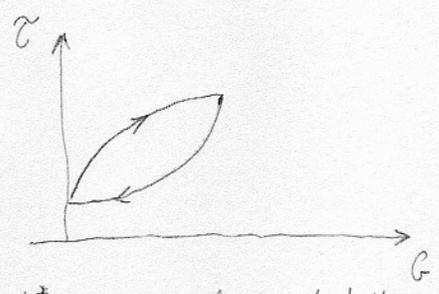
a kis nyírófeszültség nem képes megszüntetni az interpartikuláris kölcsönhatásokat
 a viszkozitás nyírófeszültségfüggő
 állandó a kis és nagy sebességgradiens-tartományban, a közbülsőben η^* látszólagos belső sűrűsödés



a kolloid rendszerekben az az oka, hogy a kialakult szerkezetek szétbomlanak, a makromolekulák megmozdulnak.

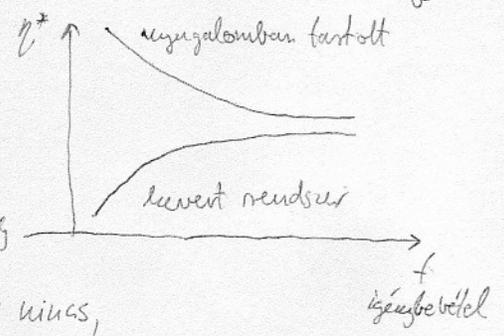
anizotropikus részecskék vonzóerőspektuma

a viszkozitás a nyírófeszültség és az idő függvénye (tixotropia)
 ha a töménység elég nagy, nyugalomban reverzibilis gél.
 jellemzése a hisztérisis-hurok területével



plastikus anyagok viszkozitása a látszólagos viszkozitás

mindig függ a sebességgradienstól, egyedül a plastikus viszkozitás állandó



fizikai tévháló esetén a folyás csak nagyobb nyírófeszültséggel indul meg
 kémiai tévháló esetén a viszkozitás tulajdonság megcsúszik, folyósításkor minős, nagyobb feszültséggel a gél romoszódik

Kolloid diszperzió rendszerek viszkozitásának függése a részecske típusától és a töménységtől

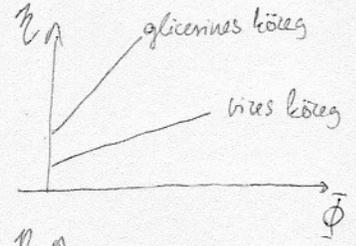
tömör gömb esetén

$\eta = \eta_0 (1 + k\Phi)$ $k = 2,5$ Φ - térfogati tört EINSTEIN-egyenlet

a kölcsönhatás idején csak a részecske felülete és a közeg között lép föl

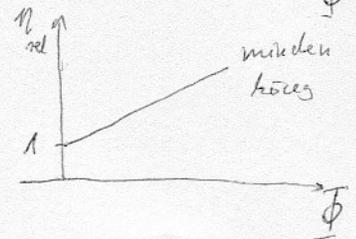
$\eta_{rel} = \frac{\eta}{\eta_0} = 1 + k\Phi$

$k\Phi = \eta_{rel} - 1 = \eta_{sp} = \frac{\eta - \eta_0}{\eta_0}$
↑
ajkagos viszkozitás



a térfogati tört: $\Phi = \frac{c}{\rho}$

$\frac{\eta_{sp}}{c} = k'$ a redukált viszkozitásból a konstans meghatározható



anizometrikus vagy duzzadt részecske; $k > 2,5$
globuláris felhíjék η_{sp} -a víz megkötésekor $3 \times$ -os

koncentrációfüggés

lineáris polimerek relatív viszkozitása a töménységtől, az oldószer és az oldott anyag minőségétől is függ

a végtelen hígításra extrapolált redukált viszkozitást határviszkozitásnak nevezzük

$[\eta] = \left[\frac{\eta_{sp}}{c} \right]_{c \rightarrow 0}$

a határviszkozitás már lineáris polimerek esetén is független a töménységtől

a határviszkozitásból számítható a láncpolimerek rel. molekulatömege $[\eta] = KM^a$

ahol K konstans a közeg és a polimer minőségének függvénye

meghatározható az átlagos uégzertes láncvégtávolság:

$(\bar{l}^2)^{3/2} = \frac{[\eta]M}{\varphi} \text{ (cm}^3\text{)} \quad \varphi = 2,8 \cdot 10^{23}$

