

10. MÁGNESES FOLYADÉK EL ÁLLÍTÁSA, JELLEMZÉSE

10.1. A gyakorlat célja

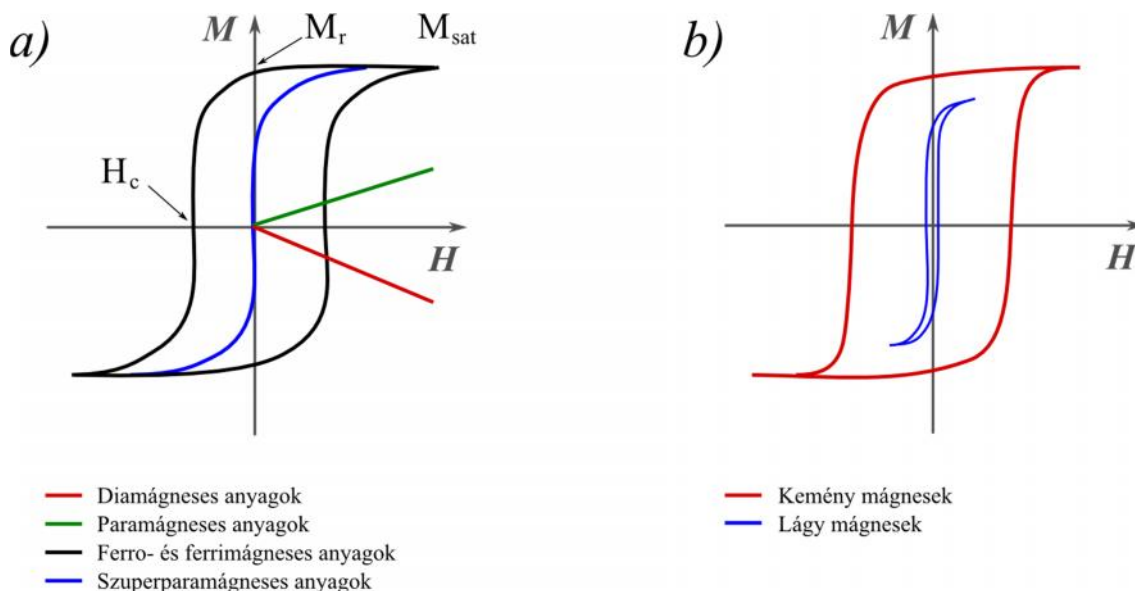
Elektrosztatikusan stabilizált vizes közeg mágneses szol el állítása.

„Az elektromos kett sréteg jellemzése a zeta-potenciál meghatározásával” nem része jelenleg a gyakorlatnak!

10.2. Szilárd anyagok mágnessége

A mágnesség jelenségét már az ókori Kínában ismerték és már ekkor felhasználták irányt kben. Minden anyag rendelkezik valamilyen mágneses tulajdonsággal az atomjaikban lev elektronok mozgásának köszönhet en. Az atom mágneses momentumának két összetev je van a spinb l ered , és a mag körül kering elektronokból ered mágneses momentum.

A *diamágneses anyagok* jellegzetes tulajdonsága, hogy bennük a spin- és a pályamomentum semlegesíti egymást, ezért normális állapotukban nincs kifelé irányuló mágneses momentumuk. A legtöbb nemfémes szilárd test (pl. üveg), valamint pl. a réz, arany, ezüst, cink, higany, germánium és ólom diamágneses. Mágneses térben a kisebb térer irányába mozdulnak. Mágnesezettségi görbéjük jó közelítéssel lineáris. A *paramágneses anyagokban* a kétféle mágneses momentum (a spin és a pályamomentum) nem semlegesíti egymást teljesen, így az atomoknak saját mágneses momentumuk van, azaz mágneses dipólusként viselkednek. A paramágneses próbatest önmagában mégsem mutat mágneses tulajdonságokat, mert az atomok mágneses nyomatékai statisztikailag rendezetlen irányokba mutatnak. Paramágneses anyagok pl.: az oxigén, a nátrium, a kálium, az alumínium, a szilícium, az ón és a mangán. Küls mágneses térben a nagyobb mágneses térer irányába tolódnak el. Mágnesezettségi görbéjük jó közelítéssel szintén lineáris (10.2.1. ábra).

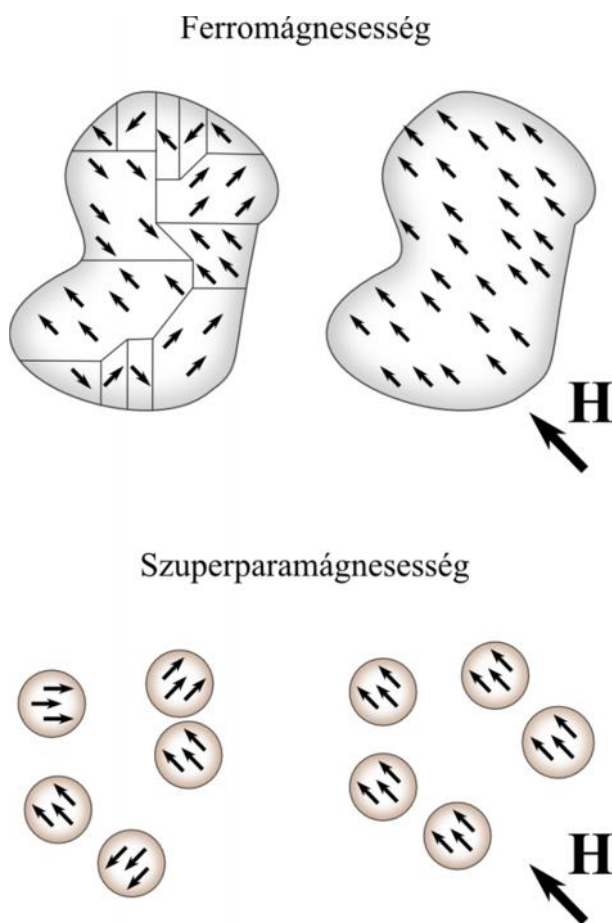


10.2.1. ábra: a) Mágnesezettség változása mágneses térer sség függvényében, b) Kemény- és lágy mágnesek mágnesezettségi görbéje

Mágneseknek a ferromágneses és ferrimágneses szerkezet , általában szilárd halmazállapotú állandó mágneseket nevezünk. A *ferromágnesség* jelenségénél a paramágnességhez hasonlóan a spint l ered mágneses momentum van túlsúlyban, vagyis minden atomnak van gyenge mágneses momentuma. Itt azonban az atomok mágnessége már a szomszédos atomokat is bizonyos mértékben orientálja, ekkor jönnek létre a kis mágneses szigetek, a domének, ahol az egyes atomok mágneses

er vonalai párhuzamosak. Makroszkópiusan ez nem érzékelhető, mert a domének momentumai statisztikusan kiegyenlítik egymást. Külső tér a mágneses szigetek er vonalait egységesen orientálhatja, ezáltal er s, maradandó mágneses jön létre. Minden ferromágneses anyagra van egy H_c mérséklet – a Curie H_c mérséklet –, ahol a ferromágnesesség megszűnik. Ferromágneses tulajdonságot mutat a vas, a nikkél, a kobalt és ötvözeteik. Néhány ritkaföldfém, pl.: $Nd_2Fe_{14}B$. Ferrimágneses anyagokban a szomszédos fémionok egyirányú momentumát többnyire nagyméretű oxigénionok gyengítik, de kialakul kismértékű eredő momentum. A ferrimágnesesség egy speciális esete az *antiferromágnesesség*, amikor az ellentétes mágneses momentumok nagysága azonos, így semlegesítik egymást. Az antiferromágneses anyagok nem mágnesesíthetők az ún. Néel H_c mérséklet alatt. Antiferromágneses a MnO , a FeO , a NiO , a $FeCl_2$ és számos egyéb vegyület. A kolloid méretű részecskéket tartalmazó mágneses folyadék részecskéi ferro-, vagy ferrimágneses anyagok, ahol a részecskék kisebbek, mint a doménméret. Mágneses er tér hiányában ezek a rendszerek a paramágneses anyagokhoz hasonlóan nem mutatnak mágneses tulajdonságokat, ám mágneses térben a domének könnyen rendezhetők (10.2.2. ábra). Ezen rendszereknél gyakorlatilag nulla a mágneses hiszterézis. Az ilyen viselkedést *szuper-paramágnesességnek* nevezzük.

A sokféle irányú domén rendeződése során az összegzett eredő mágnesezettség nagy külső térben telítődik (M_{sat} telítési mágnesezettség), ill. nulla er térnél is visszamarad bizonyos mértékű mágnesezettség, a remanencia (M_r), amely az ellenkező irányú koercitív er térnél (H_c) nullázódik (10.2.1a. ábra). A mágnesezési folyamat hiszterézis-függvénye a mágneses alkalmazásokhoz ad fontos információkat. A lágy mágnesek könnyen mágnesesíthetők, de gyorsan el is veszítik a mágnességüket, kis koercitív er jellemző (transzformátor). A kemény mágnesek esetén nagy a telítési mágnesezettség és jelentős a visszamaradó mágnesség is, nagy koercitív er jellemzőket (állandó mágnesek), ez látható az 10.2.1b. ábrán.



10.2.2. ábra: Szilárd ferromágneses polikristály. A doméneken belül a mágneses momentumok egyirányúba mutatnak. A momentumok mágneses térben rendeződnek. A szuper-paramágneses részecskék olyan ferro-, vagy ferrimágneses anyagok, ahol a részecskeméret kisebb, mint a mágneses

domén mérete. A részecskék nagyon könnyen beállnak a tér irányába. A mágneses hiszterézis gyakorlatilag nulla.

10.3. Mágneses folyadékok

Az iparban már a múlt század elején szívesen alkalmazták volna folyékony mágneses anyagot. Azonban a szilárd mágneses anyagok elbb elérik a Curie hőmérsékletüket, azaz elvesztik mágneses tulajdonságaikat, minthogy megolvadnának. A mágneses szolok, ferrofluidok olyan kolloid rendszerek, ahol a kolloid mérettartományba es szilárd, mágneses tulajdonságú részecskék vannak elosztatva és stabilizálva folyadék közegben. A kolloid mérettartományba es részecskék speciális mágneses tulajdonságokkal rendelkeznek és a rendszer azt a látszatot kelti, mintha a folyadék mutatna mágneses tulajdonságokat, pl. ezek a folyadékok elmozdulnak inhomogén mágneses térben, ily módon összekapcsolva egy rendszeren belül a folyékony és a mágneses tulajdonságokat. Ha a mágneses tér elég erős és a mágneses folyadék elég tömény, akkor a folyadék „megszilárdul”, a mágneses tér megszűnése után a rendszer újra folyadékként viselkedik.

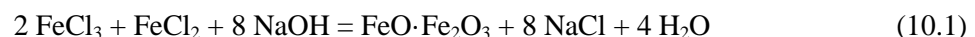
Mágneses folyadékokat az 1960-as években állították elő először a NASA laboratóriumaiban, űrszondákban a forgó tengelyek kenésénél használták. Ma számítógépes lemez meghajtók tömítéseinél alkalmazzák. Hangfalakban az elektromos tekercs hőmérsékletére és a nemkívánatos rezgések csillapítására használják. Extrém módon és nagy mennyiségben kerül felhasználásra a mágneses folyadék dél-afrikai gyémántbányákban a gyémánt és a homok szétválasztására, kihasználva, hogy mágneses térrel változtatható a folyadék viszkozitása. Orvosi alkalmazásai között megtalálhatjuk a mesterséges szívek hajtását, valamint az MRI kontrasztanyagot. Speciális nyomtatási feladatokat is elláthat, pl. az újabb kiadású amerikai dollárokat vonzza a mágnes, köszönhetően annak, hogy egyes karaktereket mágneses folyadékból készült festékkel nyomtatnak.

10.4. Mágneses folyadékok el állítása

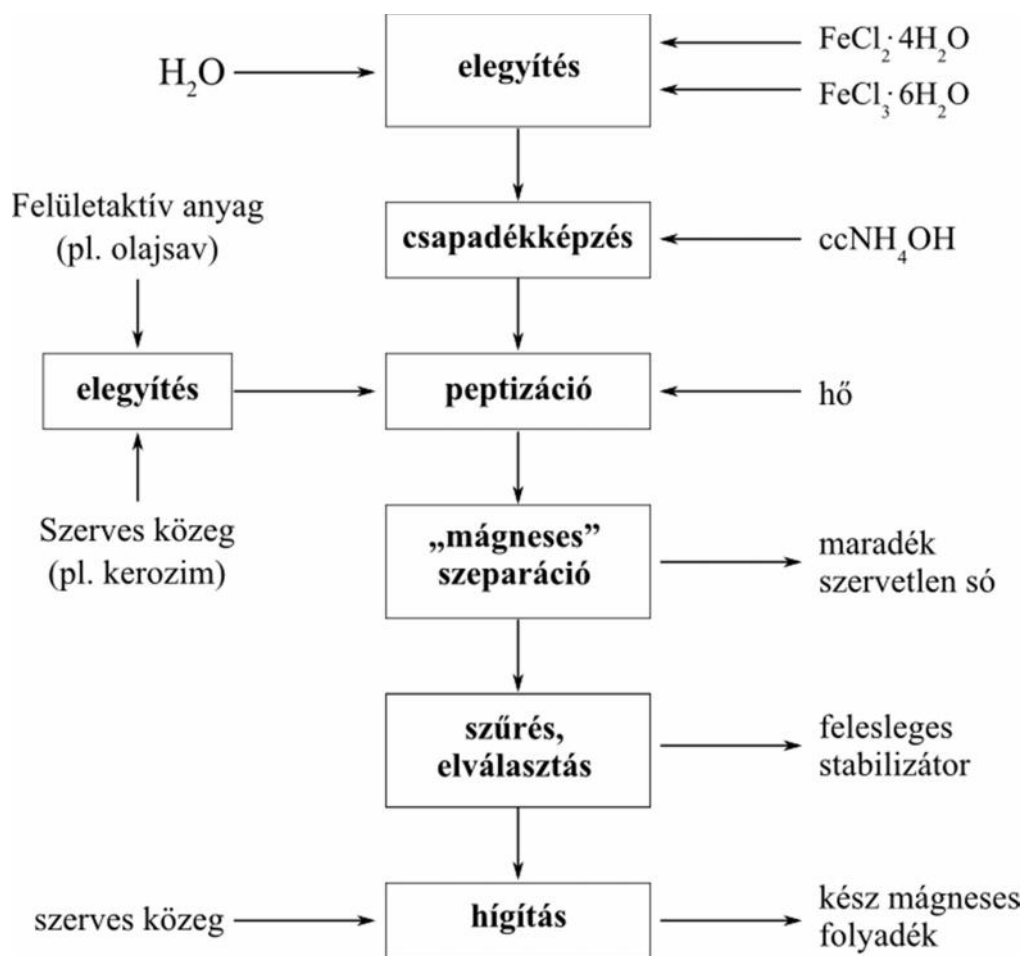
Ahhoz, hogy stabilis mágneses folyadékot állíthassunk elő, a részecskeméretet 10 nm körüli értékre kell beállítani (ezzel a mágneses doménméret alatt is maradunk, így a mágneses folyadék szuperparamágneses viselkedést mutat). Szobahőmérsékleten az ebbe a tartományba es kolloid részecske termikus energiája nagyságrendileg egybeesik a gravitációs tér és a mágneses vonzás hatásával, $\sim 4 \times 10^{-21}$ J.

Mágneses folyadékokat alapvetően két módon állíthatunk elő. Kezdetben a mágneses folyadékokat méretcsökkentéssel állították elő. Mikronos nagyságrendbe es magnetit szemcséket kerültek golyósmalomban heteken keresztül, hogy elérjék a kívánt méretet. A nedvesítés során adagolták a rendszerhez a szükséges felületaktív anyagot (~ 10 V/V%) és a folyadék közeget. Ily módon nagyjából 20 V/V%-os szolokot tudtak elő állítani.

Gyakoribb módja a mágneses folyadékok előállításának, ha molekuláris szinten kiindulva építkezünk. A mágneses folyadékok előállítása leggyakrabban csapadékképződéses reakcióban történik. Két lépésre osztható fel a szintézis. Az első lépésben előállítjuk a mágneses nanorészecskéket a hordozó folyadékban. Fontos, hogy a mágneses részecskék kémiaiilag stabilak legyenek a hordozó közegben. A mágneses nanorészecske általában magnetit, melyet vas(II) és vas(III) kémiai csapadékképződéses reakciójában állíthatunk elő (10.1. egyenlet).

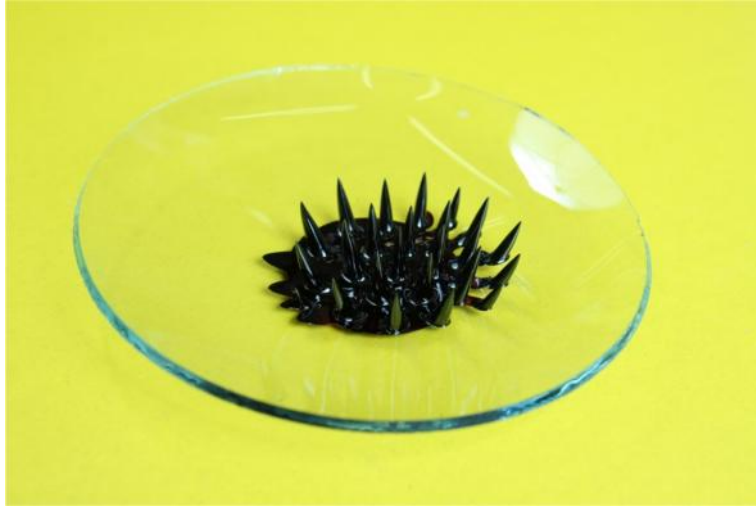


A második lépés a stabilizálás. A peptizáció, a kolloid szol előállítása, melynek során felületaktív anyagok segítségével diszpergáljuk a részecskéket a közegben. A felületaktív anyagok adszorbeálódnak a részecskék felületén, melynek hatására a részecskék között nettó taszítás jön létre. A szterikus és/vagy elektrosztatikus taszító erők megakadályozzák a részecskék későbbi aggregációját. A peptizáció során történhet meg a vizes fázis cseréje, valamilyen organikus közegre (pl. kerozin, lenolaj). A leggyakrabban alkalmazott stabilizálószer a sósav, a tetrametil-ammónium-hidroxid $[(\text{CH}_3)_4\text{NOH}]$, a tetrabutil-ammónium-hidroxid, a citromsav, valamint az olajsav (10.4.1. ábra). Mára már megvásárolhatók víz, olaj, vagy folyékony fém közeg mágneses folyadékok is, a kulcs a megfelelő felületaktív anyag kiválasztása.



10.4.1. ábra: Mágneses folyadék előállítása kémiai csapadékképzéssel. Egy általános séma szerves közeg mágneses folyadék előállítására. Vizes közeg mágneses folyadékot a gyakorlat során állítunk elő.

A mágneses folyadékok egyik érdekes tulajdonsága, a mágneses felületi instabilitás jelensége (10.4.2. ábra). Ha egy jó minőségű mágneses folyadék mágneses térrel lép kapcsolatba, a felületén tüskék jelennek meg, melyek jellegzetes hexagonális mintázatot vesznek fel. A mágneses folyadék felülete mindig hullámos, amennyiben a mágneses tér elegendően nagy ahhoz, hogy legyőzze a felületi feszültséget és a gravitációt, akkor megjelennek a tüskék. Ezek mérete a mágneses tér növekedésével. Túl nagy mágneses térben azonban a részecskék kiülepednek.

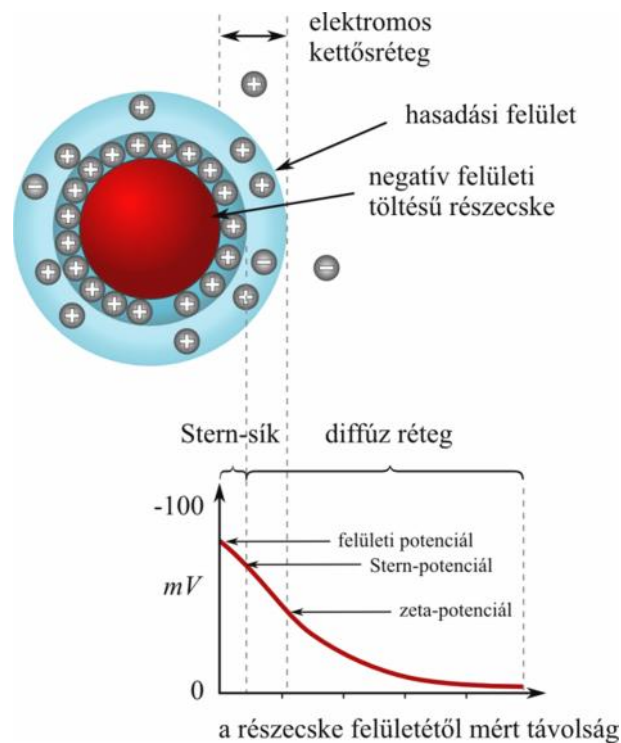


10.4.2. ábra: A mágneses folyadék felületi instabilitása. A mágneses folyadék alatt egy erős mágnes található.

10.5. Felületi töltések, zeta-potenciál kialakulása

Kolloid rendszerekben a részecskék poláris közegben felületi töltésre tesznek szert. Ez a töltés hat a poláris közegben lévő szomszédos ionok eloszlására. Az ellentétes töltésű ionok a felület közelébe vonzódnak, míg az úgynevezett ko-ionok – a felület eredeti töltésével egyező töltésű ionok – eltaszítódnak onnan. Ez a hőmozgás okozta keveredéssel együtt az elektromos kettős réteg kialakulásához vezet.

Az elektromos kettős rétegnek két tartományát különböztetjük meg: a belső tartomány tartalmazza az adszorbeált ionokat, a diffúz tartományban az elektromos térnek és a statisztikus hőmozgásnak megfelelően eloszló ionok vannak. Az ionok véges mérete megszabja a kettős réteg diffúz részének belső határvonalát, mivel az ionok középpontja nem közelítheti meg a felszínt a hidratált ion sugaránál jobban. Stern 1924-ben olyan modellt javasolt, amelyben a kettős réteget olyan síkkal – a Stern-síkkal – választja ketté, amelynek a felszíntől való távolsága a hidratált ion sugarával egyezik meg (10.5. ábra). A modell a specifikusan adszorbeálódott ionokat is tekintetbe veszi, melyeket elektrosztatikus és/vagy van der Waals erő a hőmozgást meghaladó erősséggel kötnek a felülethez. A specifikusan adszorbeálódott ionok középpontjai a Stern-rétegben (vagyis a felszín és a Stern-sík között) helyezkednek el. A Stern-rétegben a potenciál a felületi potenciálról (ψ_0) a Stern-potenciálra (ψ_d) változik.



10.5. ábra: Az elektrosztatikus potenciál változása a felülettől való távolság függvényében

A Stern-potenciált elektrokinetikai mérésekből lehet becsülni. Az elektrokinetikai tulajdonságok a töltéssel rendelkező felület és az elektrolitoldat között lévő hasadási felületnél fellépő potenciáltól függenek. Ezt a potenciált elektrokinetikai vagy zeta-potenciálnak (ζ -potenciál) nevezzük.

10.5.1. Az elektroforetikus mozgékonyság és a zeta-potenciál

A részecskék oldatbeli sebessége mérhető mennyiség, ebből a mozgékonyságot és a zeta-potenciált csak számítani tudjuk. A mozgékonyság számítása egyszerű és egyértelmű, viszont az összefüggés a zeta-potenciál és a mozgékonyság között már a választott elméleti modelltől függ. A mozgékonyság és a zeta-potenciál közötti összefüggés általános alakját a 10.2. egyenlet adja meg:

$$u_E = \frac{2\epsilon f(|\zeta|)}{3\eta} \quad (10.2)$$

ahol u_E : mozgékonyság (mobilitás), az egységnyi potenciálesésre vonatkoztatott elmozdulási sebesség ($\frac{m/s}{V/m}$, gyakori egysége: „mobility unit” (M.U.) = $\frac{m/s}{V/cm}$), ϵ : a közeg relatív permittivitása (dimenziómentes), η : a közeg viszkozitása (Pas, gyakori egysége: cPoise = mPas), ζ : zeta-potenciál (mV), $f(|\zeta|)$ a részecske és a kettősréteg tulajdonságaitól függő paraméter (mértékegysége dimenzióanalízissel kiszámolható). A továbbiakban ismertetett esetekben a 10.2. egyenlet alkalmazásakor a zeta-potenciál mV-ban adódik a mozgékonyság M.U.-ban történő behelyettesítésekor.

A zeta-potenciál meghatározására két klasszikus elméleti modell ismert: a Smoluchowski- és a Hückel-egyenlet. Görbült felületek esetén a kettősréteg alakját a „ κa ” dimenziómentes mennyiséggel írhatjuk le, értéke a részecske sugarának (a) és a kettősréteg vastagságának (κ^{-1}) hányadosa. Vízben vagy más, erős poláris közegben, viszonylag nagyméretű ($a > 200$ nm) részecskék esetén „ κa ” kicsi, a töltött részecskét ponttöltésnek tekinthetjük. Ebben az esetben $f(\kappa a) = 1,5$, amely a Smoluchowski-egyenlethez vezet (10.3. egyenlet). Kolloid oldatokra általában ez az összefüggés alkalmazható.

$$u_E = \frac{V\zeta}{\gamma} \quad (10.3)$$

Kevésbé poláris közegben, kis részecskék esetén „ka” nagy számértéket vesz fel. Ebben a határesetben $f(\kappa) = 1,0$ -nek tekinthet, a Hückel-összefüggéshez jutunk (10.4. egyenlet)

$$u_E = \frac{2V\zeta}{3\gamma} \quad (10.4)$$

A mérhető zeta-potenciál alapvetően meghatározhatja a szol vagy emulzió tulajdonságait. A nagy abszolút értékű zeta-potenciál biztosítja, hogy a diszperzióban a részecskék között elég nagy tasztító erő keletkezzen, így meggátolva az aggregációt, a részecskék összetapadását. Így – ahhoz, hogy biztosan stabil diszperziót állítsunk elő – a rendszer összetételét, elektrolit koncentrációját úgy kell szabályozni, hogy a zeta-potenciál abszolút értéke (akár pozitív, akár negatív tartományban) legalább 25 mV legyen.

10.5.2. A mobilitás mérésének elvi alapjai

A zeta-potenciál méréshez a Doppler-effektuson alapuló elektroforézis módszert használjuk fel. Az elektroforézis során az oldatbeli, töltéssel rendelkező részecskéket elektromos térben mozgatjuk, melynek eredményeként a kolloid részecskék adszorpciós rétegük egy részével az egyik pólus felé vándorolnak. Az így számítható felületi töltést tekintjük ún. nettó töltésnek. A részecskék sebességét fényszórás segítségével mérjük, mely során a fény frekvenciájának kismértékű eltolódásából következtethetünk a részecskék sebességére (Doppler-effektus). Ezen módszer érzékenysége korlátozott $0,5 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{Vs}$ értékű mobilitásra, és ennél alacsonyabb mobilitás esetén nem használható megfelelő pontossággal¹. A kolloid tartományban ennél kisebb mobilitású részecskék is előfordulnak, ezért ezek mérésére érzékenyebb módszerre van szükségünk: ez a Zeta PALS (Phase Analysis Light Scattering) módszer, mely abban különbözik a hagyományos elektroforézises méréstől, hogy lényegében a fény fáziseltolódását mérjük, mely arányos a részecskék elmozdulásával. A módszer érzékenysége akár három nagyságrenddel nagyobb, így nagyobb részecskék zeta-potenciálját is pontosan mérhetjük vele. További előnye, hogy kisebb elektromos tér alkalmazása is elegendő, így a minta felmelegedésétől adódó problémák is elkerülhetők. A gyakorlat során ezt a mérési módszert fogjuk alkalmazni.

10.6. Laboratóriumi gyakorlat

10.6.1. Vizes mágneses folyadék el állítása

Szükséges oldatok:

2 M FeCl₂ [25 ml; M(FeCl₂·4H₂O) = 198,8 g/mol]

1 M FeCl₃ [50 ml; M(FeCl₃·6H₂O) = 270,3 g/mol]

0,7 M vizes NH₄OH oldat (500 ml, 24 ml 25%-os NH₃ oldat vízben)

25% -os (CH₃)₄NOH, vizes oldat

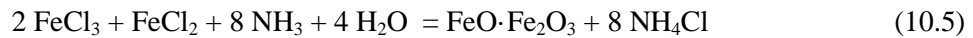
Munkavédelem:

Köpeny, véd szemüveg és véd keszty használata kötelező a preparáció során. A sósav és az ammónia maró hatású vegyszerek. A FeCl₂ és a FeCl₃ oldatok mérgezők. (CH₃)₄NOH erős bázis, azaz szintén maró hatású, valamint gyúlékony. Ha mágneses folyadék kifolyik, mindent beszennyez és

¹ A korlátozott frekvencia felbontásból és a mintában végbemenő hirtelen mozgásból eredő háttérmozgásokból adódóan.

nehezen távolítható el minden felületről, különösen a mágneses felületről. A mágneses folyadékot igen erős Neodímium mágnesekkel² vizsgáljuk, ezek használatakor legyünk körültekintőek.

Elállítás (10.5. egyenlet):



Készítsük el a 2M-os FeCl₂ törzsoldatot, a többi oldatot a mérésvezető a gyakorlat előtt elkészítette. 100 ml-es Erlenmeyer lombikba bemérünk 1,0 ml 2 M-os FeCl₂ oldatot, majd keverés mellett 4,0 ml 1 M-os FeCl₃ oldatot adunk hozzá. 50 ml-es buretta segítségével cseppenként adjuk a folyamatosan és intenzíven kevert elegyhez az 50 ml 0,7 M-os vizes NH₃ oldatot. A lassú csepegtetés létfontosságú a sikeres szintézishez.

A magnetit csapadék formájában válik ki. Az NH₃ oldat hozzáadása után állítsuk le a kevertetést, hagyjuk ülepedni a csapadékot 5-10 percig, majd öntsük le a felülúszót. Dekantálás után, kb. 15-20 ml oldatnak kell megmaradnia. Erős mágnes segítségével távolítsuk el a keverőmagot: a mágnes segítségével emeljük ki a keverőmagot a folyadékból, majd görgessük ide-oda az üveg falán, így módon a keverőmagra tapadt mágneses csapadék jól eltávolítható. Keverjük fel alaposan a szuszpenziót. Válasszuk ketté a szuszpenziót és centrifugáljuk le (1 perc, 1000 rpm). Ismét távolítsuk el dekantálással a felülúszót. A sötét iszapszerű csapadék a centrifugacsövek alján a magnetit.

4-4 ml 25%-os vizes (CH₃)₄NOH oldatot³ adjunk a csapadékhoz és szuszpendáljuk fel a csapadékot egy üvegbottal segítségével. A felesleges ammónia egy részét eltávolíthatjuk, ha vegyifülke alatt 40 °C-os ultrahangos kádba helyezzük a mintát, és 10 percig rázatjuk. Ismételt centrifugálás (3 perc, 2500 rpm) után a felülúszót eltávolítjuk, úgy hogy a centrifugacső aljára mágneset helyezünk. Mintáinkhoz 4-4 ml ioncserélt desztillált vizet adunk és ismét lecentrifugáljuk (3 perc, 2500 rpm). Mágnes segítségével ismét eltávolítjuk a felülúszót, de ezt már a zeta-potenciál mérésre félretesszük.

Feladat: mágnes segítségével ellenőrizzük a mágneses instabilitás jelenségét! Befolyásolta-e a hozzáadott (CH₃)₄NOH mennyisége a mágneses instabilitás jelenségét?

10.6.2. Töltött részecskék zeta – potenciáljának meghatározása

A gyakorlat során mágneses szolokban fogjuk mérni a részecskék elektroforetikus mobilitását, illetve meghatározni zeta-potenciálját Brookhaven ZetaPALS készülék segítségével. A mérés célja, hogy összehasonlítsuk a különböző preparatív módszerekkel előállított szolok felületi töltését, illetve a zeta-potenciáljuk mérésével is igazoljuk stabilitásukat.

A mérés menete:

1. A készüléket ZetaPALS módban a gyakorlat elején bekapcsoljuk. A bemelegedés mintegy 15 percet igényel.
2. Beállítjuk a mérési paramétereket:
 - a mérési ciklusszámot 10-re állítjuk (egy futtatáson belül ennyi mérési görbét átlagol a készülék),
 - 5 futtatást állítunk be egy méréshez (a zeta-potenciál átlagát és szórását 5 mérési adatból fogja számolni a program),
 - a mérés során kolloid rendszert mérünk, melyre a Smoluchowski-modell érvényes, ezért ezt a kiértékelési módot választjuk.
3. A mérés nevéként Std_YYMMDD(dátum) formátumot használunk. Az elektródot desztillált vízzel öblítjük, majd megmérjük a standard oldat zeta-potenciálját. (Várható érték: -40 mV).

² A neodímium-vas-bór típusú mágnes azon ritkaföldfém alapú mágnesek egyike, amely minden eddigi mágnes koercitív erejét és energiaszorzatát meghaladja (a remanencia > 1000 mT; egy hagyományos mágnesnél a remanencia max. 400 mT). Mint porkohászati termék, a ritkaföldfém alapú mágnesek újabb generációját képviseli. Stabil mágnes, kevésbé érzékeny a külső mágneses terekre, azonban a korrózióra hajlamos és magas hőmérséklet esetén elveszíti mágnesességét.

³ A társaság fele 4-4 ml (CH₃)₄NOH oldatot adjon a csapadékhoz, a többiek a mérésvezető külön utasítása szerint.

4. Elkészítjük a méréshez a mintákat. Ehhez a tetrametil-ammónium-hidroxiddal stabilizált, dekantált folyadékból veszünk 200 μl mintát és 1 mM-os KCl elektrolit oldattal hígítjuk 100-szoros térfogatra. Az így elkészített oldatból 1200 μl mintát mérünk ki mér küvettába. Sósavval stabilizált mágneses folyadék mintából (ezt a mérésvezet biztosítja) a zeta-potenciál méréshez szintén 1 mM KCl-dal 100-szoros térfogatra hígított oldatot készítünk, majd 1200 μl mintát mérünk ki mér küvettába.
5. Lemérjük a két különböző módszerrel stabilizált szolban a részecskék mobilitását és meghatározzuk zeta-potenciáljukat. Filenévként MagnSzol1_YYMMDD formátumú nevet adunk meg. A mérés közben figyeljük meg, hogy a fázisgörbék alakja hogyan változik a mérés során, a mérési pontok milyen jósággal illeszkednek a görbékre, illetve hogy van-e egyirányú járása a zeta-potenciál értékeknek.
6. Jegyezzük fel a két mintához tartozó mobilitás, zeta-potenciál értéket és szórásokat. A mérések végétével az adatokat és diagramot tartalmazó lapot pdf formátumban mentjük el.
7. Öblítsük el desztillált vízzel a küvettákat és a mér elektródot. A mérésvezet kapcsolja ki a készüléket.

Kiértékelés :

1. A mérések során tapasztaltak alapján vonjunk le következtetést a minta homogenitására (a mérés közbeni, illetve végső szórások felhasználásával) vonatkozóan, valamint állapítsuk meg, hogy volt-e egyirányú járása a zeta-potenciálnak, amely valamilyen kolloid folyamat (ülededés, aggregáció) lejátszódására utalhat.
2. Mutassuk meg, hogy stabil szolokat vizsgáltunk, a zeta-potenciálok abszolútértékének értékelésével ($\pm 25\text{ mV}$ -os értékhez viszonyítsunk !).
3. Vonjunk le konklúziót a zeta-potenciálok el jeléből! Magyarázzuk meg, hogy melyik stabilizálási módszer milyen felületi töltést eredményez. Állapítsuk meg, hogy a mérések összhangban vannak-e ezzel.
4. Állapítsuk meg, hogy a tetrametil-ammónium-hidroxiddal stabilizált szolok esetén az összetevő arányának, koncentrációjának változtatása milyen hatással van a zeta-potenciál értékére! Magyarázzuk meg a tapasztalt eredményeket!

10.7. Felhasznált, ajánlott irodalom:

1. K. Reichel: Gyakorlati Mágnes technika, M szaki Könyvkiadó, 1985
2. http://vili.pmmf.hu/~hlatky/Levelezo_tagozat/tantargy/anyagismeret/vazlatok/magneses%20anyagok.pdf
3. R. E. Rosensweig: Ferrohydrodynamics, Cambridge University Press, 1985
4. P. Berger, N. B. Adelman, K. J. Beckman, D. J. Campbell, A. B. Ellis, G. C. Lisensky: *Journal of Chemical Education* 1999. **76**(7): 943–948
5. <http://tesladowndunder.com/FerrofluidHVoff.jpg>
6. <http://www.euromagnet.hu>
7. Szántó F.: A kolloidkémia alapjai, Gondolat Kiadó, 1987

10.8. Ellenőrző kérdések:

1. Hasonlítsa össze a diamágneses és a paramágneses anyagok mágnesezettségi görbéit!
2. Hasonlítsa össze a lágy- és a kemény mágnesek mágnesezettségi görbéit!
3. Hasonlítsa össze a ferromágneses és a szuper-paramágneses anyagok mágnesezettségi görbéit!
4. Írjon példákat a mágneses folyadék gyakorlati alkalmazásaira!
5. Kémiai csapadékképzéssel magnetitet állít el, írja fel a sztöchiometriai egyenletet!
6. Csapadékképzés során melyik az a két alapvető folyamat, amelyek meghatározzák a keletkező részecskék méretét és szerkezetét?
7. Csapadékképzés során mely túltelítési tartományokban keletkeznek kisméretű részecskék (Weimarn szabály)?
8. Rajzolja fel egy szerves közeg mágneses folyadék el állításának sémáját!
9. Rajzolja fel egy vizes közeg mágneses folyadék el állításának sémáját!

10. Mi akadályozza meg az el állított részecskék aggregációját? Rajzoljon!
11. A részecskék stabilizálására a Coulomb tasztítás felhasználásán kívül milyen más megoldások jöhetnek volna szóba?
12. Miért alakul ki elektromos kett sréteg a kolloid részecskék környezetében?
13. Mi az elektrokinetikai potenciál?
14. Mi az elektroforetikus mozgékonyág? Mi a mértékegysége és van-e el jele?
15. Rajzolja fel egy pozitívan töltött kolloid részecske környezetében az elektrosztatikus potenciál változását jellemz görbét a részecske felületét l való távolság függvényében! Jelölje a diagramon és értelmezze 1-1 mondatban jellemz potenciálértékeket!
16. Milyen zeta-potenciál értékek esetén számíthatunk stabil diszperzióra?
17. Milyen elméleti modelleket alkalmaznak elterjedten a zeta potenciál kiszámítására az elektroforetikus mozgékonyágból? Melyik modellt milyen esetekben alkalmazhatjuk?
18. Mi az elektroforézis lényege?
19. Miért nem alkalmas minden esetben a Doppler-effektus a részecskék oldatbeli sebességének meghatározására?
20. Rajzolja fel egy polianionos részecske zeta potenciál-pH jelleggörbét! $pK_a=5$.
21. Mire következtethetünk abból, ha a mérés során a zeta-potenciál értékek egyirányú járást mutatnak?

Minden esetben kérjük megadni az egyenletben szerepl mennyiségek jelentését és mértékegységét!