INTELLIGENS FOLYADÉKOK, ELEKTRO- ÉS MAGNETOREOLÓGIAI FLUIDUMOK A KÖZÉPISKOLÁBAN

Medvegy Tibor
Pannon Egyetem, Fizika és Mechatronika Intézet, medvegy.tibor@gmail.com,
az ELTE Fizika Tanítása doktori program hallgatója

ÖSSZEFOGLALÁS

Az elektroreológiai és magnetoreológiai folyadékok olyan különleges tulajdonsággal bíró komplex folyadékok, amelyek szerkezete átrendeződik külső elektromos- illetve mágneses terek jelenlétében. Cikkünkben e folyadékok tulajdonságait ismertetjük, valamint azt, hogy miként lehet szemléletes demonstrációs kísérleteken keresztül a fizikának és az anyagtudománynak e korszerű termékeit, és a különleges viselkedésük fizikai okait a középiskolás diákokkal megismertetni.

BEVEZETÉS

Mágneses tulajdonságokkal rendelkező folyadékoknak az iparban számtalan felhasználási módja adódik. Sajnos azonban a kézenfekvő megoldással – egy mágneses anyag megolvasztásával – nem állíthatók elő ilyen anyagok, mivel egy szilárd ferromágneses anyag a melegítése során lényegesen hamarabb éri el az ún. Curie-hőmérsékletét, amelyen elveszíti mágneses tulajdonságait, mint az olvadáspontját. Erre a problémára az 1940-es években felfedezett, de csak az elmúlt két évtizedben elterjedő különleges folyadékok nyújtottak megoldást, és azóta a modern mérnöki tudományok területén számtalan alkalmazásuk alakult ki.

Az elektroreológiai (ER) és magnetoreológiai (MR) folyadékok olyan különleges tulajdonsággal bíró komplex folyadékok, amelyek szerkezete átrendeződik külső elektromos- illetve mágneses terek jelenlétében. Innen ered az elnevezésük, hiszen a reológia tudományága az anyagok alakváltozásaival, illetve az alakváltozások és az azokat kiváltó hatások közötti törvényszerűségek vizsgálatával foglakozik. Az említett tulajdonságok szilárd testekben való megfelelőjét elektro- illetve magnetostrikciónak nevezzük. Jó példa erre a piezoelektromos jelenség, amely során bizonyos kristályokban egy meghatározott tengellyel párhuzamos nyomás hatására elektromos potenciálkülönbség lép fel. A jelenség megfordításával, tehát külső elektromos tér alkalmazásakor ugyanezen kristályban deformáció megjelenését tapasztaljuk.

Cikkünkben egy középiskolai szakköri foglalkozás során bemutatható demonstrációs kísérleteket ismertetünk javasolt didaktikai sorrendben haladva. A következőkben bemutatásra kerülő kísérletekről készült videókat a YouTube video-megosztón is közzétettük, az elérési útvonalakat a hivatkozások között adjuk meg [1-4].

BEMELEGÍTÉS – A CURIE-HŐMÉRSÉKLET

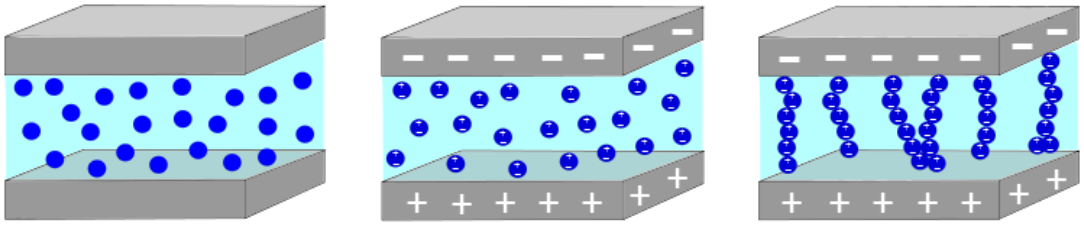
A Curie-hőmérséklet elérésekor lejátszódó jelenség szemléltetésére egy igen egyszerű kísérletet mutathatunk be a diákjainknak. A kísérlethez egy nikkeldarabot – a nikkel 358 °C-os Curie-pontja még egy gyertya lángjával is elérhető – ingaként egy vékony fémszálon felfüggesztünk, és egy mágnes segítségével a függőleges helyzetből kitérítjük úgy, hogy stabilan álljon. Nikkeldarabként akár egy 100 forintos, vagy 1-2 eurós érmét is használhatunk,

azok nagy nikkeltartalma miatt, de egyes gemkapcsok is készülnek nikkelből. A gyertyát, vagy borszeszégőt a nikkeldarab alá helyezve azt tapasztaljuk, hogy egy bizonyos hőmérséklet elérésekor a mágnes „elengedi” az ingát (1. ábra)[1].

1. ábra. A Curie-hőméréséklet kísérleti bemutatása.

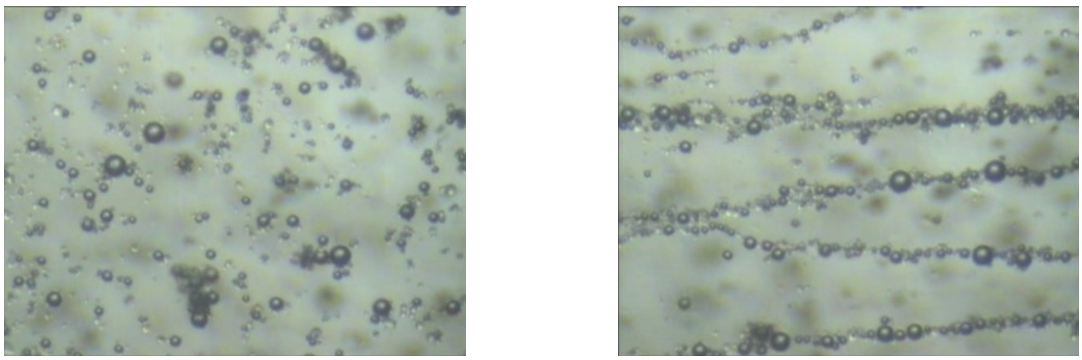
AZ ER FOLYADÉKOK ÉS AZ ER HATÁS

Elektroreológiai folyadékot úgy készíthetünk, ha ε_p dielektromos permittivitású részecskéket – amelyek ármérője általában a 0,1–100 μm-es tartományba esik – ε_f dielektromos permittivitású folyadékkal keverünk el ($\varepsilon_p > \varepsilon_f$). A részecskéknek külső elektromos tér hatására a tér irányával megegyező irányú dipólusmomentuma indukálódik, ami miatt igyekeznek úgy mozogni, hogy az indukált pozitív pólusuk egy másik részecske indukált negatív pólusa közelébe kerüljön. A kiváltó tér jelenlétében a részecskék először párokba, láncokba, majd oszlopokba rendeződnek (2. ábra). Ez a folyamat a viszkozitás drasztikus növekedését eredményezi.



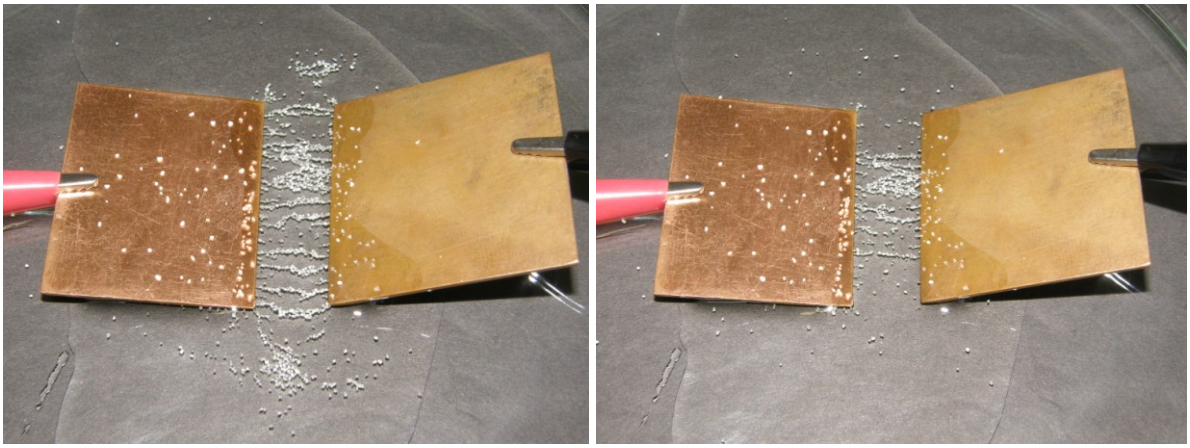
2. ábra. Az ER folyadék részecskéinek láncosodása külső elektromos tér alkalmazásakor.

A 3. ábrán átlagosan 10 μm-es üreges üveggolyók láthatók szilikonolajban először külső tér nélkül, majd 1600 V/mm-es elektromos tér jelenlétében láncokba szerveződve.



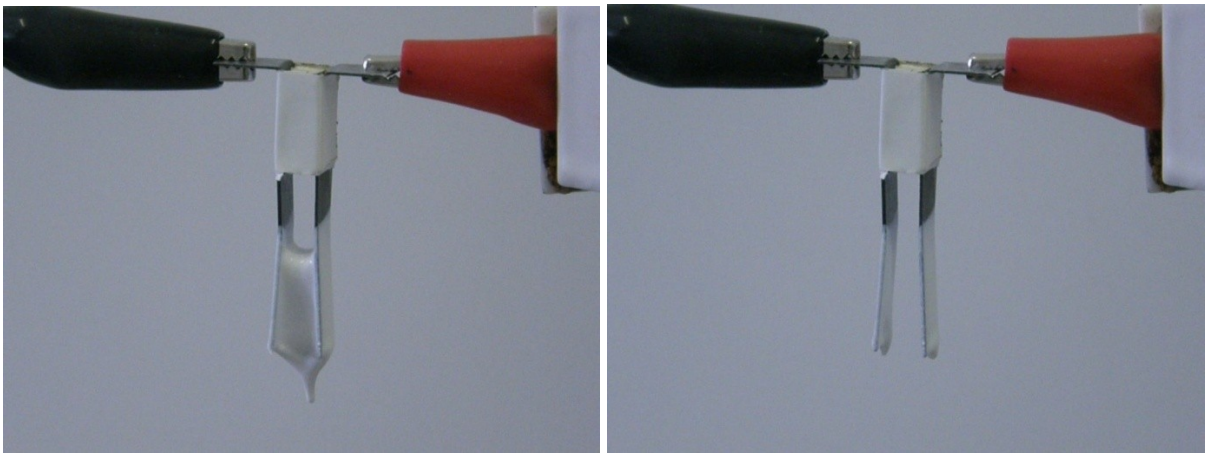
3. ábra. Szilikonolajban elkevert üveggolyók külső elektromos tér nélkül, illetve annak jelenlétében.

A képeken is látható jelenségre ráismerhetünk egy, a középiskolákban viszonylag gyakran előforduló kísérletben, amikor egy Van der Graaff generátor segítségével, olajrétegre szórt kukoricadarával szemléltetjük az elektromos erővonalakat. Ennek a kísérletnek a célja általában az erőtér jellemzőinek bemutatása, így a magyarázat sokszor elmarad. Természetesen itt is a szemcsék indukált dipólusmomentumai miatt lép fel a láncosodás (4.ábra).



4. ábra. Étkezési olajra szórt kukoricadara viselkedése erős elktromos tér jelenlétében.

Elektroreológiai folyadékot akár magunk is készíthetünk, ha étkezési olajba egyszerű keményítőt szórunk. Az összetevők pontos arányára nem túl érzékeny a folyadék, igyekezzünk nagyjából fele-fele arányban kikeverni. Próbaképpen az elkészített folyadékot egyik edényből egy másikba átöntve, a folyadéksugár közelébe feltöltött üveg, vagy ebonitrudat helyezve a vízsugáréhoz hasonló eltérülést tapasztalhatunk. A 5. ábrán napraforgóolajból és keményítőből készített ER folyadékba merített, majd abból kiemelt elektródák láthatók. Az első esetben nem kapcsoltunk feszültséget az elektródákra, így a folyadék azonnal kifolyik a fémlapok közül, a második esetben 5000 V-os feszültséget használtunk, ekkor a keverék a lapok között marad, onnan hosszú idő alatt sem folyik ki [2].



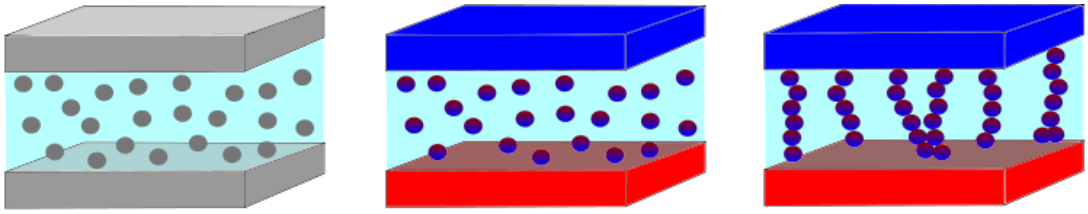
5. ábra. Külső elektromos tér alkalmazásával több nagyságrendbeli viszkozitás-növekedést érhetünk el az ER folyadékokban.

A kísérletet magunk is könnyen megismételhetjük, arra kell ügyelnünk, hogy amennyiben nem nagyfeszültségű tápegységgel (a 5. ábrán látható kísérlethez egy Stanford Research PS350 típusú tápegységet használtunk), hanem Van der Graaff generátorral, vagy elektromos megosztógéppel állítjuk elő a kellő feszültséget, abban az esetben a folyadékon keresztül a felhalmozott töltés gyorsan kisül, hiszen sem a generátor, sem a megosztógép nem képes

néhány mA-es áramerősséget sem fenntartani. Ezért az elektródákat jól el kell szigetelnünk a folyadéktól. Nagyfeszültségű tápegység használata esetén a kísérletet nagy körültekintéssel hajtsuk végre! Elektródaként bármilyen fémlapot használhatunk, a közöttük lévő távolságot a felhasznált feszültségtől függően állítsuk be úgy, hogy még éppen ne üssön át!

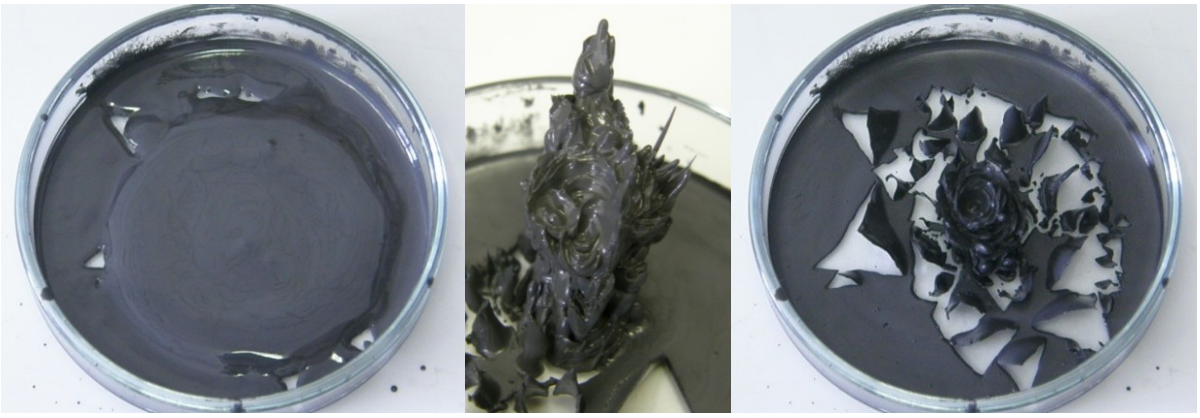
AZ MR FOLYADÉKOK ÉS AZ MR HATÁS

Amennyiben egy μ_f mágneses permeabilitású folyadékban $\mu_p > \mu_f$ mágneses permeabilitású ferromágneses részecskéket keverünk el, úgy magnetoreológiai folyadékhoz juthatunk. A részecskék ferromágnesesek, de méretüknél fogva – amely a 0,1-50 µm-es tartományba esik – több mágneses domént is tartalmaznak, így külső mágneses tér hiányában nincs eredő mágneses dipólusmomentumuk. MR folyadékokat külső mágneses térbe helyezve az elkevert részecskéknek mágneses dipólusmomentuma indukálódik. Külső mágneses tér hatására az ER folyadékokéhoz hasonló módon értelmezhető dipólus párok, láncok és oszlopok alakulnak ki az MR folyadékokban is (6. ábra).



6. ábra. Az MR folyadék részecskéinek láncosodása külső mágneses tér alkalmazásakor.

Az MR folyadékok külső mágneses tér jelenlétében szinte megszilárdulnak. A 7. ábrán erős mágneses térbe helyezett MR folyadékot láthatunk, amire felülről további MF fluidumot csöpögtetve oszlopszerű képződmények építhetők. A tér kikapcsolásával nem tartja meg alakját, hanem szinte azonnal szétfolyik (7. ábra) [3].

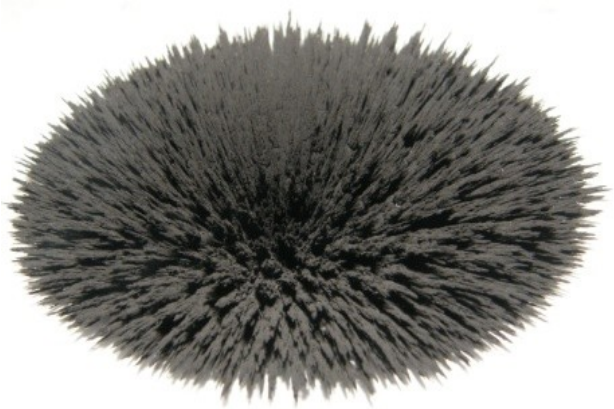


7. ábra – MR folyadék viselkedése külső mágneses térben.

Amennyiben az említett méretnél kisebb, 10-50 nm-es mérettartományba eső részecskéket használunk, úgy ún. ferrofluidumhoz juthatunk. A kisebb részecskeméretnél fogva a Brown-mozgás hatására ezek a részecskék kevésbé ülepszenek le, illetve – ugyancsak a kisebb méretük miatt – az egyes részecskék általában csak egyetlen mágneses domént tartalmaznak, ezért saját dipólusmomentummal rendelkeznek. A folyadék felszíne erős mágneses térben tüskés alakzatot rajzol ki (8. ábra).

8. ábra – Ferrofluidum felszíne egyre erősebb külső mágneses térben.

Az MR jelenséghez hasonló effektussal jelenleg is találkozhatunk a középiskolákban, hiszen amikor permanens mágnesre, vagy áramjárta tekercsre vasreszeléket szórunk, ott a vasreszelék láncokba rendeződése révén tudjuk az erővonalakat szemléltetni (9. ábra). Házilag csak egyszerűbb mágneses folyadékokat készíthetünk, például vas- vagy magnetit por étkezési olajjal való összekeverése révén (10. ábra)[4].



9. ábra – Magnetit por mágneses térben.

10. ábra – Magnetit porból és napraforgóolajból készített mágneses folyadék egyre erősebb mágneses térben.

ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEK

Ezeknek a folyadékoknak a modern mérnöki tudományok területén mára számtalan alkalmazása alakult ki. A műszaki érdeklődésű diákokkal érdemes lehet megismertetni azokat az eddig bemutatott jelenségeken alapuló eszközöket, amelyek már ma is megtalálhatók a

környezetünkben, illetve azokat a jövőbeli lehetőségeket, amelyek jelenleg is aktív kutatási területek.

Magnetoreológiai elven működő, használat közben, néhány milliszekundum alatt szabályozható keménységű lengéscsillapítókat a katonai járművekben (pl. HMMWV) és 2002 óta a civil autóiparban is alkalmaznak (pl. Cadillac Seville STS, Audi TT és R8, Camaro ZL1, Ferrari 458 Italia…). ER és MR rezgéscsillapítókat mosógépekben, hangszórókban, léptetőmotorokban, de nagyobb méretekben épületek földrengésvédelmi rendszereiben is használnak [7].

Az ER és MR folyadékok szabályozható viszkozitása erőátviteli rendszerekben is felhasználható, kopásmentes fékek és kuplungok építhetők a segítségükkel, amelyekben a külső tér változtatása révén szabályozható az erőátvitel mértéke is [8]. Sikerrel alkalmazzák még robotkarok tengelyeinek közös motorról való meghajtására is, így tovább csökkentve azok tömegét, aminek következtében a mozgékonyságuk növelhető.

Az orvostudományok terén mágneses magrezonanciás (MR) képalkotási módszereknél kontrasztanyagként alkalmazzák a vízbázisú, stabilizált, biokompatibilis mágneses folyadékokat. Emellett festékek és hatóanyagok mágneses térrel való célba juttatására, biokomponensek szeparációjára és mágneses hipertermiás kezelésekre – amely során tumorokba injekciózzák, majd jól megválasztott változó mágneses térrel hevítik a folyadékot, és ezen keresztül a rákos sejteket, így pusztítva azokat – is sikerrel használják ezeket az anyagokat [9].

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatási téma a Magyar Állam és az Európai Unió anyagi támogatásával a TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KONV-2010-0003 projekt keretén belül valósult meg.

IRODALOMJEGYZÉK

1. Curie hőmérséklet - videó: http://www.youtube.com/watch?v=r_u_ugoWUbw
2. ER folyadék viselkedése - videó: http://www.youtube.com/watch?v=NOot5wxuxSg
3. Ferrofluidum viselkedése - videó: http://www.youtube.com/watch?v=Yxt2v5nVJWs
4. MR folyadék viselkedése - videó: http://www.youtube.com/watch?v=prDzOHUsUoQ
5. Zrínyi M.: A huszonegyedik század anyagai: Az intelligens anyagok. Mindentudás Egyeteme, 2003.
6. http://www.pharmtech.sote.hu/pharma/sites/default/files/mindentudkonyvfejeze.pdf
7. Zrínyi M.: Intelligens anyagok. Magyar Tudomány,1999/6: 682, 1999.
8. Bagi T, Horváth B, Medvegy T, Molnár G, Kronome G, Szalai I: Léptetőmotor-forgórész elektro- és magnetoreológiai fluidumokkal csillapított lengéseinek kísérleti vizsgálata. Magyar Tudomány, 2012/7 melléklet: 114. 2012.
9. Molnár G.: Magnetoreológiai tengelykapcsoló statikai és dinamikai tulajdonságainak vizsgálata. Diplomamunka, SZE MTK, Győr, 2012.
10. Hajdú A.: Mágneses folyadékok előállítása es stabilizálása fiziológiás körülmények között orvos-biológiai felhasználás céljából. Doktori (PhD) értekezés, SZTE TTIK, Szeged, 2010.