

Opponensi vélemény

Lagzi István László MTA doktori értekezéséről

Ritkán fordul elő a természettudományok történetében, hogy egy könnyen megfigyelhető és hagyományos módszerekkel szabatosan mérhető jelenség felett a felfedezését követő 130 év után is vita folyhat, hogy makroszkópos törvényszerűségeit, jól ismert fizikai-kémiai folyamatokból felépülő mechanizmusát mindmáig nem sikerült egyértelműen felderíteni. A Liesegang jelenséggel ez a helyzet. Csapadék kiválással járó, egyszerű kémiai reakciók termékei meghatározott körülmények között a térben kvázi-periódusosan keletkeznek. Kérdés, hogy milyen megfigyelhető, térbeli és időbeli törvényszerűségeket követ a csapadék megjelenése, és milyen, makroszkóposan jól leírható transzport folyamatokkal lehet megmagyarázni ezeket az empirikus észleletket. Lagzi István László ezt a sokat kutatott és mindmáig sok vonatkozásában felderítetlen kérdéskört választotta kísérleti vizsgálatainak tárgyául, nem utolsósorban azért, mert ezek a jelenségek egyre fontosabbaknak bizonyulnak a kutatás és az ipar nem egy területén.

Első rátekintésre is világos, hogy a jelenség hátterében a reaktánsok diffúziójának aszimmetriája áll. Nem a diffúzió állandójuk tér el számottevően, hiszen az elsőként megfigyelt folyamatban részt vevő kálium-dikromát és ezüst-nitrát ebben a tekintetben nem nagyon tér el egymástól. De az úgy nevezett belső komponens nagyságrendekkel nagyobb koncentrációja miatt a kémiai átalakulás csak a külső komponens koncentrációjára van számottevő hatással, koncentráció gradiens csak ebben alakul ki, diffundálni ezért csak ez a komponens fog.

A jelenség leírására két modellt és ezek kinetikájának leírására két differenciálegyenletet javasoltak az idők során, ezeket szépen, tömören írja le az értekezés. A szolkoagulációs és a fázisszeperációs modell egyenletei egymástól nagyon különbözőek, ezért várható lenne, hogy az eltérés a kísérletekben is megmutatkozik. A különbségek talán könnyebben észrevehetőek az egyes csapadék zónák keletkezésében, mint az egész rendszer kialakulásában.

→ Megkérdezem ezért, hogy végzett-e a szerző az egyes elkülönült rétegek keletkezési kinetikájára vonatkozó méréseket, vagy van-e tudomása ilyen vizsgálatokról?

A szerző legtöbbször a szolkoagulációs modell keretein belül értelmezte észleleteit.

Az alapvető tudnivalók világos ismertetése után a munka „motivációjáról” olvashatunk. A jelenségkörnek az anyagtudományokban remélt felhasználásról szól itt egy rövid bekezdés, amely után azonban nem a kitűzött célokról, hanem az elért eredményekről számol be a szerző. Olyan alaposan, hogy az értekezés végén már nem is foglalja össze az eredményeit.

→ Ezt a szerkesztési módot nem tartom szerencsésnek.

Ebből a fejezetből azonban kiviláglik az a helyes és sikeres törekvés, hogy az eredetileg speciális feltételek között létrehozott jelenséget sokkal általánosabb körülmények között, változatos paraméter értékek mellett kívánja vizsgálni. Az itt írtakból kitetszik, hogy általánosságban szólva a diffúzió térbeli gátoltsága a feltétele a periodikus struktúrák kialakulásának. Így például molekulák diffúziója akadályozó cellulóz nanokristályok között Liesegang szerkezetek kialakulására vezet. Egyebek mellett a cellulóz rétegeket polarizációs mikroszkóppal is vizsgálták. Két megjegyzést kell itt tennem:

→ Nem világos, hogy a réteg kettőtörése hogyan befolyásolja a Liesegang szerkezet kialakulását.

→ A kísérleteket vékony rétegekben végezték, dimenzió dolgában tehát az elrendezés a Hele-Shaw cellához hasonlít. Van-e szerepe a cellulóz kristályok jelenléte mellett a csökkent dimenzionalitásnak?

Nagy érdeme a munkának, hogy nem csak kisméretű szervetlen ionok, hanem jóval nagyobb, nano méretű részecskék reakcióit is vizsgálta egymással vagy kisebb ionokkal. Ellentétesen töltött Au és Ag nanorészecskék alkalmasan választott körülmények között, gélben elosztatva, szép Liesegang struktúrákat alkotnak. A jelenség tehát nemcsak ionos csapadékok keletkezésekor figyelhető meg.

→ Vékony rétegekben hajtották végre a kísérleteket; újra meg kell kérdeznem a dimenzió esetleges szerepét.

→ Nem értettem világosan, hogy honnan lehetett a nanokristályok töltésének az előjelét tudni. Elektroforézis mérések talán meggyőzőbbé és kvantitatívabbá tehetnék az eredményeket.

Szép és érdekes a Diffúzióasszisztált módszerek cím alatt összefoglalt munka, amelynek során méret szerint jól elkülönülő nanorészecskéket állított elő a szerző. Az eljárás várható gyakorlati hasznáról is ír. Ezt nem vonva kétségbe, én ezeket a kutatásokat azért is tartom fontosnak, mert a termékek sávstruktúráján túl az egyes sávok belső

szerkezetéről is képet adnak. A szemcseméretekre vonatkozó lineáris skála törvény felismerését szép eredménynek kell tartanunk

Nagyon fontos a különböző gélek eltérő hatására vonatkozó kísérlet sorozat. A szerző megfigyelései szerint a változó agaróz/zselatin arány erőteljesen megváltoztatja a kialakuló Liesegang szerkezetet. Kvalitatív összhangban áll ezzel a javasolt mechanizmus, a szol koaguláció egy változata. Azonban nem világos a számomra, hogy a gélek milyen fizikai vagy kémiai tulajdonsága játszik szerepet a folyamatokban. A megfigyelések gyakorlati hasznát is ígérnek.

Fontos feladat a közeg polaritásának meghatározása. Víz és dimethyl-szulfoxid különböző összetételű elegyeiben határozottan eltérő LP szerkezeteket figyelt meg a szerző. A folyadék pár kiválasztása nagyon szerencsés volt, mert míg relatív permittivitásuk nagyon különböző, viszkozitásuk közel egyenlő, helyes tehát az eltéréseket dielektromos jelenségeknek tulajdonítani. Sajnálatos azonban, hogy a javasolt mechanizmusban csak a két folyadék térfogat aránya szerepel, az is csak, mint a diffúzió állandókat befolyásoló változó. Se az elegy eredő relatív permittivitása, se a részecskék zeta potenciálja, amelyet egyébként megmértek, nem jelenik meg az egyenletekben. Ez a hiányosság csak a megfigyelések értelmezését érinti, tapasztalati fontosságuk kétségtelen.

A változó hőmérséklet természetesen hatással van a kialakuló szerkezetre. A szerző ezt egy sorozat szép LP ábrával demonstrálja. A javasolt mechanizmus a diffúzió állandók és koagulációs küszöb hőmérséklet függésével kvalitatíve helyesen értelmezi a megfigyeléseket.

A mechanikai deformáció érdekes változásokat idéz elő a struktúrákban, ennek a jelenségnek könnyen lehet gyakorlati haszna. Az elektromos erőterben végzett kísérletek egyebek mellett azt is jól demonstrálják, hogy a konduktív és diffúzív transzport molekuláris értelemben két egyenértékű folyamat.

A Hele-Shaw cellával tett megfigyelések véleményem szerint mindennél világosabban bizonyítják, hogy a Liesegang jelenség igazi oka a diffúzió gátolt volta, amit itt a dimenzionalitás csökkenése okoz.

→ A kritikus rétegvastagsággal kapcsolatban a Rayleigh-Darcy számra hivatkozik. Ez nehezen érthető, hiszen ez a mennyiség termodiffúzióra, konvekcióra vonatkozik. Nem inkább a pórus- és vékonyréteg áramlást leíró Darcy törvényre gondolt?

A helikoidális mintázatok kialakulását az eddigiektől eltérően nem a szolkoagulációs modellel, hanem a fázisszeperációs modellnek egy, a csapadék

koncentráció fluktuációjával kiegészített változatát alkalmazta. A kísérletek és a szimulációk összehasonlítása érdekes kvalitatív megállapításokra vezettek.

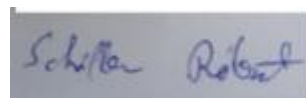
→ Azonban nem tudtam meg, hogyan definiálja a „helikális struktúrák kialakulásának valószínűségét”.

→ A „cső a csőben” kifejezés és a két dimenzióra való hivatkozás egyszerűbben szólva nem azt jelenti-e, hogy Descartes koordinátákról henger koordinátákra tért át?

A kísérleti megfigyelések nagy köre, az eredmények értelmezése kitágította a Liesegang jelenségekkel kapcsolatos ismereteket, új, általános érvényű megállapításokra vezetett, és egyes gyakorlati alkalmazásokat is lehetővé tehet. Sajnos az értekezés szerkesztése, a közlés módja sokat ront a tartalmában kiváló munka színvonalán. A szerző, mint a címlapon írja, „rövid értekezést” kívánt írni. Ehelyett hiányos értekezést írt. Gondosan mellékelte a saját felhasznált cikkeit; csekélyebb, bár bosszantó baj, hogy ezeknek nem szentelt külön listát, hanem a teljes irodalom jegyzékbe sorolta őket. A súlyos és ismétlődő hiba az, hogy lényeges, esetleg alapvetőnek gondolt eredményeit nem írta le a disszertáció szövegében, hanem csak utalt a mellékelt cikkekre. Legtöbbször így járt el a modellek leírásával, az azokon alapuló szimulációkkal, majd mérések és szimulációk összehasonlításával. A legbosszantóbb ilyen eset az elektromos tér hatásával foglalkozó 4.2 részben van. Itt egyébként, úgy látszik, felcserélte saját két cikkét, [42]-re hivatkozott [37] helyett. A végül fellapozott cikkben azonban újra csak nem lehet megtalálni az állítás kifejtését, mert az a Supporting Material-ban van leírva. Azt már nem kerestem ki!

Ezek a bíráló megjegyzések az értekezés megfogalmazásra vonatkoznak, nem a tartalmára. A széles körű kísérleti munka eredményei és azok elméleti értelmezései a tárgyalt jelenségeket sok esetben új megvilágításba helyezték, jelentősen hozzájárultak a folyamatok megértéséhez. Esetenként gyakorlati felhasználásra is kerülhetnek. Ezért az értekezést és a téziseket elfogadom és javaslom Lagzi István László számára az MTA doktora cím odaitélését.

Budapest, 2026. október 8.



Schiller Róbert