

Válasz dr. Jedlovsky-Hajdú Angélának a „Mágneses kolloidok viselkedése
külső elektromágneses terekben” című PhD értekezésem bírálatára

Ezúton szeretném megköszönni a bírálatra fordított idejét, megjegyzéseit és az építő jellegű észrevételeket. A bírálatban leírt általános megjegyzésekkel, úgymint az ábrafeliratok hiányosságaira és a hiányzó hivatkozásokra tett észrevételekkel egyetértek, a jövőben igyekszem ezeket megfogadni.

A feltett kérdésekre az alábbiakban adok választ.

Válaszok

1. *A 3.2 fejezetben bemutatott szuszeptibilitás-frekvencia görbén a mért adatok nagyon összetömrülnek az illesztett görbék mellett. 10-100Hz között miért nem valósult meg mérés?*

A méréseket Signal Recovery 7270 DSP típusú Lock-in erősítővel végeztem. A 10 Hz – 100 Hz közötti tartományban a szuszeptibilitás meghatározásához szükséges induktivitásmérés értékelhetetlenül zajos volt, ezért azokat a pontokat nem vettem bele a kiértékelésbe és a további méréseket 100 Hz – 1000 Hz közötti tartományban végeztem. Az illesztett görbék és mérési pontok aránytalanságának oka az, hogy így kívántam szemléltetni, hogy a Debye relaxációval számolt görbe a χ_0 kezdeti szuszeptibilitás értékhez tart.

2. *A 3.2 táblázatban a koncentráció csökkenésével a relaxációs idő nem lineárisan változik, erre tudna valamilyen magyarázatot adni?*

Az előző válaszban említett lock-in erősítővel végzett szuszeptibilitás mérés pontatlansága 10-30%, ezért a trendre vonatkozó következtetéseket nem vonhatunk le. Ota és munkatársai [1] mérései alapján a koncentráció növekedésével a relaxációs idő (Brown-relaxáció) lineárisan növekszik.

3. *A 3.12 ábrán bemutatott mérési eredményeknél mi az oka, hogy a közepes mintatartóban jelentősen kisebb mért értékeket kap, mint az I és a III mintatartókban? A másik két ferrokolloidnál szépen látszik a trend a mintatartó méretével való változás mellett, azonban ennél a mintánál a relaxációs idő mellett itt is eltérést tapasztalt.*

A 3.12/B ábrára egy hiba miatt a 3.11/B ábra került be. A helyes ábra az első mellékletben található. Megfigyelhetjük, hogy a másik két mintához hasonló trendet kaptam.

4. *A 4.6 ábrán bemutatott viszkozitás adatoknál a 20 °C miért nem tartalmaz mérési eredményt az alkalmazott térerősségek mellett?*

Az elektromágnesben végzett kontaktszög meghatározásokat 10 °C, 15 °C és 24 °C, a Helmholtz-tekerespárban pedig 20 °C hőmérsékleteken végeztem. Az elektromágnes tápegységének vezérlésekor merült fel az igény arra, hogy várakozási időt iktassak be a tér bekapcsolása és a fénykép készítése között. A mágneses térben mért dinamikai viszkozitást emiatt csak a fenti 3 hőmérsékleten vizsgáltam, bár igaz, következetesebb lett volna, ha 20 °C-on is lemérem.

5. *Megjegyzés: A peremszög eredményeit nagyon zavaró, hogy más-más y skála mellett mutat be a jelölt. Ha egységes skálát alkalmazott volna, akkor az eredmények interpretálását, illetve a következtetések levonását messzemenően elősegítette volna.*

A különböző felületeken mért peremszög-változások jelentős különbséget mutattak. Ahol lehetséges volt, az azonos tartalmú ábrákat igyekeztem azonos skálával ellátni, de ez néhány esetben nem volt lehetséges a nagy különbségek miatt. Ez látható is a 4.13. ábrán, a 10 °C-os szilícium lapon és a 24 °C-on PDMS felületeken mért változások különbsége 24°. Az adatokat +5° és -30° skálán ábrázolva PDMS felület esetén rontotta volna a szemléltetést, ezért döntöttem a különböző skálák mellett.

6. *A jelölt az alábbi következtetést írja: „Ennek egyik oka valószínűleg az, hogy a felület alacsony hőmérséklete miatt a víz kicsapódik a felületre és megváltoztatja a nedvesítési tulajdonságokat.” Történt erre konkrét mérés? Esetleg sima vízzel történtek mérések?*

Desztillált vízzel csak 24 °C-on végeztem méréseket abból a célból, hogy a felületeket nedvesítés szempontjából jellemezni tudjam. A kérdésben idézett következtetést a 10 °C-on végzett mérés esetében a készített képekre alapozom, melyeken látszik, hogy az idő előrehaladtával egyre több vízcsepp csapódik ki a felületre (2. melléklet).

7. *A 4.9 ábrán az a nagy ugrás az 1,45 és a 2,9% ferrokolloid esetén a víz lecsapódásával nem egyértelműen magyarázható, egyéb okot nem lát rá a jelölt?*

Az 1,45 térfogatszázalékos kolloid csepp peremszöge mindegyik esetben minimális változást mutat a mágneses tér hatására. A 10 °C-on végzett mérések esetében a víz lecsapódása egyértelműen jelentkezett, míg magasabb hőmérsékleteken ez nem fordult elő, ezért feltételeztem, hogy a megfigyelt ugrást a lecsapódott pára okozza.

8. *A 4.10-es ábrán megint érdekes jelenségek láthatók (itt az egységes skála miatt gyönyörűen követhető a hőmérséklet hatása...), bár felvetődik a kérdés, hogy a hígítás biztos megfelelő volt-e...a jelölt tapasztalt esetleg aggregációt? A hígítások után volt koncentráció ellenőrzés egyéb méréssel?*

A mintaelőkészítés és a mérések során nem tapasztaltam szemmel látható aggregációt. A hígításokat 40-120 µl-es pipettával készítettem, mintánként összesen kb. 0,25 cm³-t, mivel az egyes mérésekhez minimális mennyiség kellett. A kis mintamennyiség miatt nem ellenőriztem a koncentrációt, bíztam a hígítás és az eszközök pontosságában.

9. *A 4.11 és 4.12 ábráknál melyik ferrokolloidot használta?*

Mindkét ábrán a hígítatlan, 5,80 V/V%-os ferrokolloid adatai, illetve fényképei láthatók.

10. *A hőmérséklet változásával ezeknek a mintáknak a viszkozitása hogyan változik?*

A hőmérséklet növelésével a ferrokolloid minták viszkozitása csökken, azonban $H=15,8 \text{ kA m}^{-1}$ térerősség mellett nincsen mérési adat, de $H=0-35,9$ és $72,6 \text{ kA m}^{-1}$ között ez a tendencia figyelhető meg.

11. *A makroszkópikus fotók esetében milyen méreteket látunk? Egy skála elhelyezése segítené a látottak értelmezését, hányszor hány cm-es felvételt készít a webkamera?*

Az előzetes kísérleteknél, ahol HD kamerát használtam, a képeken meg tudtam jeleníteni a skálát. Ekkor a képek mérete 3,14×1,87 cm volt. A további méréseknél, ahol

mikroszkópkamerát használtam a képek mérete $1,96 \times 1,57$ mm volt. Ekkor már nem volt lehetőségem skálát megjeleníteni a képeken. Egy-egy csepp szélessége mágneses tér nélkül szilícium lapon kb. 1,8 mm, PDMS felületen 1,1 mm, magasságuk rendre 0,35 mm és 0,52 mm.

12. *Ezen mérések során folyadékcsepp kiszakadást tapasztalt a mágneses tér növelésével?*

A mérések során ilyen jelenséget nem tapasztaltam. Bashtovoi és munkatársai 2017-es cikkükben [2] leírták néhány olajbázisú ferrokolloid csepp mágneses tér hatására bekövetkező szétválását. Kísérleteikben 100 μ l feletti térfogatú cseppekkel foglalkoztak. Az általam vizsgált cseppek 0,5 μ l térfogatúak voltak, így lehetséges, hogy ebben a mérettartományban nagyobb térerősségig stabilak a cseppek.

13. *A mágneses tér alkalmazása esetén amikor a csepp már oszlopos formát vesz fel még mindig értelmezhető a peremszög? Mert ebben az esetben a mágneses tér túlkompenzálja a felületen ható erőket esetleg?*

A fényképfelvételek alapján az általam vizsgált maximális térerősségig még értelmezhető a peremszög. Közvetlenül a PDMS felület közelében $81,4^\circ$ -os szöget mértem, a felülettől függőleges irányba távolodva először 90° felé tart, majd ismét csökken a csepp csúcsáig. Nagyobb térerősség esetén elképzelhető, hogy függőleges irányban szétválna a csepp.

14. *Megjegyzés: A jelölt 50m/m% mintákat készített, mely helytelen annak fényében, hogy meghatározta az eredeti minták szárazanyag tartalmát (40,55, illetve 72,37 m/m%), így helyesen 50% hígítás lenne, mely zavaró több helyen is a fejezet során.*

A szövegben valóban 50 m/m% szerepel, ami helyesen 50%-os hígítás. A későbbiekben EMG 700 50% és EMG 900 50%-nak nevezem a mintákat, ami alatt az eredetihez viszonyított koncentrációt szerettem volna jelölni.

15. *Az irodalmi eredményekkel való összehasonlítás itt hiányérzetet hagy maga után, nagyon szűkre veszi azt a pár mondatot, így kérem a nyilvános védésen nagyobb teret adjon a vizes alapú és a szerves alapú ferrokolloidok hasonló körülményeken mért ILP értékeinek összehasonlítására, amennyiben van irodalma, mert ez nem derül ki, hogy azért ilyen szűkös-e, mert nem talált más cikkeket, vagy csak pár példát említett.*

A dolgozatban a hivatkozott cikkből csak kiemeltem a vizsgált részecskékre jellemző ILP tartományt, a védésen részletesebben bemutatom más kutatások eredményeit.

16. *A véleménye szerint a jelölt által használt vizes alapú ferrokolloid élő szervezetben történő alkalmazása során is képes lenne erre a teljesítmény vesztesre?*

Az élő szervezet sejtjeiben található citoplazma viszkozitása nagy mértékben eltérhet a ferrokolloid hordozóközegének viszkozitásától. Részecskemérettől függően a Brown-relaxáció nagy szerepet játszhat a teljesítményvesztésben, így a különböző viszkozitású közegekben mért teljesítményvesztések eltérhetnek. Fortin [3] és Torres [4] kutatásai alapján a nanorészecskék minőségétől függően a viszkozitás növelésével (pl. testfolyadékban) a Brown-relaxáció teljesen elveszítheti a jelentőségét, bár Rajan [5] összefoglaló cikkében megjegyzi, hogy a teljesítményvesztés és a közeg viszkozitásának kapcsolata további kutatásokat igényel. A bemutatott folyadékok nem kifejezetten gyógyászati alkalmazásra készültek, de a számolt ILP és határfok értékek hasonlóak az orvosi alkalmazásra készített, hasonló mérettartományú részecskéket tartalmazó kolloidokhoz. Véleményem szerint az általam vizsgált ferrokolloid

nem lenne képes ilyen teljesítményvesztésre élő szervezetben. A szervezeten belüli és in vitro körülmények közötti különbséget Di Corato [6] is leírta. A dolgozatban inkább a hőmérsékletmérési módszer létjogosultságára szerettem volna bizonyítékot szolgáltatni.

Irodalomjegyzék

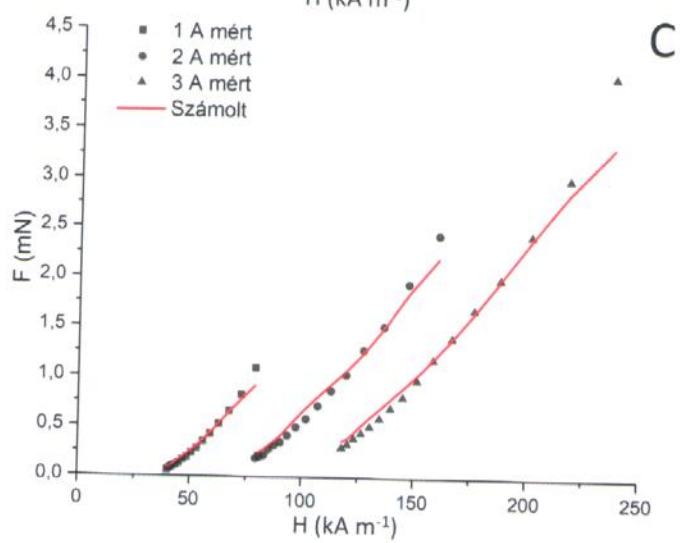
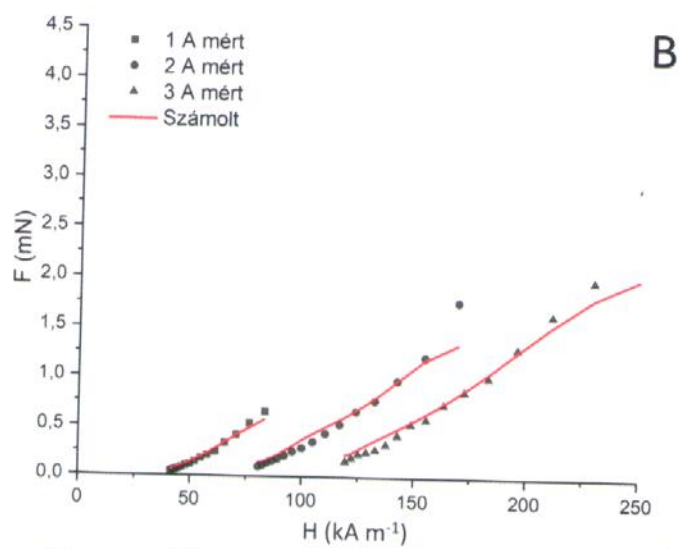
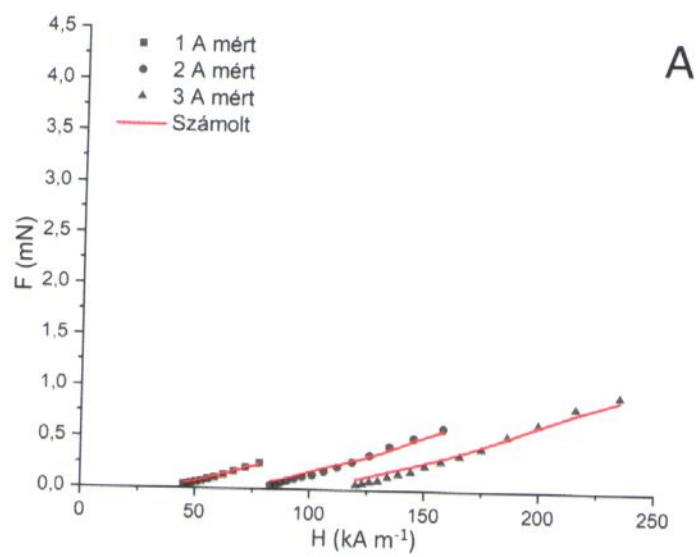
- [1] S. Ota and Y. Takemura, "Characterization of Néel and Brownian Relaxations Isolated from Complex Dynamics Influenced by Dipole Interactions in Magnetic Nanoparticles," *J. Phys. Chem. C*, vol. 123, no. 47, pp. 28859–28866, 2019, doi: 10.1021/acs.jpcc.9b06790.
- [2] V. Bashtovoi, A. Reks, A. Baev, and A. J. T. M. Mansoor, "Topological instability of a semi-bounded magnetic fluid drop under influence of magnetic and ultrasound fields," *J. Magn. Magn. Mater.*, vol. 431, no. September, pp. 42–45, 2017, doi: 10.1016/j.jmmm.2016.09.055.
- [3] J. P. Fortin, C. Wilhelm, J. Servais, C. Ménager, J. C. Bacri, and F. Gazeau, "Size-sorted anionic iron oxide nanomagnets as colloidal mediators for magnetic hyperthermia," *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 129, no. 9, pp. 2628–2635, 2007, doi: 10.1021/ja067457e.
- [4] T. E. Torres *et al.*, "The relevance of Brownian relaxation as power absorption mechanism in Magnetic Hyperthermia," *Sci. Rep.*, vol. 9, no. 1, pp. 1–11, 2019, doi: 10.1038/s41598-019-40341-y.
- [5] A. Rajan and N. K. Sahu, "Review on magnetic nanoparticle-mediated hyperthermia for cancer therapy," *J. Nanoparticle Res.*, vol. 22, no. 11, 2020, doi: 10.1007/s11051-020-05045-9.
- [6] R. Di Corato *et al.*, "Magnetic hyperthermia efficiency in the cellular environment for different nanoparticle designs," *Biomaterials*, vol. 35, no. 24, pp. 6400–6411, 2014, doi: 10.1016/j.biomaterials.2014.04.036.

Veszprém, 2021. március 22.



Guba Sándor

1. melléklet



2. melléklet

