

ELEKTROKONVEKCIÓ NEMATIKUS FOLYADÉKKRISTÁLYOKBAN

MTA DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

Dr. Éber Nándor



**MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont
Szilárdtestfizikai és Optikai Intézet
Komplex Folyadékok Osztály**

**Budapest
2019. február**

1. Bevezetés, a kutatások előzménye

Az anizotrop folyadékok legismertebb képviselői, a nematikus folyadékkristályok, a modern elektronika fontos alapanyagai. A belőlük készült kijelzők megtalálhatók mára már nélkülözhetetlenné vált használati tárgyainkban. Hiányukban az információtechnológia ma tapasztalt robbanásszerű fejlődése nem, vagy csak nagy késéssel következett volna be.

A folyadékkristályok sikerüket kettős természetüknek – fluiditásuknak és irányrendeztettségüknek – köszönhetik. Szimmetriatulajdonságaik lehetővé teszik, hogy kitüntetett irányuk, a direktor, külső hatásokkal (pl. elektromos vagy mágneses térrel, nyíróáramlással, felületi kölcsönhatásokkal, ...) könnyen módosítható legyen. A kis elektromos feszültséggel indukált direktor deformáció (átorientálás) és az optikai tulajdonságok ebből adódó megváltozása adja a folyadékkristály kijelzők működésének fizikai alapját.

Külső hatásokra azonban a folyadékkristály könnyen kikerülhet az egyensúlyi alapállapotából és a gerjesztésre adott nemegyensúlyi, nemlineáris válaszként térben periodikus orientációs deformáció (mintázat) fejlődhet ki. E mintázatok egyik klasszikus példája a jelen értekezés témáját képező *elektrokonvekció* (elektromos térrel indukált anyagáramlás) [Kramer1996]. Bár a 60-as évek végén az első generációs (mára már elavult) folyadékkristály kijelzők az elektrokonvekció eredményeképpen fellépő fényszórást hasznosították [Bahadur1990], a mai lapos képernyőkben az elektrokonvekció már nem játszik szerepet, sőt feltétlenül kerülendő parazita, a kijelző minőségét rontó jelenségnek számít. A térben periodikus mintázat ugyanakkor optikai rácsként viselkedik, ami lehetőséget adhat optikai alkalmazásokra, ahol például fénysugár feszültséggel vezérelhető eltérítésére van szükség. A jelenség tudományos jelentőségét az adja, hogy a feszültséggel gerjesztett nematikus folyadékkristályok olyan modellrendszerként is szolgálhatnak, melyekben kényelmes idő- és méretskálán, az anizotropia következtében könnyen megfigyelhetőek a nemlineáris rendszerek instabilitásának egyes általános, de máshol nehezen vizsgálható törvényszerűségei.

Az elektrokonvekció alapjelenségét már sok évtizede megfigyelték. Az azóta elvégzett kísérletek bebizonyították, hogy az elektrokonvekció számos (de nem mindegyik) nematikus folyadékkristályban megfigyelhető, ha a feszültség meghalad egy küszöbértéket. Megállapították, hogy a folyadékkristály anyagi állandóitól, a mérőcella jellemzőitől (vastagság, felületi orientáció iránya), valamint a kontrollparaméterek értékétől (a mintára kapcsolt feszültség frekvenciájától és nagyságától) függően sokféle mintázat-morfológia alakulhat ki. A küszöbnél többnyire határozott hullámvektorral rendelkező, párhuzamos csíkokból (áramlási hengerekből) álló mintázat detektálható.

Bár az elektrokonvekció alapvető visszacsatolási mechanizmusát már a 60-as években felismerték [Carr1969, Helfrich1969], a precíz leírását lehetővé tevő háromdimenziós elméleti modell (az ú.n. *standard modell* [Bodenschatz1988a]) kifejlesztése évtizedeket igényelt. Ez cseppet sem meglepő, mert az elektrokonvekció a folyadékkristályok körében elképzelhető egyik legkomplexebb jelenség, mely reverzibilis és disszipatív folyamatok együttműködéséül valósul meg. Értelmezéséhez a folyadékkristályok kontinuum elméletének keretében az orientációs deformációk, az anyagáramlás és a tértöltések kialakulásának, valamint a deformált folyadékkristályon belüli fényterjedésnek az együttes kezelése szükséges.

Az elektrokonvekció kutatásának elmúlt évtizedei során számos összefoglaló tanulmány készült, melyek jól reprezentálják a jelenség felderítésének és megértésének különböző fokozatait [Blinov1982, Pikin1991, Blinov1996, Kramer1996, Pesch1998, Kramer2001, Buka2006, Eber2016], [S4, S8]. Az anyagi, cella- és kontrollparaméterek egyre bővülő tartományára kiterjedő kísérleti megfigyelések és az elméleti leírás összevetése révén kiderült, hogy az anyagi paraméterek egyes kombinációi – pl. a negatív dielektromos és egyúttal pozitív vezetőképesség anizotrópiájú, ú.n. (- +) anyagcsalád – esetén a standard modell akár kvantitatív leírásra is képes lehet. Az ilyen, a standard modellel értelmezhető mintázatképződést *standard elektrokonvekciónak* nevezzük. A standard modell segítségével lineáris stabilitás analízis révén (a folyadékkristály anyagi paramétereinek ismeretében elsősorban numerikusan) kiszámolható az elektrokonvekció küszöbfeszültsége és hullámvektora, illetve ezek frekvenciafüggése. A modell a kísérletekkel egyezően adja meg a frekvencia növelésekor bekövetkező morfológiai változásokat, köztük a hullámvektor irányának a módosulását (a felületi orientációhoz képest ferde vagy arra merőleges konvekciós hengerek) és a mintázat időszimmetriájának és egyúttal hullámszámának megváltozását (stacionárius direktordeformáció az alacsony frekvenciás *vezetési* tartományban, míg a meghajtó feszültséggel oszcilláló direktor magasabb frekvenciákon a *dielektromos* tartományban). A standard modell keretében a gyengén nemlineáris közelítésben, amplitudóegyenletek alkalmazásával információ nyerhető a küszöb feletti viselkedésről, az esetleg ott bekövetkező morfológiai átalakulásokról is [Cross1993, Pesch1996].

Nem szabad megfeledkeznünk azonban arról, hogy a standard modell sikerei ellenére is csak egy, a folyadékkristályt ionos helyett ohmos vezetőnek tekintő közelítés, amelyben ráadásul a flexoelektromosság hatása el van hanyagolva. A standard modell így komoly korlátokkal rendelkezik. Vannak olyan anyagi paraméter kombinációk – pl. ha a dielektromos és a vezetőképesség anizotrópia egyaránt pozitív, ú.n. (+ +) anyagcsalád – ahol a standard modell szerint egyáltalán nem várható instabilitás, noha ilyen anyagokban is figyeltek meg

elektrokonvekciót. Mi több, a (- +) anyagcsaládban is találtak olyan mintázatot („prewavy” [Kai1976, Petrescu1976]), amit a standard modell keretében nem lehetett értelmezni. Ezeket, az elméleti várákozásnak ellentmondó mivoltuk miatt *nemstandard elektrokonvekciónak* nevezzük. A nemstandard elektrokonvekció léte egyértelművé teszi, hogy az elméleti leírás még továbbfejlesztésre szorul. Bár történtek próbálkozások a standard modell bővítésére, pl. az ionos jelenségek figyelembe vételével a gyenge elektrolit modellben [Treiber1995] vagy a flexoelektromosság beépítésére a kiterjesztett standard modellben [Krekhov2008], e bővítések csak egyes részproblémákra jelentenek megoldást. Az elektrokonvekció minden részletét értelmezni képes, átfogó elmélet még várat magára.

Az MTA Szilárdtestfizikai és Optikai Kutatóintézetének (jelenleg MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont, Szilárdtestfizikai és Optikai Intézet) kutatócsoportjában Buka Ágnes vezetésével a 90-es évek eleje óta folynak folyadékkristályok mintázatképződése terén kutatások. E kutatócsoport (1995 óta aktív részvételemmel) fontos szerepet vállalt az elektrokonvekció teljesebb megértését célzó folyamatban. Bár e kutatások elsődlegesen kísérleti jellegűek, a megfigyelések értelmezéséhez erős elméleti háttérre van szükség, amit az Universität Bayreuth elméleti fizikus kutatóival kialakult szoros együttműködés biztosított. E gyümölcsöző kooperáció keretében esetenként az elméleti jóslatok kísérleti igazolása volt a cél, máskor az új kísérleti adatok inspirálták az elméleti leírás továbbfejlesztését.

2. Célkitűzések

Az elektrokonvekció több évtizedes kísérleti és elméleti vizsgálata ellenére is mindig voltak (és még ma is vannak) megválaszolatlan kérdések. A jelen értekezés az elmúlt húsz évet átfogó azon kutatásaimnak az eredményét mutatja be, melyekkel hozzájárulhattam a felmerülő kérdések számának csökkentéséhez, azaz az elektrokonvekció jelenségének teljesebb megértéséhez. Vizsgálataim az elektrokonvekció tíz, egymáshoz csak lazán kapcsolódó problémájára fókuszáltak. Ezek többsége (hét téma) a standard elektrokonvekció körébe tartozik, míg a maradék három a nemstandard elektrokonvekció megismerését célozta.

A standard elektrokonvekció klasszikus geometriájában [a (- +) anyagcsaládba tartozó nematikus folyadékkristállyal töltött planáris cella] esetenként stacionáris mintázat helyett *haladó hullámok* jelennek meg [Joets1988]. A jelenség magyarázatát a standard modellnek a vezetőképesség ionos jellegét figyelembe vevő bővítése, a gyenge elektrolit modell (weak electrolyte model, WEM) adta meg [Treiber1995]. A vizsgálatok célja a haladó hullámok sebességét jellemző Hopf-frekvenciának különböző vastagságú és vezetőképességű folya-

dékkristályban történő megméréseivel a WEM által jóslott skálázási törvény igazolása volt.

A gerjesztő feszültség kikapcsolása az *elektrokonvekciós mintázat lebomlását* vonja maga után. A fénydiffrakciós méréseim célja a mintázat hullámszáma és lebomlási sebessége közötti összefüggés feltárása volt, amit összehasonlítottam a standard modell egyszerűsítéseként kapott analitikus elméleti leírással.

Az elektrokonvekció kísérleti vizsgálata során évtizedekig (szinte kizárólag) hangfrekvenciás meghajtó feszültséget használtak. Céлом e frekvenciatartománynak az *extrém alacsony (mHz) frekvenciák* felé kiterjesztése volt, hogy feltérképezem a mintázat jellegében a frekvencia csökkenésekor bekövetkező változásokat.

Mínt hogy folyadékkristályban elektrokonvekciót mind egyen-, mind váltófeszültséggel előidézhetünk, várható volt, hogy az *egyen- és váltófeszültség szuperpozíciója* esetén is lesz mintázatképződés. Vizsgálataim célja annak feltérképezése volt, hogyan változik a szuperpozíció során a stabil alapállapot tartományát határoló görbe az $U_{ac}-U_{dc}$ síkon, illetve milyen morfológiai változások következnek be a határológörbe mentén haladva. Mínt hogy az egyenfeszültségű mintázat a folyadékkristálytól függően elektrokonvekció helyett áramlásmentes flexodomén is lehet, míg a váltófeszültségű mintázat a frekvenciától függően vezetési vagy dielektromos hengerekből állhat, mind a négy lehetséges kombinációra kiterjesztettem a vizsgálatokat, melyek eredményét összevettem a standard modell elméleti várakozásaival.

Homeotrop (- +) folyadékkristályban elektrokonvekció csak egy feszültséggel indukált homogén deformációt, a Freedericksz-átmenetet követően léphet fel. Először kutatócsoportunk figyelte meg, hogy ilyen mintákban az elektrokonvekció küszöbe felett egy újabb instabilitás, a *merőleges hengerek – abnormális hengerek átalakulás* következik be, ami a direktor azimutszögének elfordulásával jár [Richter1994]. E megfigyelés váltotta ki a standard modell gyengén nemlineáris közelítésének továbbfejlesztését, hogy figyelembe vehesse a direktor elfordulását eredményező spontán szimmetriasértést [Rossberg1996]. Vizsgálataim célja a direktor azimutszögének mérésre alkalmas eljárás kifejlesztése és ennek segítségével a *merőleges hengerek – abnormális hengerek* átalakulás pontos jellemzése, a küszöbfeszültség és a direktorszög frekvenciafüggésének megállapítása és ezek révén a továbbfejlesztett elméleti leírás következtetései igazolása volt.

Homeotrop cellában a mintázat rendezettségét az elektromos térre merőlegesen alkalmazott *mágneses térrel* tudjuk megnövelni. Az erős mágneses tér viszont befolyásolhatja a mintázatképződést. Vizsgálataimmal a mágneses térnek az elektrokonvekció küszöbjellemzőire és a *merőleges hengerek – abnormális hengerek* átalakulásra gyakorolt hatását igyekeztem

feltérképezni.

A kontrollparaméterek módosítása általában a mintázat hullámvektorának megváltozását vonja maga után. Kiterjedt mintában a hullámvektor megváltozása *hibahelyek (diszlokációk) keltése, mozgása* és annihilációja által történik. A hibahelyek dinamikáját a standard modell gyengén nemlineáris közelítésében lehet leírni [Bodenschatz1988b, Bodenschatz1991]. Korábbi kísérleti vizsgálatok az áramlási hengerek mentén mozgó hibahelyekre igazolták az elmélet következtetéseit [Goren1989]. Céлом olyan kísérleti módszer kifejlesztése volt, melynek segítségével a hibahelyeknek az áramlási hengerekre merőleges mozgását lehet ki-kényszeríteni és vizsgálni.

A nenstandard elektrokonvekció egyik típusa a „*prewavy*” *mintázat*, melyet korábban csak egy folyadékkristályban (MBBA) figyeltek meg [Kai1976, Petrescu1976]. Vizsgálataimmal e mintázatot igyekeztem minél pontosabban jellemezni a direktor azimutszöge feszültség- és frekvenciafüggésének meghatározásával. Kerestem továbbá más olyan folyadékkristályt, ahol e mintázat szintén kimutatható.

A *hajlott törzsű (banán alakú) folyadékkristályok* a nematikus folyadékkristályok egy nem szokványos tulajdonságokkal rendelkező csoportját képezik. Ezen anyagok mintázatképződését korábban még nem vizsgálták. Vizsgálataim célja annak kiderítése volt, vajon egy ilyen anyagban fellép-e elektrokonvekció; ha igen akkor milyen morfológiájú és küszöbfeszültségű mintázat található, illetve ez mennyiben különbözik a rúd alakú nematikus folyadékkristályokban megfigyeltektől. E különbségek feltérképezéséhez banán és rúd alakú molekulák elegyeit is felhasználtam.

A nemstandard elektrokonvekció másik típusát a *nagy pozitív dielektromos anizotrópiájú (+ +) nematikus folyadékkristályokban* lehet megfigyelni. A mintázatok itt az elektromos tér erősen stabilizáló dielektromos forgatónyomatéka ellenére fejlődnek ki. Célunk a mintázatok küszöbsajátosságainak meghatározása, valamint az egyen- és váltófeszültség szuperpozíciójával történő gerjesztés hatásainak feltérképezése volt.

A fent bemutatott témakörök a mérések elvégzésének időpontjában az elektrokonvekció aktuális, még nyitott kérdései közé tartoztak. Aktualitásukat egyrészt az alig korábban továbbfejlesztett elméleti leírás ellenőrzésének szükségessége adta, melynél az eredmények a problémakör megnyugtató lezárását segítették elő. Más esetekben a vizsgálatok az anyagi és kontroll paraméterek korábban nem vizsgált tartományaira, illetve a még nem feltárt mechanizmusú mintázatok jellemzőinek feltérképezésére terjedtek ki. Ezen eredmények az elméleti leírás későbbi továbbfejlesztéséhez szolgálhatnak kiindulási alapul.

3. Új tudományos eredmények (tézisek)

- T1 Különböző vastagságú és elektromos vezetőképességű planáris N5 nematikus folyadékkristály mintákon meghatároztam a váltakozó feszültséggel keltett elektrokonvekciós mintázatok küszöbfeszültségének és hullámszámának, valamint a haladó hullámok sebességére jellemző Hopf-frekvenciának a meghajtó frekvenciától való függését [S1]. Az elmélettel összehasonlítást elősegítendő megmértem az N5 néhány fontos, a numerikus szimulációk elvégzéséhez szükséges anyagi paraméterét (a dielektromos permittivitás és az elektromos vezetőképesség anizotropiáját, valamint a rugalmas állandókat) [S1]. A kapott eredmények igazolták, hogy a Hopf-frekvencia reciproka a vezetőképesség gyökével és a mintavastagság köbével skálázódik, amint azt a haladó hullámok értelmezésére kifejlesztett gyenge elektrolit modell [Treiber1995] megjósolta.
- T2 Fénydiffrakcióval tanulmányoztam a planáris nematikus folyadékkristályban váltófeszültséggel keltett elektrokonvekciós mintázatoknak a feszültség lekapcsolásakor bekövetkező lebomlását. Megmértem a lebomlás sebességét különböző hullámszámú mintázatok esetén és megállapítottam, hogy az a hullámszám négyzetétől közel kvadratikusan függ [S2, S4]. A bayreuth-i kutatók által kidolgozott elmélet szerint a lebomlás több, eltérő karakterisztikus idővel jellemzett, relaxációs módus szuperpozíciójaként írható le. Megállapítottam, hogy a hullámszám növelésekor egyre gyorsabb módusok határozzák meg a relaxáció folyamatát [S2, S4]. A módus kiválasztódását a kezdeti feltétel (a mintázat direktorprofilja) határozza meg. Megmutattam, hogy a meghajtó feszültség jelalakját szinuszosról négyszögjelre cserélve a kezdeti feltétel megváltoztatható és ezáltal a módus kiválasztódás a lassabb módusok felé eltolható [S3].
- T3 Polarizációs mikroszkópra szerelt gyors kamerával és fénydiffrakcióval egyaránt vizsgáltam az elektrokonvekciós mintázatoknak a meghajtó váltófeszültség periódusán belüli időfüggését. Megállapítottam, hogy nagy ($f > 10$ Hz) frekvencián a vezetési elektrokonvekciós mintázat (ferde vagy merőleges hengerek) stacionárius, kontrasztja az elméleti várakozásoknak megfelelően gyakorlatilag állandó; ezzel szemben, extrém alacsony (néhány mHz) frekvencián a vezetési elektrokonvekciós mintázat a meghajtó feszültség félperiódusainak csak a tört részében van jelen [S5, S6, S7, S8]. Az a frekvencia, melynél a nagy frekvencián stacionáris mintázat felvillanások sorozatá-

vá alakul át, jó közelítéssel megegyezik a direktor relaxációs idejének reciprokával [S5, S6]. Elegendően alacsony vezetőképességű mintákban a félperióduson belül, de az elektrokonvekciótól időben elkülönülve, egy más morfológiájú mintázat is felvillan, amit flexoelektromos doménként azonosítottam [S5, S6, S7, S8].

T4 Planáris nematikus folyadékkristályban vizsgáltam szuperponált egyen- és váltófeszültség hatását az elektromos térrel indukált mintázatok kialakulására. Kimutattam, hogy az egyenfeszültség hozzáadására a konduktív és a dielektromos mintázatok közötti átalakulás kritikus frekvenciája lecsökken, sőt a konduktív mintázat teljesen el is tűnhet [S9, S12]. A mintán átfolyó áram mérésével bizonyítottam, hogy az egyenfeszültség hozzáadásával a minta vezetőképessége jelentősen csökken, ami magyarázza a kritikus frekvencia csökkenését. Precíziós impedanciaméréssel kimutattam, hogy a vezetőképesség mellett annak relatív anizotrópiája is csökken egyenfeszültségű előfeszítés hatására [S13, S12]. Megállapítottam, hogy a feszültségugrás hatására bekövetkező vezetőképesség-változás időfüggésének leírásához legalább két időálló szükséges. A gyorsabb változások perces, a lassabbak több órás időskálán következnek be [S12].

Kimértem különböző frekvenciákra a mintázat nélküli tartomány stabilitási határgörbét és meghatároztam, hogy milyen a megjelenő mintázatok morfológiája [S9, S11, S12]. Megállapítottam, hogy az egyen- és váltófeszültség összeadásakor a küszöbfeszültségek emelkednek, vagyis a szuperpozíció a mintázatképződést gátolja. A frekvencia növelésével a gátlás olyan mértékű lehet, hogy a mintázat nélküli tartomány a tiszta egyen-, illetve tiszta váltófeszültségű küszöbök többszöröséig is kiterjedhet [S11, S12].

A fenti eredményeket összevettem az elektrokonvekció flexoelektromossággal kiterjesztett standard elméleti modelljéből konstans vezetőképességet feltételezve kapott elméleti várakozásokkal. Megállapítottam, hogy a határológörbének az egyenfeszültség által dominált szakaszán az elmélet és a kísérlet jó kvalitatív egyezést mutat [S10, S12]. Ezzel szemben a váltófeszültséggel dominált szakaszon az elmélet a küszöb csökkenését jósolja, míg a kísérletben a küszöb növekedését mértem [S11, S12]. Megmutattam, hogy ezt a diszkrepanciát a vezetőképességnek és a vezetőképesség relatív anizotrópiájának egyenfeszültségtől való függése okozza [S12].

T5 Eljárást dolgoztam ki a homeotrop nematikus folyadékkristály elektrokonvekciója során másodlagos instabilitásként fellépő mintázat, a direktor azimutszögének elfordulá-

sával jellemezhető abnormális hengerek, kimutatására [S14, S15, S16, S18]. Különböző frekvenciájú gerjesztő feszültségeknél meghatároztam a *merőleges hengerek* – *abnormális hengerek* átalakulás küszöbfeszültségét, valamint megmértem az azimutszög feszültségfüggését, ami egy villa-bifurkációnak felelt meg [S14, S15, S16, S17]. Megállapítottam, hogy a kapott eredmények jól egyeznek az elektrokonvekció küszöb feletti viselkedésének leírására kifejlesztett, gyengén nemlineáris modell [Rossberg1996] jóslataival [S14]. Megmutattam, hogy a meghajtó feszültség növelésével az abnormális hengerek egy új típusú mintázattá, „CRAZY” hengerekké alakulhatnak át, melyet a konvekción kívül a z - y síkban futó diszklínáció hurkok periodikus sorozata jellemez [S14, S15, S16].

- T6 Kísérletekben vizsgáltam a mágneses tér hatását homeotrop nematikus folyadékkristályban váltófeszültséggel keltett elektrokonvekciós mintázatokra. Megállapítottam, hogy míg magas frekvencián az elektrokonvekció küszöbfeszültsége monoton növekszik a mágneses térrel, alacsony frekvencián a tér függvényében minimummal rendelkezik [S4, S17, S18]. Az elektrokonvekció küszöbfeszültségének kis mágneses terek-nél tapasztalt csökkenését az elektrokonvekciót megelőző Fredericksz-átmenet küszöbcsökkenésének tulajdonítottam [S4, S18].

Megállapítottam, hogy a vizsgált nematikus folyadékkristály (N5) kis mágneses tér esetén a frekvencia csökkentésével *merőleges hengerek* – *ferde hengerek* – *merőleges hengerek* morfológiai átalakulásokat mutat, vagyis két Lifshitz-ponttal rendelkezik [S15, S16, S17, S18]. E szokatlan viselkedést az elektrokonvekció standard modellje alapján elvégzett numerikus szimulációk is igazolták. A mágneses tér növelésével visszakaptam a más anyagoknál megszokott, egy Lifshitz-ponttal jellemzett, *merőleges hengerek* – *ferde hengerek* morfológiai szekvenciát [S18]. Kimértem mágneses térnek kitett homeotrop nematikus folyadékkristályban a *merőleges hengerek* – *abnormális hengerek* bifurkáció küszöbfeszültségének és a bifurkáció során megjelenő direktor elfordulás szögének mágneses tér függését [S4, S18]. A kapott eredmények jó kvantitatív egyezést mutattak az elektrokonvekció gyengén nemlineáris modelljéből [Rossberg1996] számolt görbékkel.

- T7 Eljárást dolgoztam ki mágneses térnek kitett homeotrop nematikus folyadékkristály elektrokonvekciós mintázataiban hibahelyek keltésére és dinamikájuk vizsgálatára [S4, S15, S17, S19]. A mágneses tér elfordítása esetén az elektrokonvekció merőleges hengereinek hullámvektora időlegesen eltér az egyensúlyi, a mágneses térre merőleges

értéktől. Az új egyensúlyi hullámvektorhoz visszatérés hibahelyek (diszlokációpárok) keltése és e hibahelyeknek a hengerekre merőleges elmozdulása, keresztcsúsítása révén történik meg. A hibahelyek sebességének mérésével sikerült igazolni az elektrokonvekció gyengén nemlineáris modelljének Ginzburg–Landau-egyenletei által a sebesség és a hullámvektor eltérése között fennálló kapcsolatra jóslott, logaritmikusan szinguláris összefüggést [S4, S19].

T8 Homeotrop nematikus folyadékkristály (MBBA) elektrokonvekcióját vizsgálva néhány kHz meghajtó frekvenciáknál az elektrokonvekció standard modelljével nem értelmezhető „prewavy” mintázatot találtam. Megállapítottam, hogy e mintázatot a direktor azimutális elfordulása jellemzi [S20]. Megmértem az azimutuszög feszültségfüggését, ami villa-bifurkációra emlékeztet. Megmutattam, hogy a feszültséget fokozatosan lassan növelve, illetve nulláról közvetlenül a kívánt értékre ugorva, mind az azimutuszögre, mind a mintázat hullámhosszára különböző értékeket kapunk [S20].

Megmutattam, hogy a „prewavy” mintázat az MBBA-n kívül más rúd alakú nematikus folyadékkristályokban (N5) [S17], sőt „banán”-nematikus folyadékkristályokban (CIPbis10BB) is megfigyelhető [S21, S22, S23].

T9 Vizsgáltam az elektromos térrel indukált mintázatképződést hajlott törzsű (banán alakú) molekulákból álló nematikus folyadékkristályokban. Megállapítottam, hogy a CIPbis10BB „banán”-nematikus folyadékkristályban csak nemstandard elektrokonvekció lép fel. Alacsony frekvencián párhuzamos hengereket, magasabb frekvenciákon pedig két „prewavy” morfológiát figyeltem meg, melyeket egy mintázat nélküli frekvenciatartomány választ el [S4, S23, S21]. E frekvenciatartomány széléhez közeledve mindkét „prewavy” mintázat küszöbfeszültsége divergál. Megállapítottam, hogy a szokatlannul magas frekvenciákon előforduló „prewavy” mintázat küszöbfeszültsége precedens nélküli csökkenést mutat a frekvencia növelésével [S21].

Megvizsgáltam, hogyan változik a mintázatképződés, ha a „banán”-nematikus folyadékkristályt rúd alakú molekulákból álló nematikus folyadékkristállyal hígítjuk. Megállapítottam, hogy a hígítás hatására az alacsonyfrekvenciás nemstandard mintázat standard elektrokonvekcióvá alakul át, míg a kétféle „prewavy” mintázat frekvenciatartománya a magasabb frekvenciák felé tolódik el. Ha az elegyben a rúd alakú vegyület kerül többségbe, a „banán”-nematikus folyadékkristályra jellemző nagyfrekvenciás mintázat eltűnik [S22].

Megállapítottam, hogy az elegy vezetőképességének jelentős növelésével a „banán”-nematikus folyadékkristályra jellemző viselkedés eltüntethető [S22].

T10 Nagy pozitív dielektromos anizotrópiájú nematikus folyadékkristályban (5CB) az elektrokonvekció standard modelljével nem értelmezhető, nemstandard elektrokonvekciós mintázatokat figyeltem meg. Megállapítottam, hogy mind homeotrop mintákban, mind pedig a Freedericksz-átmenetet követően planáris mintákban a feszültséget növelve előbb kis kontrasztú sejtes, majd nagy kontrasztú, merőleges hengerekből álló mintázat jelenik meg [S24, S25].

Megállapítottam, hogy planáris mintákban az elektrokonvekció megfigyelhető mind egyenfeszültségű, mind váltófeszültségű, mind pedig szuperponált egyen- és váltófeszültségű gerjesztés esetében [S25]. Feltérképeztem az egyes mintázatokhoz tartozó ac és dc feszültségtartományokat. Megállapítottam, hogy a szuperponált gerjesztés esetén egy új mintázat morfológia (a párhuzamos hengerek) is megjelenik [S25].

4. A tézispontok alapjául szolgáló saját tudományos közlemények

- [S1] M. Treiber, N. Éber, Á. Buka, L. Kramer: Travelling waves in electroconvection of the Nematic Phase 5: A test of the weak electrolyte model, *J. Physique II* **7**, 649-661 (1997).
- [S2] N. Éber, S. A. Rozanski, S. Németh, Á. Buka, W. Pesch, L. Kramer: Decay of spatially periodic patterns in a nematic liquid crystal. *Phys. Rev. E* **70**, 061706/1-8 (2004). Preprint in electronic-Liquid Crystals Communications: http://www.e-lc.org/docs/2004_08_30_02_32_15 (2004).
- [S3] W. Pesch, L. Kramer, N. Éber, Á. Buka: The Role of Initial Conditions in the Decay of Spatially Periodic Patterns in a Nematic Liquid Crystal. *Phys. Rev. E* **73**, 061705/1-10 (2006). Preprint in electronic-Liquid Crystals Communications: http://www.e-lc.org/docs/2006_02_23_10_34_41 (2006).
- [S4] Á. Buka, N. Éber, W. Pesch, L. Kramer: Isotropic and anisotropic electroconvection. *Phys. Reports* **448**, 115-132 (2007).

- [S5] **N. Éber**, L.O. Palomares, P. Salamon, A. Krekhov and Á. Buka: Temporal evolution and alternation of mechanisms of electric field induced patterns at ultra-low-frequency driving. *Phys. Rev. E* **86**, 021702/1-9 (2012).
- [S6] **N. Éber**, P. Salamon and Á. Buka: Competition between Electric Field Induced Equilibrium and Non-Equilibrium Patterns at Low Frequency Driving in Nematics. In *Proceedings of the 13th Small Triangle Meeting on Theoretical Physics*, Stará Lesná, November 14-16, 2011, J. Buša, M. Hnatič and P. Kopčanský (eds.), IEP SAS, Košice, 2012, pp. 56-63.
- [S7] P. Salamon, **N. Éber**, A. Krekhov and Á. Buka: Flashing flexodomains and electroconvection rolls in a nematic liquid crystal. *Phys. Rev. E* **87**, 032505/1-10 (2013).
- [S8] Á. Buka, T. Tóth-Katona, **N. Éber**, A. Krekhov and W. Pesch, Chapter 4. The role of flexoelectricity in pattern formation. In eds. Á. Buka and **N. Éber**, *Flexoelectricity in Liquid Crystals. Theory, Experiments and Applications*, Imperial College Press, London, 2012. pp. 101-135.
- [S9] **N. Éber**, P. Salamon, B. Fekete, T. Tóth-Katona, R. Karapinar, M. Sacks, Á. Buka: Electroconvection in a Nematic Liquid Crystal under Superposed AC and DC Electric Voltages, In *Proceedings of the 15th Small Triangle Meeting on Theoretical Physics*, Stará Lesná, October 27-30, 2013, J. Buša, M. Hnatič and P. Kopčanský (eds.), IEP SAS, Košice, 2014, pp. 46–51.
- [S10] A. Krekhov, W. Decker, W. Pesch, **N. Éber**, P. Salamon, B. Fekete, and Á. Buka: Patterns driven by combined AC and DC electric fields in nematic liquid crystals, *Phys. Rev. E* **89**, 052507/1-9 (2014).
- [S11] P. Salamon, **N. Éber**, B. Fekete, and Á. Buka: Inhibited pattern formation by asymmetrical high-voltage excitation in nematic fluids. *Phys. Rev. E* **90**, 022505/1-5 (2014).
- [S12] **N. Éber**, P. Salamon, B. A. Fekete, R. Karapinar, A. Krekhov, and Á. Buka: Suppression of spatially periodic patterns by dc voltage, *Phys. Rev. E* **93**, 042701 (2016).
- [S13] **N. Éber**, B. Fekete, P. Salamon, Á. Buka, A. Krekhov: Influence of DC voltage on the dielectric properties of nematics, in *Materials Research Proceedings*, Vol. 1, Dielectric Materials and Applications ISyDMA 2016, Eds. M. E. Achour, R. Touahni, R.

- Messoussi, M. Elaatmani, M. Ait Ali, Materials Research Forum LLC, Millersville, 2016, pp 42-44.
- [S14] A. G. Rossberg, **N. Éber**, Á. Buka, L. Kramer: Abnormal rolls and regular arrays of disclinations in homeotropic electroconvection. *Phys. Rev. E Rapid Communication* **61**, R25-R28 (2000).
- [S15] Á. Buka, P. Tóth, **N.Éber**, L. Kramer: Electroconvection in homeotropically aligned nematics. *Physics Reports* **337**, 157-169 (2000).
- [S16] **N. Éber**, A. G. Rossberg, Á. Buka, L. Kramer: New Scenarios in the Electroconvection of a Homeotropic Nematic Liquid Crystal. *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* **351**, 161-168 (2000).
- [S17] **N. Éber**, Á. Buka: Electroconvection in homeotropic nematic liquid crystals. *Phase Transitions* **78**, 433-442 (2005).
- [S18] **N. Éber**, Sz. Németh, A. G. Rossberg, L. Kramer, Á. Buka: Magnetic Field Effects on the Thresholds of a Sequence of Transitions in the Electroconvection of a Homeotropic Nematic Liquid Crystal. *Phys. Rev. E* **66**, 036213/1-8 (2002).
- [S19] P. Tóth, **N. Éber**, T.M. Bock, Á. Buka, L. Kramer: Dynamics of defects in electroconvection patterns. *Europhys. Lett.* **57** (6), 824-830 (2002).
- [S20] J.-H. Huh, Y. Hidaka, Y. Yusril, **N. Éber**, T. Tóth-Katona, Á. Buka, S. Kai: Prewavy pattern: a director-modulation structure in nematic liquid crystals. *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* **364**, 111-122 (2001).
- [S21] D. B. Wiant, J. T. Gleeson, **N. Éber**, K. Fodor-Csorba, A. Jákli, T. Toth-Katona: Non-Standard Electroconvection in a Bent Core Nematic. *Phys. Rev. E* **72**, 041712/1-12 (2005) Preprint in electronic-Liquid Crystal Communications, http://www.e-lc.org/docs/2005_04_15_13_57_18 (2005).
- [S22] S. Tanaka, H. Takezoe, **N. Éber**, K. Fodor-Csorba, A. Vajda, and Á. Buka: Electroconvection in nematic mixtures of bent-core and calamitic molecules. *Phys. Rev. E* **80**, 021702/1-8 (2009) Preprint in electronic-Liquid Crystal Communications: http://www.e-lc.org/docs/2009_04_16_07_01_45.

- [S23] Á. Buka, N. Éber, K. Fodor-Csorba, A. Jákli and P. Salamon: Physical properties of a bent-core nematic liquid crystal and its mixtures with calamitic molecules. *Phase Transitions* **85**, 872-887 (2012).
- [S24] P. Kumar, J. Heuer, T. Tóth-Katona, N. Éber, and Á. Buka: Convection-roll instability in spite of a large stabilizing torque. *Phys. Rev. E* **81**, 020702(R)/1-4 (2010).
- [S25] L.E. Aguirre, E. Anoardo, N. Éber and Á. Buka: Regular structures in 5CB liquid crystals under the joint action of ac and dc voltages. *Phys. Rev. E* **85** 041703/1-9 (2012).

5. Irodalmi hivatkozások listája

- [Bahadur1990] B. Bahadur, Dynamic Scattering Mode LCDs, In ed. B. Bahadur, *Liquid Crystals. Applications and Uses, Vol. 1*, (World Scientific, Singapore, 1990), pp. 196–230.
- [Blinov1982] L. M. Blinov, M. I. Barnik, A. N. Trufanov, Modern classification of electrohydrodynamic instabilities in the nematic phase. *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* **89**, 47–55 (1982).
- [Blinov1996] L. M. Blinov, V. G. Chigrinov, *Electrooptic Effects in Liquid Crystal Materials* (Springer, New York, 1996).
- [Bodenschatz1988a] E. Bodenschatz, W. Zimmermann, L. Kramer, On electrically driven pattern-forming instabilities in planar nematics, *J. Phys. (Paris)* **49**(11), 1875–1899, (1988).
- [Bodenschatz1988b] E. Bodenschatz, W. Pesch, L. Kramer, Structure and dynamics of dislocations in anisotropic pattern-forming systems, *Physica D* **32**, 135–145, (1988).
- [Bodenschatz1991] E. Bodenschatz E, A. Weber, L. Kramer, Interaction and Dynamics of Defects in Convective Roll Patterns of Anisotropic Fluids, *J. Stat. Phys.* **64**, 1007–1015 (1991).
- [Buka2006] Á. Buka, N. Éber, W. Pesch, L. Kramer: Convective patterns in liquid crystals driven by electric field. In *Self-Assembly, Pattern Formation and Growth Phenomena in Nano-Systems*. Eds. A. A. Golovin, A. A. Nepomnyashchy, NATO Science Series II, Mathematica, Physics and Chemistry, Vol. 218, Springer, Dordrecht, 2006.

- [Carr1969] E. F. Carr, Influence of electric fields on the molecular alignment in the liquid crystal p-(anisalamino)-phenyl acetate, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* **7**(1), 253–268, (1969).
- [Cross1993] M. C. Cross, P. C. Hohenberg, Pattern formation outside of equilibrium, *Rev. Mod. Phys.* **65**, 851–1112 (1993).
- [Eber2016] N. Éber, P. Salamon and Á. Buka: Electrically induced patterns in nematics and how to avoid them, *Liquid Crystals Reviews* **4**(2), 101–134 (2016).
- [Goren1989] G. Goren, I. Procaccia, R. Rasenat, V. Steinberg, Interactions and Dynamics of Topological Defects: Theory and Experiments near the Onset of Weak Turbulence, *Phys. Rev. Lett.* **63**, 1237–1240 (1989).
- [Helfrich1969] W. Helfrich, Conduction-induced alignment of nematic liquid crystals: basic model and stability considerations, *J. Chem. Phys.* **51**(9), 4092–4105, (1969).
- [Joets1988] A. Joets, R. Ribotta, Localized, time-dependent state in the convection of a nematic liquid crystal, *Phys. Rev. Lett.* **60**, 2164–2167 (1988).
- [Kai1976] S. Kai, K. Hirakawa, Phase diagram of dissipative structures in the nematic liquid crystal under a.c.-field. *Solid State Commun.* **18**, 1573–1577 (1976).
- [Kramer1996] L. Kramer, W. Pesch, *Electrohydrodynamic instabilities in nematic liquid crystals*. In eds. Á. Buka, and L. Kramer, *Pattern Formation in Liquid Crystals*. (Springer-Verlag, New York, 1996) pp. 221–256.
- [Kramer2001] L. Kramer, W. Pesch, Electrohydrodynamics in nematics. In eds. D. A. Dunmur, A. Fukuda, G. R. Luckhurst, *Physical properties of nematic liquid crystals*. (Inspec, London, 2001) pp. 441–454.
- [Krekhov2008] A. Krekhov, W. Pesch, N. Éber, T. Tóth-Katona, Á. Buka: Nonstandard electroconvection and flexoelectricity in nematic liquid crystals. *Phys. Rev. E* **77**, 021705/1-11 (2008).
- [Pesch1996] W. Pesch, L. Kramer, General mathematical description of pattern-forming instabilities. In eds. Á. Buka, L. Kramer, *Pattern formation in liquid crystals*. (Springer-Verlag, New York, 1996). pp. 69–90.
- [Pesch1998] W. Pesch, U. Behn, Electrohydrodynamic convection in nematics. In eds. F. H. Busse, S. C. Müller, *Evolution of spontaneous structures in dissipative continuous systems*. (Lecture Notes in Physics, Vol. 55)(Springer, Berlin–Heidelberg, 1998). pp. 335–383.

- [Petrescu1976] P. Petrescu, M. Giurgea, A new type of domain structure in nematic liquid crystals. *Phys. Lett. A* **59**, 41–42 (1976).
- [Pikin1991] S. A. Pikin, *Structural Transformations in Liquid Crystals*. (Gordon and Breach Science Publishers, 1991).
- [Richter1994] H. Richter, A. Buka, I. Rehberg, On the optical characterization of convection patterns in homeotropically aligned nematics, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* **251**, 181–189 (1994).
- [Rossberg1996] A. G. Rossberg, A. Hertrich, L. Kramer, W. Pesch, Weakly Nonlinear Theory of Pattern-Forming Systems with Spontaneously Broken Isotropy, *Phys. Rev. Lett.* **76**, 4729–4732 (1996).
- [Treiber1995] M. Treiber, L. Kramer, Bipolar electrodiffusion model for electroconvection in nematics. *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* **261** 311–326 (1995).

6. Az értekezés témájához kapcsolódó egyéb publikációs tevékenység

- [E1] Á. Buka, T. Börzsönyi, **N. Éber**, T. Tóth-Katona: Patterns in the bulk and at the interface of liquid crystals. In *Coherent Structures in Complex Systems: Selected Papers of the XVII Sitges Conference on Statistical Mechanics, Held at Sitges, Barcelona, Spain, 5-9 June 2000, Lecture Notes in Physics* **567**, Eds. David Reguera, Luis López Bonilla, José-Miguel Rubí, Springer, 2001, pp.298-318.
- [E2] Á. Buka, **N. Éber**, W. Pesch, L. Kramer: Convective patterns in liquid crystals driven by electric field. In *Self-Assembly, Pattern Formation and Growth Phenomena in Nano-Systems*. Eds. A. A. Golovin, A. A. Nepomnyashchy, NATO Science Series II, Mathematica, Physics and Chemistry, Vol. 218, Springer, Dordrecht, 2006. Preprint in electronic-Liquid Crystal Communications, http://www.e-lc.org/docs/2005_07_12_04_29_54 (2005).
- [E3] J. Harden, B. Mbanda, **N. Éber**, K. Fodor-Csorba, S. Sprunt, J.T. Gleeson, A. Jákli: Giant flexoelectricity of bent-core nematic liquid crystals. *Phys. Rev. Lett.* **97**, 157802/1-4 (2006). Preprint in electronic-Liquid Crystals Communications: http://www.e-lc.org/docs/2006_07_18_08_47_15 (2006).

- [E4] T. Tóth-Katona, A. Cauquil-Vergnes, **N. Éber**, Á. Buka: Non-standard electroconvection with Hopf-bifurcation in a nematic with negative electric anisotropies. *Phys. Rev. E* **75**, 066210/1-12 (2007). Preprint in electronic-Liquid Crystals Communications: http://www.e-lc.org/docs/2006_12_15_06_27_48 (2006).
- [E5] **N.Éber**, A. Jákli, J. Harden, J. Gleeson, D. Wiant, S. Sprunt, K. Fodor-Csorba, T. Tóth Katona, Y. Shimbo, H. Takezoe, Á. Buka: Flexoelectricity and electroconvection in a banana nematic. *International Symposium on Banana Liquid Crystals - Polarity, Chirality, Biaxiality and Frustration (BANANA'07)*, Tokyo, 10-12 September, 2007, Proceedings/Extended Abstracts. pp. 30-34.
- [E6] T. Tóth-Katona, **N. Éber**, Á. Buka, A. Krekhov: Flexoelectricity and competition of time scales in electroconvection, *Phys. Rev. E* **78**, 036306/1-12 (2008).
- [E7] Tóth Katona T, **Éber N**, Krekhov A, Buka Á: Competing time-scales in electroconvection. In *Proc of the 36th German Topical Meeting on Liquid Crystal*, Magdeburg, Germany, March 12-14, 2008, Proceedings/Extended Abstracts. p. 109-112 (2008).
- [E8] A. Krekhov, W. Pesch, **N. Éber**, T. Tóth-Katona, Á. Buka: Nonstandard electroconvection and flexoelectricity in nematic liquid crystals. *Phys. Rev. E* **77**, 021705/1-11 (2008). Preprint in electronic-Liquid Crystals Communications: http://www.e-lc.org/docs/2007_09_14_08_02_35 (2007).
- [E9] A. Jákli, M. Chambers, J. Harden, M. Madhabi, R. Teeling, J. Kim, Q. Li, G.G. Nair, **N. Éber**, K. Fodor-Csorba, J.T. Gleeson, S. Sprunt: Extraordinary properties of nematic phases of bent-core liquid crystals. *Emerging Liquid Crystal Technologies III*, San Jose, January 20-24, 2008, *Proc. SPIE* Vol. **6911**, 691105/1-10 (Jan. 29, 2008).
- [E10] T. Tóth-Katona, **N. Éber**, Á. Buka: Flexoelectricity in electroconvection. *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* **511**, 11-24 (2009).
- [E11] P. Salamon, **N. Éber**, Á. Buka, J. T. Gleeson, S. Sprunt, and A. Jákli, Dielectric properties of mixtures of a bent-core and a calamitic liquid crystal *Phys. Rev. E* **81**, 031711 (2010).
- [E12] T. Tóth-Katona, **N. Éber**, and Á. Buka: Temporal response to harmonic driving in electroconvection. *Phys. Rev. E* **83**, 061704/1-8 (2011). Preprint in electronic-Liquid Crystal Communications: http://www.e-lc.org/docs/2008_04_05_13_56_07 (2008).

- [E13] **N. Éber**, L.O. Palomares, P. Salamon, A. Krekhov, Á. Buka: Competition between Electric Field Induced Equilibrium and Dissipative Patterns at Low Frequency Driving in Nematics. *24th International Liquid Crystal Conference*, Mainz, August 19th - 24th, 2012, Proceedings/Extended Abstracts, 5551_0884.pdf.
- [E14] P. Salamon, **N. Éber**, M. Lehmann, J.T. Gleeson, S. Sprunt and A. Jákli, Dielectric technique to measure the twist elastic constant of liquid crystals - The case of a bent-core material. *Phys. Rev. E* **85**, 061704 (2012).
- [E15] Á. Buka and **N. Éber** (eds.): *Flexoelectricity in Liquid Crystals. Theory, Experiments and Applications*, Imperial College Press, London, 2012.
- [E16] A. Jákli, J. Harden and **N. Éber**: Chapter 3. Flexoelectricity of bent-core molecules, In eds. Á. Buka and **N. Éber**, *Flexoelectricity in Liquid Crystals. Theory, Experiments and Applications*, Imperial College Press, London, 2012. pp. 61-99.
- [E17] **N. Éber**: Appendix A. Measured Flexoelectric Coefficients of Nematic Liquid Crystals, In eds. Á. Buka and **N. Éber**, *Flexoelectricity in Liquid Crystals. Theory, Experiments and Applications*, Imperial College Press, London, 2012. pp. 249-265.
- [E18] N. Tomašovičová, P. Kopčanský, **N. Éber**: Chapter 11, Magnetically Active Anisotropic Fluids Based on Liquid Crystals, In Ed. H.G. Lemu, *Anisotropy Research: New Developments*, (Nova Science Publishers, 2012), pp. 253-282.
- [E19] L. O. Palomares, P. Salamon, **N. Éber**, Á. Buka: Pattern Formation in a Nematic Submitted to Low Frequency Square Wave and DC Voltages, 24th International Liquid Crystal Conference (ILCC 2012), Mainz, 19–24 August, 2012, poszter PI-015.
- [E20] P. Salamon, **N. Éber**, Á. Buka, T. Ostapenko, S. Dölle, and R. Stannarius: Magnetic control of flexoelectric domains in a nematic fluid, *Soft Matter* **10**, 4487-4497 (2014).
- [E21] A. Jákli and **N. Éber**, Chapter 24, Electromechanical effects in liquid crystals, In Eds. J. W. Goodby, P. J. Collings, T. Kato, C. Tschierske, H. F. Gleeson, P. Raynes, *Handbook of Liquid Crystals, 2nd Edition, Vol. 8. Applications of Liquid Crystals*. Wiley-VCH Verlag, 2014, pp. 751-772.
- [E22] Y. Xiang, Y. Liu, Á. Buka, **N. Éber**, Z. Zhang, M. Xu, and E. Wang: Electric-field-induced patterns and their temperature dependence in a bent-core liquid crystal. *Phys. Rev. E* **89**, 012502/1-9 (2014).

- [E23] Y. Xiang, M. Zhou, M. Xu, P. Salamon, **N. Éber**, and Á. Buka: Unusual polarity-dependent patterns in a bent-core nematic liquid crystal under low-frequency ac field, *Phys. Rev. E* **91**, 042501 (2015).
- [E24] M. Xu, M. Zhou, Y. Xiang, P. Salamon, **N. Éber**, and Á. Buka: Domain structures as optical gratings controlled by electric field in a bent-core nematic. *Optics Express* **23**(12), 15224 (2015).
- [E25] **N. Éber**, P. Salamon and Á. Buka: Electrically induced patterns in nematics and how to avoid them, *Liquid Crystals Reviews* **4**(2), 101-134 (2016).
- [E26] Y. Xiang, H. Jing, Z. Zhang, W. Ye, M. Xu, E. Wang, P. Salamon, **N. Éber**, and Á. Buka: Tunable optical grating based on the flexoelectric effect in a bent-core nematic liquid crystal, *Phys. Rev. Appl.* **7**, 064032 (2017).
- [E27] Á. Buka, and **N. Éber**: Nematic Liquid Crystals: Instabilities. In: S. Hashmi (editor-in-chief), *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*. Oxford: Elsevier; 2018. pp. 1-10.
- [E28] **N. Éber**, Y. Xiang, and Á. Buka: Bent core nematics as optical gratings, *J. Mol. Liq.* **267**, 436-444 (2018).
- [E29] H. Jing, Y. Xiang, M. Xu, E. Wang, J. Wang, **N. Éber**, Á. Buka: Light controllable electroconvection patterns in a chiral nematic liquid crystal, *Phys. Rev. Appl.* **10**, 014028 (2018).
- [E30] W. Pesch, A. Krekhov, **N. Éber**, Á. Buka: Nonlinear analysis of flexodomains in nematic liquid crystals, *Phys. Rev. E* **98**, 032702 (2018).
- [E31] H. Jing, M. Xu, Y. Xiang, E. Wang, D. Liu, A. Poryvai, M. Kohout, **N. Éber**, and Á. Buka: Light Tunable Gratings Based on Flexoelectric Effect in Photoresponsive Bent-Core Nematics, *Adv. Optical Mater.* (2019), doi:10.1002/adom.201801790.