

4. félévi beszámoló

Máthé Marcell Tibor (mathe.marcell.tibor@wigner.hu)

Anyagtudomány és Szilárdtestfizika PhD program

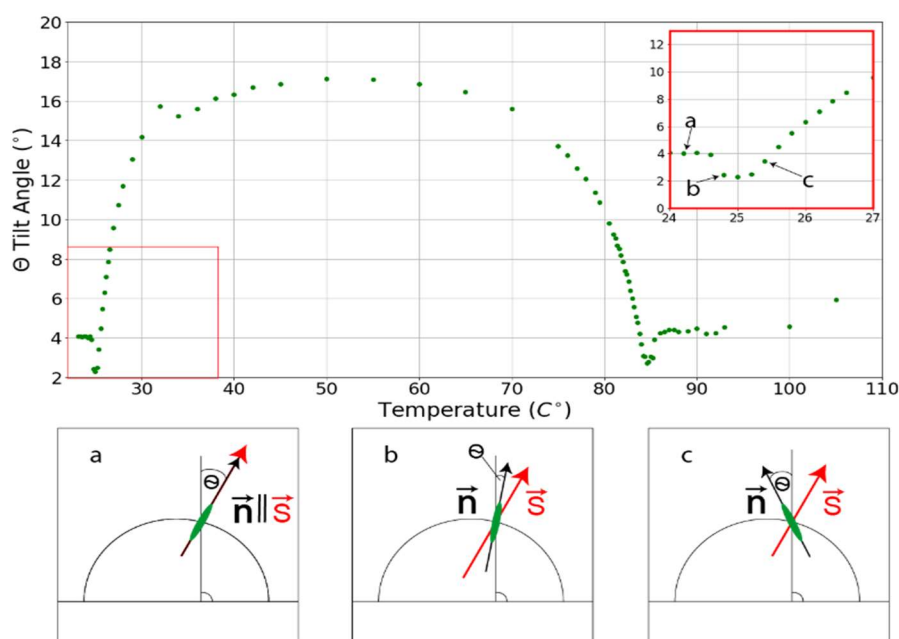
Témavezető: Salamon Péter

A PhD téma címe: Anizotrop folyadékok mikrofluidikai környezetben

Az elmúlt két évben a kutatói munkámat a Wigner SZFI Komplex Folyadékok Osztályán a Részben Rendezett Rendszerek Kutatócsoportban végeztem, ahol folyadékkristályokkal kapcsolatos kutatásokat végeztem. A folyadékkristályokat alkotó molekulákat általában erősen anizometrikus alak jellemzi (rúdra vagy korongra hasonlító molekulaalak). Az anizotrópiának köszönhetően ezek az anyagok az izotrop folyadék és a szilárd kristály fázisok között további folyadékkristályos, úgynevezett mezofázisokkal rendelkeznek. A kutatási témámban ezen fázisok közül a nematikus fázis a legfontosabb, ebben a fázisban molekuláris irányrendezettség alakul ki az anyagban, a molekulák hossz tengelye egy átlagirány, a direktor (\mathbf{n}) körül fluktuál, azonban a molekulák tömegközéppontjai véletlenszerűen helyezkednek el. A nematikus fázisban az anyag háromdimenziós folyadéknak tekinthető, azonban a jellemző fizikai mennyiségek anizotropok. Az anizotrópiának jelentős következményei vannak az anyag viselkedésére nézve például, hogy külső elektromos és mágneses terekkel a makroszkopikus tulajdonságok, mint például a viszkozitás vagy az optikai tulajdonságok könnyen manipulálhatók.

A kutatásom célja a folyadékkristályok vizsgálata frusztrált geometriákban és mikrofluidikai környezetben, külső elektromos és mágneses terekben. A munkában kiemelt jelentőséggel bír a nemrégiben felfedezett új mezofázis, a ferroelektromos nematikus fázis vizsgálata.

Először a mesterszakos diplomamunkám alapjául is szolgáló felületi orientációs fázisátalakulással kapcsolatos további mérések elvégzésére koncentráltam, mely témából egy publikáció született [1]. A mérések során kibővítettük a vizsgált anyagok számát, illetve készítettem egy optikai szimulációs programot is, ami egy adott direktortér struktúrához lemodellezi a csepp mikroszkópban látható képét keresztezett polarizátorok között. A mérések során felfigyeltünk az egyik vizsgált anyagnál egy különleges, eddig nem látott jelenségre: egy hőmérsékletváltozás indukált reentráns orientációváltozásra a levegő-folyadékkristály felületen. Az effektus jobb megértéséhez polarimetrikus mikroszkóppal vizsgáltuk a cseppben kialakuló direktorteret, illetve meghatároztuk a levegőfelületen a direktor kidőlésének szögét is a hőmérséklet függvényében (1. ábra). Ennek a jelenségnek a vizsgálata jelenleg is folyamatban van és előreláthatólag a jövőben a publikációja várható.

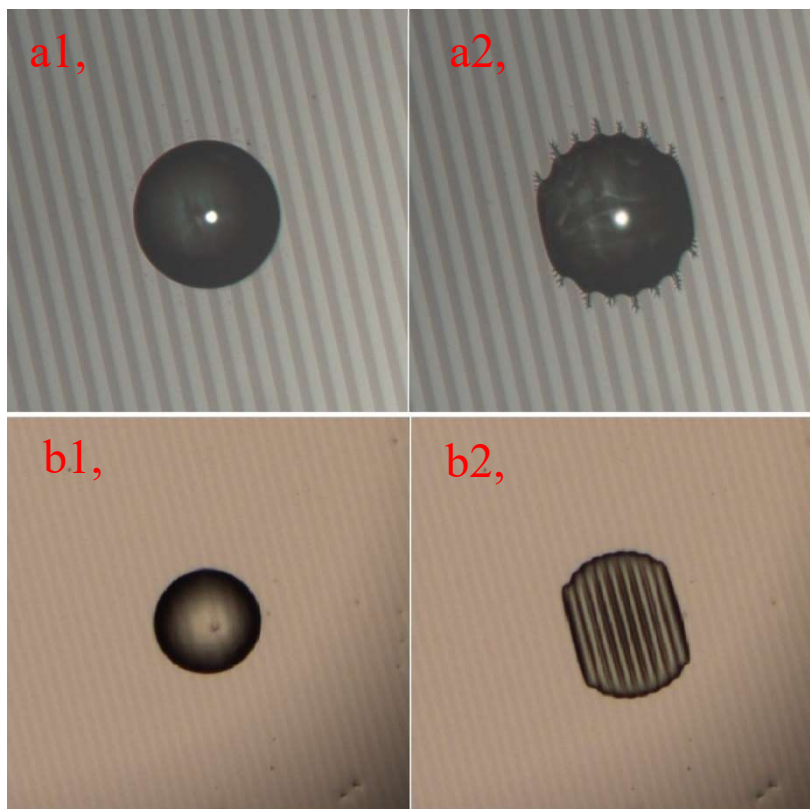


1. ábra. Folyadékkristály-levegő határfelületen létrejövő, reentráns felületi orientációs átmenet során a felületnormálhoz viszonyított direktor dőlésszög a hőmérséklet függvényében.

Az első félév végén kezdtem el a ferroelektromos nematikus fázissal kapcsolatos mérésekkel foglalkozni. Első ötletként, kihasználva, hogy a ferroelektromos fázist mutató anyag (RM734) hatalmas dielektromos állandóval rendelkezik, arra számítottunk, hogy a folyadék elektródákkal ellátott felületeken mérhető kontaktszöge rendkívül érzény lesz az alkalmazott elektromos térre (dielektro-nedvesítés). Mivel a hagyományos nematikus folyadékkristályok dielektro-nedvesítési tulajdonságai sem jól ismertek, először egy egyszerű nematikus anyagon vizsgáltuk a jelenséget (2. ábra, b1,b2). A mérések kiértékeléséhez készítettem egy automatizált képfeldolgozáson alapuló programot. Az új ferroelektromos nematikus fázisban egy eddig ismeretlen effektust fedeztem fel: egy elektromos tér hatására fellépő felületi instabilitást (2. ábra, a1,a2). Az új effektus vizsgálata jelenleg kiemelt prioritást élvez a kutatómunkámban.

A mérések során használt geometriának először az üvegfelületre cseppentett csepp alakot választottuk. Ennek előnye, hogy a levegővel érintkező szabad felületen a direktor és a csepp

alakja kisebb ellenállással tud megváltozni. További előnye ennek a rendszernek, hogy a mérésekhez kis mennyiségű anyag is elegendő, ami az esetünkben fontos szempont volt, mivel a ferroelektromos nematikus anyagból csak kis mennyiség állt rendelkezésünkre. Ebben a geometriában figyeltünk fel egy további új effektusra, a ferroelektromos nematikus folyadékkristályban hőmérséklet gradiens hatására fellépő anyagáramlás jelenségére. Alapos kísérleti vizsgálat után, egy egyszerű modell segítségével sikerült leírnunk a jelenség okát, melyből publikáció is született a 4.félévben [2]. A kutatás során a feladatom a minták elkészítése, a témavezetőm segítségével a mérési módszerek kidolgozása és a mérések elvégzése, illetve az azokból kapott adatok kiértékelése volt.

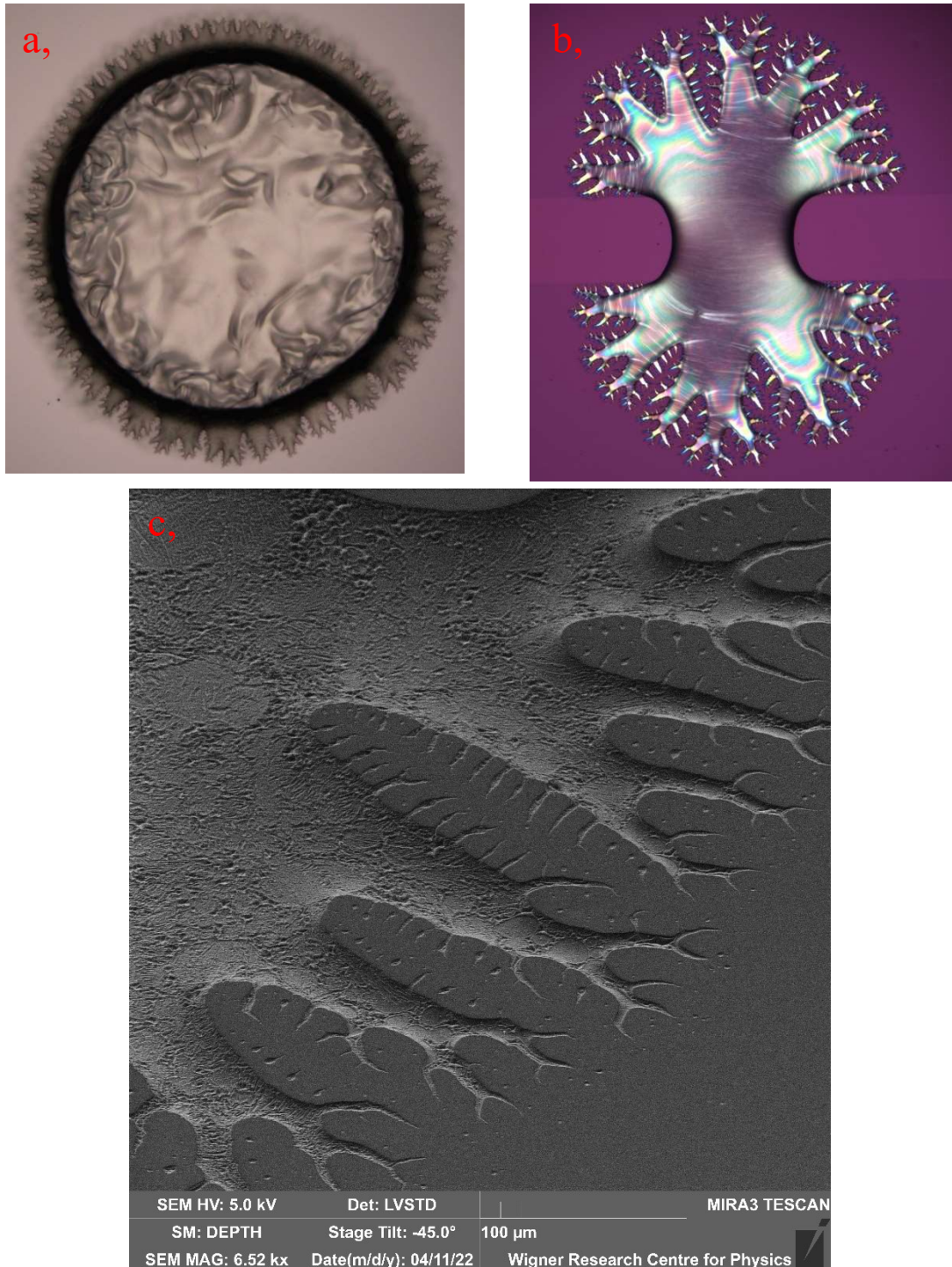


2. ábra: Dielektro-nedvesítés (b) nematikus fázisban lévő folyadékkristály esetén (b1) 0V ,(b2) 75V feszültség mellett 10kHz-en. (a) ferroelektromos nematikus fázis esetén fellépő felületi instabilitás dielektro-nedvesítés kísérletében (a1) 0V, (a2) 75V feszültség mellett 10kHz-en.

A harmadik félévben lehetőségem volt egy hétre a magdeburgi Otto-Von-Guericke University-re látogatni és ott Dr. Alexey Eremin mentorálásával méréseket végezni egy konfokális lézerpásztázó mikroszkóppal. A mérések során a cél folyadékkristály csepp geometriában fellépő direktortér vizsgálata volt, illetve annak 3D-s modellezése.

A félévben egy másik utazás során egy ljubljanoi kutatócsoport munkájába tudtam becsatlakozni és 2x1 hónapot a ljubljanoi Jožef Stefan Institute-ban dolgozni. A kintlétem során ferroelektromos nematikus cseppekben kialakuló polarizációt vizsgáltam másodharmónikus keltéses mikroszkópiával (SHG). Továbbá Dr. Andrej Petelin mentorálásával egy differenciális dinamikus mikroszkópián (DDM) alapuló, folyadékok áramlására alkalmas módszer fejlesztésén dolgoztam. A kutatásnak két célkitűzése van, először jelzőrészecskék segítségével szeretnénk meghatározni az áramlási teret felületi elektródák által keltett elektrokonvekcióban. Továbbá egy jelzőrészecskék nélküli rendszerben a direktor fluktuációját felhasználva szeretnénk mérni az áramlás sebességét. A kutatásban a szerepem a minták elkészítése és a mérések elvégzése volt, illetve a kiértékelő szoftver fejlesztésében is részt vettem. A közös munka jelenleg is folyamatban van és előreláthatólag az eredményekből publikáció is születni fog.

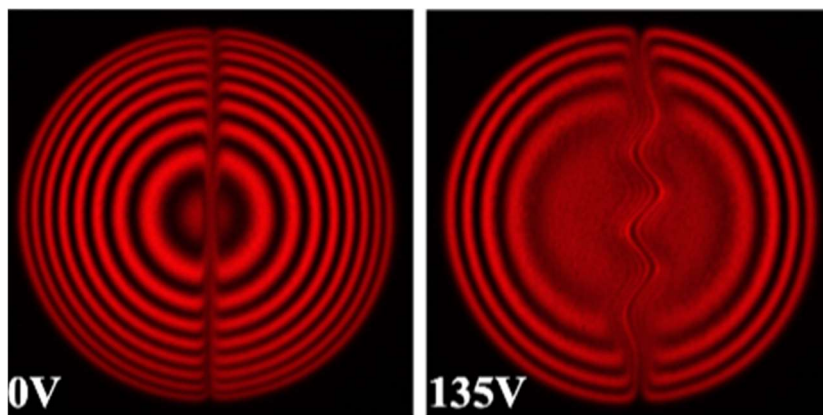
Az aktuális félévben a már említett, elektromos tér hatására fellépő felületi instabilitás vizsgálatával foglalkoztam ferroelektromos nematikus anyagokban. A mérések során az effektus jobb megértése érdekében többféle geometriában is vizsgáltuk a jelenséget (3. ábra).



3. ábra: Ferroelektromos nematikus fázisban az elektromos tér hatására megjelenő felületi instabilitások: (a) szendvics cella geometriában, (b) felületi elektródarendszerrel ellátott üvegfelületen (c) az elektromos tér alatt kikristályosított minta pásztázó elektronmikroszkóppal készített képe.

A jelenség karakterizálásához vizsgáltuk annak feszültség, frekvencia és hőmérséklet függését. A kialakult struktúrákat Dr. Péter László segítségével pásztázó elektronmikroszkóppal is megvizsgáltuk(3c. ábra) .

A félév során továbbá az ohioi Kent State University professzorával, Dr. Jákli Antallal együttműködve nematikus folyadékkristály cseppeket vizsgáltunk elektromos és mágneses tér együttes jelenlétében. Egy pozitív dielektromos anizotrópiával rendelkező anyag esetén, a mágneses tér hatására a csepp direktorstruktúrájában egy defektfal jelenik meg, amelyre ha elektromos teret kapcsolunk a fal instabillá válik és behullámosodik (4. ábra).



4. ábra: Pozitív dielektromos anizotrópiájú nematikus cseppben megjelenő defektfal instabilitása mágneses ($B=1T$) és elektromos tér együttes jelenléte esetén.

A kutatásban a minták elkészítése, mérések elvégzése, illetve azok kiértékelése volt a feladatom, továbbá az eredményeket tartalmazó kéziratot kapcsolatos diszkussziókon való részvétel. Az említett témából írt kézirat már lett beküldve egy rangos folyóiratba.

Publikációk:

[3] Zoltán Karaszi, Marcell Máthé, Péter Salamon, Ágnes Buka, Antal Jákli, Electric Field Induced Buckling of Inversion Walls in Lens-shape liquid crystal droplets, 2022 (beküldve)

[2] Máthé Marcell Tibor, Buka Ágnes, Jákli Antal, Salamon Péter, Ferroelectric nematic liquid crystal thermomotor, Phys. Rev. E 105, L052701, 2022

[1] Máthé Marcell Tibor, Buka Ágnes, Salamon Péter, Defects induced by anchoring transitions of nematic fluids at solid and gas interfaces, Journal of Molecular Liquids 336, 116074, 2021

A félév során hallgatott kurzusok és nyári iskola:

- Rácshibák II. EA (Előadó: Dr. Gubicza Jenő)
- Szilárdtestelmélet I.EA (Előadó: Dr. Groma István)
- European Topology Interdisciplinary Action (EUTOPIA), Summer School (Június 27 – Július 6, Párizs)

Konferencia részvételek:

- 28th International Liquid Crystal Conference, Lisszabon, Előadás címe: Electric field induced surface instability in a ferroelectric nematic material (előadás nyelve: angol), 2022, (*elfogadva*)
- 28th International Liquid Crystal Conference, Lisszabon, Poszter címe: Re-entrant anchoring transition in a nematic liquid crystal, 2022, (*elfogadva*)
- 25. Tavaszi Szél Konferencia, Pécs, 2022, Előadás címe: Ferroelektromos nematikus termo-motor (előadás nyelve: magyar)
- Jožef Stefan Institute, szemináriumi előadás, 2021, Előadás címe: Sessile droplets of nematic and ferroelectric nematic liquid crystals. (előadás nyelve: angol)
- 18th International Conference on Ferroelectric Liquid Crystals, Poszter címe: Electrowetting phenomena in a polar nematic liquid crystal, Szeptember 6-10, 2021, Ljubljana, Slovenia, <http://flc2021.ijs.si/>
- 18th International Conference on Ferroelectric Liquid Crystals, Poszter címe: Defects induced by anchoring transitions of nematic fluids at solid and gas interfaces, Szeptember 6-10, 2021, Ljubljana, Slovenia, <http://flc2021.ijs.si/>
- Wigner SZFI szemináriumi előadás, 2021, Előadás címe: Defects induced by anchoring transitions of nematic fluids at solid and gas interfaces
- Eutopia 3 – Third Meeting of the European Topology Interdisciplinary Initiative, 2021, Előadás címe: Defects induced by anchoring transitions of nematic fluids at solid and gas interfaces

Egyéb díjak:

- Innovatív kutatási PhD téma pályázat, 2022, Természettudományos különdíj
- Legjobb poszterért járó díj, Poszter címe: Defects induced by anchoring transitions of nematic fluids at solid and gas interfaces, Szeptember 6-10, 2021, Ljubljana, Slovenia, <http://flc2021.ijs.si/>