

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM
TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR

Modern fizikai laboratórium

Egyetemi jegyzet



ELTE Budapest, 1995

Szerzők:

Dr. Balázs András
Dr. Deák Ferenc
Dr. Éber Nándor
Dr. Fricsovszky György
Dr. Kovács György
Dr. Kürti Jenő
Dr. Mészéna Géza
Mészáros Csaba
Dr. Papp Elemér
Rajczy Péter
Dr. Rozlosnik Noémi
Ungvárai János

© Dr. Papp Elemér

Lektorálta:

Dr. Hartmann Ervin

A kézirat elkészítése az Alapítvány a Magyar Felsőoktatásért és Kutatásért támogatásával történt.

TARTALOMJEGYZÉK

| | |
|---|-----|
| Fizikai állandók | 3 |
| Előszó | 7 |
| 1. A hőmérsékleti sugárzás vizsgálata (<i>Kovács György</i>) | 9 |
| 2. Az elemi töltés meghatározása (<i>Kovács György</i>) | 19 |
| 3. Atomok gerjesztési potenciáljának vizsgálata (<i>Kovács György</i>) | 25 |
| 4. A Compton-szórás (<i>Mészáros Csaba</i>) | 31 |
| 5. Az elektronspin rezonancia (<i>Kürti Jenő, Rozlosnik Noémi</i>) | 39 |
| 6. A Zeeman-effektus (<i>Papp Elemér</i>) | 57 |
| 7. Az optikai pumpálás (<i>Papp Elemér</i>) | 67 |
| 8. A hidrogén és az alkáliatomok optikai színekének vizsgálata (<i>Ungvárai János</i>) | 79 |
| 9. A röntgenfluoreszcencia analízis (XRF) és a Moseley-törvény (<i>Deák Ferenc</i>) | 97 |
| 10. A jódmolekula disszociációs energiája (<i>Meszéna Géza</i>) | 105 |
| 11. Spektroszkópai mérések (<i>Papp Elemér, Rozlosnik Noémi</i>) | 113 |
| 12. Infravörös- és Raman-spektroszkópia (<i>Rajczy Péter</i>) | 119 |
| 13. Molekulamodellezés PC-n (<i>Balázs András, Rajczy Péter</i>) | 131 |
| 14. A holográfia (<i>Fricsovszky György</i>) | 153 |
| 15. A Fourier-optika (<i>Fricsovszky György</i>) | 169 |
| 16. A diffúzió vizsgálata (<i>Fricsovszky György</i>) | 185 |
| 17. Folyadékkristályok vizsgálata (<i>Éber Nándor, Rozlosnik Noémi</i>) | 195 |
| Függelék | |
| F1. Atomfizika (<i>Papp Elemér</i>) | 213 |
| F2. Molekulaspektroszkópia (<i>Rajczy Péter</i>) | 231 |
| F3. A koherens optika elemei (<i>Fricsovszky György</i>) | 249 |

17. FOLYADÉKKRISTÁLYOK VIZSGÁLATA

1. BEVEZETÉS

A folyadékkristályok iránti érdeklődés az utóbbi évtizedekben mind tudományos, mind gyakorlati szempontból jelentősen megnőtt. A folyadékkristályos kijelzőket már a mindennapi életben is használjuk, a ferroelektromos folyadékkristályok felfedezése pedig új utakat nyitott ábrák gyors megjelenítésére (pl. TV-képernyő készítésére). A mérés során a folyadékkristályok néhány tulajdonságát ismerhetjük meg.


2. A FOLYADÉKKRISTÁLYOK SZERKEZETE


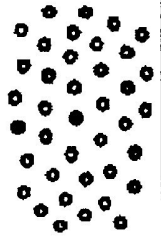

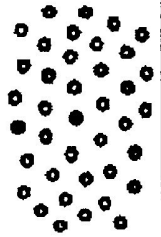
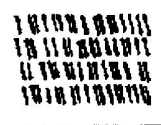
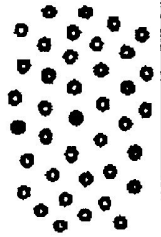

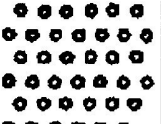
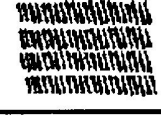
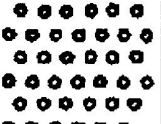
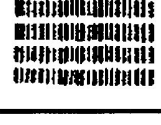

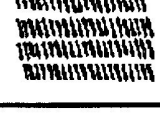

A folyadékkristály elnevezés egy különleges halmazállapotot jelöl, amely megnyúlt alakú szerves molekulákból álló kristályok megolvadásakor jön létre. Ebben az állapotban az anyag részben kristályokra, részben folyadékokra jellemző tulajdonságokat mutat. Mechanikai tulajdonságaikban inkább folyadékokra emlékeztetnek, optikai, dielektromos és más egyéb tulajdonságaiban azonban kristályokra jellemző anizotrópiát mutatnak. A folyadékkristályos állapot mindig csak egy meghatározott hőmérséklettartományban áll fenn, egy jól definiált hőmérsékleten az anyag átalakul szokásos (izotróp) folyadékká.

A folyadékkristályok tanulmányozása során kiderült, hogy ezek több csoportba oszthatók. A felosztást polarizációs mikroszkópban látható jellegzetes ábrák (texturák) és más fizikai vizsgálatok alapján lehet elvégezni. Az egyes csoportok közötti különbségek mélyebb okát elsősorban röntgendiffrakciós vizsgálatok segítségével sikerült tisztázni.

Valamennyi folyadékkristály közös sajátága, hogy bennük a molekulák irány szerint rendezetten helyezkednek el, ugyanakkor – ellentétben a szilárd kristályos állapottal – a molekulák tömegközéppontjai nem alkotnak háromdimenziós rácsot. Az egyes folyadékkristály-csoportok közötti különbség lényegében a tömegközéppontok rendezettségének mértékében fennálló eltérésekből adódik.

R
E
N
D
E
Z
E
T
T
S
É
G



| Fázis | Direktorral párhuzamos metszet | Direktorra merőleges metszet | Megjegyzés |
|----------------|---|---|---|
| N |  |  | 3D folyadék, egytengelyű |
| S _A |  |  | 2D folyadék, merőleges, egytengelyű |
| S _C |  |  | 2D folyadék, dőlt, kéttengelyű |
| S _B |  |  | hexagonális merőleges, egytengelyű |
| S _I |  |  | hexagonális, dőlt, kéttengelyű |
| S _E |  |  | 2D kristály, halszállkás, merőleges egytengelyű |
| S _G |  |  | pszeudo, halszállkás, dőlt, kéttengelyű |

1. ábra A folyadékkristályok fontosabb típusai

a) Nematikus folyadékkristályok

A folyadékokhoz legközelebb álló folyadékkristályok az úgynevezett nematikus (N) folyadékkristályok. Ebben az állapotban a tömegközéppontok elrendeződése véletlenszerű, a molekulák csak irány szerint rendezettek (1. ábra). A nematikus folyadékkristályok – az izotróp folyadékokhoz hasonlóan – semmilyen irányú nyírással szemben sem tanúsítanak ellenállást. A "nematikus" elnevezés onnan származik, hogy polarizációs mikroszkóppal gyakran jellegzetes fonalak figyelhetők meg bennük (nema görögül fonalat jelent).

A nematikus fázisban a molekulák nincsenek tökéletesen egy irányba rendezve. A hossz tengelyek elhelyezkedését egy eloszlásfüggvénnyel lehet jellemezni. Az eloszlásfüggvénynek egy adott irányban maximuma van, ezt az irányt egy egységvektorral, az úgynevezett direktorral jellemezzük.

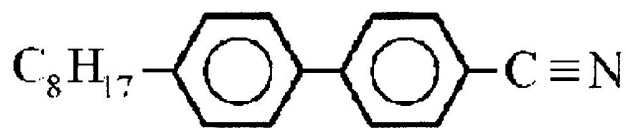
b) Szmektikus folyadékkristályok

A következő folyadékkristály-csoportba azok tartoznak, amelyeknél a molekulák nemcsak irány szerint rendezettek, hanem tömegközéppontjuk párhuzamos síkokban helyezkedik el. A síkok egymáshoz képest szabadon tudnak mozogni. Ezek az ún. szmektikus folyadékkristályok. Az elnevezés onnan ered, hogy ezek az anyagok sok tekintetben úgy viselkednek, mint a szappanok vizes oldata (smegma görögül szappant jelent).

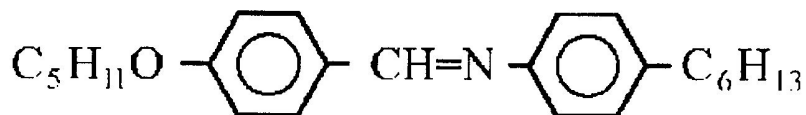
Az 1. ábrán látható módon a szmektikus folyadékkristályoknak több típusa van. Egyrészt a molekulák hossz tengelyének átlagos iránya, a \underline{d} direktor, a szmektikus réteg \underline{n} normálisával nem mindig párhuzamos. Másrészt egy rétegen belül a molekulák tömegközéppontjai elhelyezkedhetnek rendezetlenül vagy rendezetten, sőt a molekulák hossz tengely körüli forgása is befagyhat.

A továbbiak szempontjából lényeges szerepe van a szmektikus C állapotnak. Az ilyen szerkezettel rendelkező anyag makroszkopikus tulajdonságai invariánsak a réteg normálisa és a direktor által meghatározott síkra való tükrözéssel és e síkra merőleges tengely körüli 180° -os elforgatással szemben, e szimmetriaműveletek a szerkezetet önmagába viszik át.

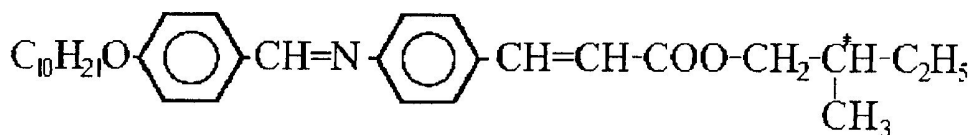
c) A folyadékkristály-molekulák szerkezete



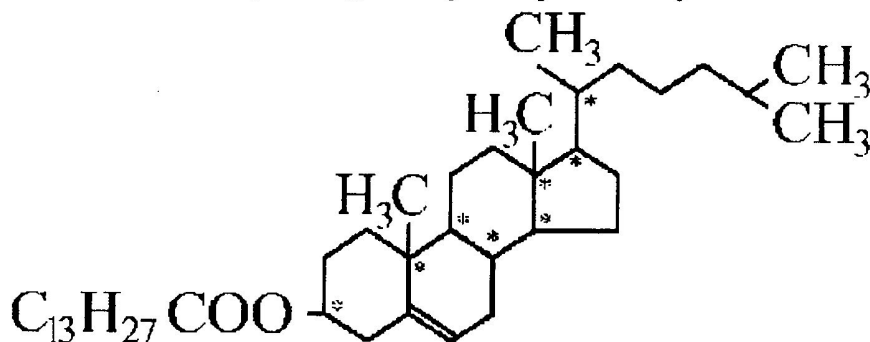
A p-oktil-p'-cianobifenil (8CB)
Izotrop \rightarrow N \rightarrow S_A \rightarrow Kristályos



B peniloxi - benzilidén - hexilanilin
Izotrop \rightarrow N \rightarrow S_A \rightarrow S_C \rightarrow S_B \rightarrow S_F \rightarrow S_G \rightarrow Kristályos



C p - deciloxi - benzilidén - p' - amino-2-metil-cinnamát (DOBAMBC)
Izotrop \rightarrow S*_A \rightarrow S*_C \rightarrow S*_I \rightarrow Kristályos

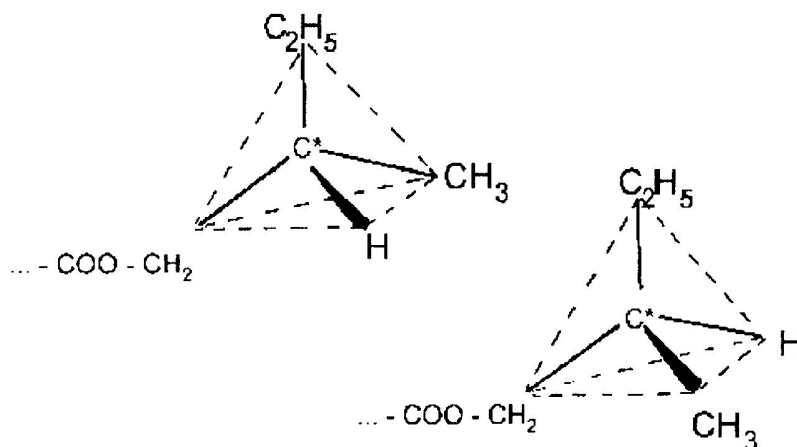


D koleszteril - mirisztát
Izotrop \rightarrow N* \rightarrow S*_A \rightarrow Kristályos

2. ábra Néhány folyadékkristály-molekula szerkezeti képlete és fázisátmeneti sorrendje

A 2. ábrán néhány olyan jellegzetes molekula szerkezete látható, amelyekből álló anyag bizonyos hőmérséklettartományban folyadékkristályos tulajdonságokat mutat. Itt említjük meg, hogy egy adott vegyület a hőmérséklettől függően többféle folyadékkristályos állapotot vehet fel, mint ahogyan ezt az ábra is mutatja.

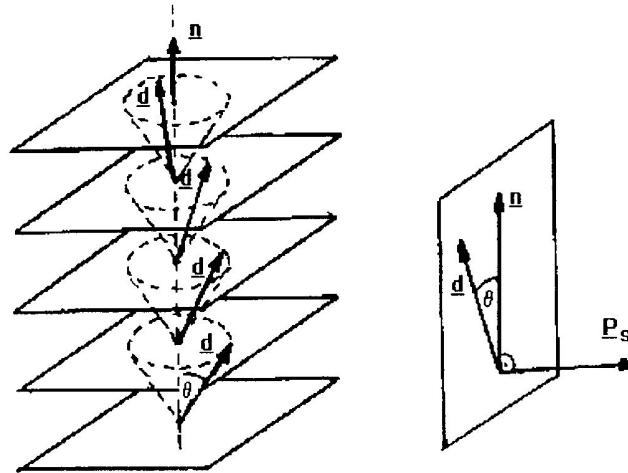
A 2. ábrán a C és D anyagnak van még egy újabb tulajdonsága: mindkét vegyület tartalmaz királis szénatomot (a második többet is). A kiralitás lényege az, hogy egy tetraédes kötésben lévő szénatomhoz a négy irányban más és más atomok, ill. atomcsoportok kapcsolódnak. Ezek a molekulák nem tükörszimmetrikusak, létezik balos, ill. jobbos módosulatuk is, amelyek egymásba nem alakulhatnak át (3. ábra). A tisztán jobbos vagy tisztán balos molekulákból álló anyag optikailag aktív, azaz elforgatja a rajta keresztül haladó poláros fény polarizációs síkját.



3. ábra Egy királis atomcsoport két lehetséges felépítése (DOBAMBC)

A királis molekulákat tartalmazó folyadékkristályban csavarszerkezet alakulhat ki, azaz a direktor egy adott irány mentén haladva periodikusan körbe forog (4. ábra). A periodicitásra jellemző mennyiség az ún. csavarállandó (P). Ez az a távolság, melyen belül a direktor azimutszöge 360° -kal elfordul. A csavarállandó előjeles mennyiség, s a konvenció szerint a jobbsavarnak pozitív érték felel meg. Tipikus

értéke $0,1 \mu\text{m}$ -től néhány μm -ig terjed. A csavarszerkezetre figyelemmel a királis S_C fázist csavart szmektikus C folyadékkristálynak nevezik, és S_C^* -gal jelölik. A nematikus fázis királis megfelelője külön nevet is kapott, ez a koleszterikus (N^* vagy Ch) fázis (először koleszterin-származékok között találtak ilyen anyagokat).



4.ábra Csavarszerkezet a csavart folyadékkristályoknál

Azok az anyagok, amelyeknél a csavarállandó a látható fény hullámhosszába esik, színesek, hiszen emiatt bizonyos színű fényt visszavernek. A csavarállandó hőmérsékletfüggő, ezért az ilyen folyadékkristályok felhasználhatók a hőmérséklet mérésre.

d) Ferroelektromos folyadékkristályok

A tükörszimmetria hiánya miatt az S_C^* anyagok csak egy szimmetriaművelettel szemben invariánsak, ez pedig az $\underline{n} \times \underline{d}$ tengely körüli 180° -os forgatás. E forgatás a tengely-irányú vektorokat helyben hagyja, így az S_C^* anyagok rendelkezhetnek

$$\underline{P}_s = P_s \underline{n} \times \underline{d} / \sin \theta$$

spontán polarizációval. P_s szintén előjeles mennyiség, abszolút értéke $(0-1000) \cdot 10^{-5} \text{ C m}^{-2}$ tartományba esik. E spontán polarizáció jelenléte miatt nevezzük a csavart szmektikus C folyadékkristályokat ferroelektromosoknak. Mivel a spontán polarizáció minden rétegben $\mathbf{n} \times \mathbf{d}$ irányú, tehát iránya a direktorhoz rögzített, a csavartengely, azaz a rétegnormális irányában haladva a spontán polarizáció a direktorokkal együtt körbe forog. Ez azt eredményezi, hogy makroszkopikus méretű S_C^* minta általában nem rendelkezik permanens polarizációval, hiszen csavarállandónyi távolságon a spontán polarizáció mindig kiátlagolódik. Szigorúan véve tehát csak egy szmektikus réteg ferroelektromos.

A fenti megfontolások mutatják, hogy az S_C^* szerkezet szimmetriái a spontán polarizáció megjelenését lehetővé teszik, de a polarizáció eredetéről nem adnak számot. Olyan mikroszkopikus modellel, mely a molekula szerkezete és a spontán polarizáció között egyértelmű kvantitatív kapcsolatot teremtene, még nem rendelkezünk, de kvalitatív képet azért alkothatunk a folyamatról. A molekulák atomjait összetartó kémiai kötésekben az elektroneloszlás általában nem egyenletes, ezért az egyes kötésekhez elektromos dipólmomentum rendelhető hozzá. Ennek eredményeképpen, ha csak a szerkezete nem teljesen szimmetrikus (pl. metán, benzol), a molekula rendelkezik eredő, permanens dipólmomentummal, mely a molekula hossz tengelyével általában nem párhuzamos. A hőmozgás során a molekulák hossz tengelyük körül általában szabadon foroghatnak, így e permanens polarizáció statisztikusan kiátlagolódik.

Az S_C^* fázisban azonban a rétegekben dőlt királis molekulák hossz tengely körüli forgása gátolttá válik, így a statisztikus átlag 0 és a merőleges permanens dipólmomentum értéke közé eső, a hossz tengelyre merőleges dipólmomentumot eredményezhet. Ha az ismert anyagok mért spontán polarizációját a molekulák becsült permanens dipólmomentumával összehasonlítjuk, azt kapjuk, hogy e statisztikus átlag a merőleges dipólmomentum néhány százaléka.

Összefoglalásképpen megállapíthatjuk, hogy folyadékkristályokban a ferroelektromosság fellépéséhez az alábbi feltételeknek kell teljesülnie:

- a) kéttengelyűség (a rétegnormális és a direktor két független kitüntetett irány)
- b) kiralitás (tükörszimmetria hiánya)
- c) molekula merőleges dipólmomentuma.

Az elmúlt években már számos olyan vegyületet állítottak elő, melyek csavart szerkezettel is rendelkezhetnek. Egy adott vegyület esetén az anyagi

paraméterek összessége (optimális hőmérséklettartomány, dőlésszög, csavarállandó, spontán polarizáció stb.) általában nem felel meg igényeinknek, ezért tiszta anyagok helyett keverékeket szokás használni, ahol az egyes komponensek alkalmas választásával szinte tetszőleges anyagi paraméter beállítható.

Ebben az is segítséget nyújt, hogy pl. a ferroelektromosság fenti három feltételének nem kell szükségszerűen a keverék minden tagjára teljesülnie, sőt az is elég lehet, ha az egyes feltételeket különböző komponensek testesítik meg. Pl. ha nemkirális szmektikus C (tehát nem ferroelektromos) folyadékkristályhoz kis mennyiségű (néhány %) merőleges dipóllal rendelkező királis anyagot (nem kell folyadékkristálynak lennie) adunk adaléknak, a keverék ferroelektromos, S^*_C szerkezetű lehet.

Itt kívánjuk megjegyezni, hogy az S^*_C nem az egyedüli folyadékkristály-fázis, mely ferroelektromosságot mutathat. Léteznek további, alacsonyabb hőmérsékleten előforduló, rendezettebb ferroelektromos fázisok (pl. S^*_F , S^*_G , S^*_I) is. Ezek ugyanúgy tartalmaznak királis molekulákat, továbbá réteges, dőlt szerkezetűek, mint az S^*_C , az eltérés közöttük a szmektikus rétegeken belüli tömegközponti rendezettség mértékében van.

3. TÖRÉSMUTATÓ MÉRÉSE NEMATIKUS FÁZISBAN

A folyadékkristályok jellegzetes tulajdonsága, hogy kettőtörőek. Általában a törés jelensége azzal függ össze, hogy a mintán áthaladó fény elektromos térerősségvektora az anyag molekuláit polarizálja. Ez a polarizáció, amely időben periodikusan változik, másodlagos sugárázhoz vezet. Az eredeti fénysugár és a másodlagos sugárázás interferenciája hozza létre a megtört sugarat.

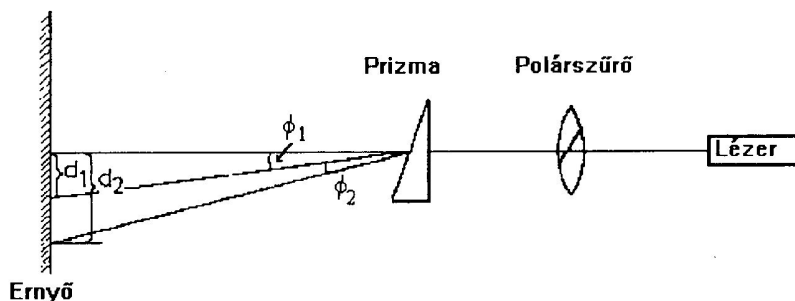
Anizotróp közegekben – szilárd kristályokban és folyadékkristályokban – az elektromos tér által indukált polarizáció nagysága és iránya az elektromos tér irányától is függ. Ez általános esetben arra vezet, hogy az anizotróp közegre beeső fénysugár két komponensre válik szét. A két komponens különböző fázissebességgel halad a közegben, következésképpen, ha a fény valamilyen szögben esik a két közeg határfelületére, a két sugár különböző irányba halad tovább. Ez a kettőtörés.

A nematikus folyadékkristályok optikailag úgynevezett egytengelyű kristályokként viselkednek. Az egytengelyű kristályokat az jellemzi, hogy létezik bennük egy szimmetriatengely, amelyre merőleges

síkban minden irány egyenértékű (legalábbis optikai szempontból). Ez a szimmetriatengely a direktorral esik egybe. A kettőtörés során keletkező egyik fénysugár a szimmetriasíkban van polarizálva (azaz az elektromos térerősségvektor ebben a síkban fekszik). Ez az úgynevezett ordinárius sugár, a fázissebesség c/n_o , ahol n_o az ordinárius törésmutató. A másik sugár az ordinárius sugárra merőlegesen polarizált (extraordinárius sugár), fázissebessége c/n_e , ahol n_e az extraordinárius törésmutató.

Általában egy mintában – amely két üveglap közé helyezett folyadékkristály-rétegből áll – a direktor helyről helyre változik. A közönséges mikroszkópban nem használjuk ki a fény polarizációs tulajdonságait, a leképezés (alsó megvilágítás esetén) a vizsgált tárgyban levő esetleges inhomogenitások vagy a tárgy szélén létrejövő fényszórás alapján keletkezik. Polarizációs mikroszkópban a minta keresztezett polarizátorok között helyezkedik el, így a képben kontraszt-különbségek jelentkeznek aszerint is, hogy az anizotróp tárgyban az adott helyen mekkora a kettőtörés, ill. hogyan helyezkedik el az optikai tengely (a direktor) a beeső fény polarizációjához viszonyítva. A polarizációs mikroszkóp ezért különösen alkalmas a folyadékkristályok vizsgálatára.

A törésmutató méréséhez olyan mintát kell készíteni, amelyben a direktor mindenütt ugyanabba az irányba mutat. Megfelelő kezelési módszerekkel elérhető, hogy a mintát határoló két üveglapon a molekulák egy rögzített irányba orientálódjanak, ekkor az egész mintában ebbe az irányba állnak be a molekulák. A mérésben használt cellánál az üvegre vékony **SiO** réteget párologtattunk. Ez biztosítja, hogy a molekulák az üvegen egy adott irányba álljanak be.



5. ábra Mérési elrendezés a kettőtörés hőmérsékletfüggésének méréséhez

Prizma alakú mintára polarizált sugárnyalábot bocsátunk a prizma beeső lapjára merőlegesen (5. ábra). Ha a beeső sugár polarizációvektorának van az optikai tengelyre merőleges (ordinárius sugármenet) és azzal párhuzamos összetevője is (extraordinárius sugármenet), akkor a prizmat elhagyva a sugár két részre válik, bizonyítva ezzel a folyadékkristály kettőtörő tulajdonságát. Azt a megfelelő polarizációs síkot, amikor a megtört sugarak kb. egyenlő fényességgel, jól láthatók, a prizma és a sugarat kibocsátó lézer közé helyezett polárszűrővel választjuk ki. A prizma adatainak és az eltérülés szögének ismeretében a törésmutatók számíthatók.

Minthogy a prizma törőszöge kicsi, a sugarak eltérése is az, így hosszú fényútra van szükség mérhető eltérés létrehozásához. Az eltérés szögének mérésére több módszer áll rendelkezésre. Az egyik módszer a távolságok mérésén alapszik. A mérés pontosítható, ha a prizma helyére kalibrált optikai rácst teszünk és a különböző rendek elhajlási távolságát mérve az ernyőnket szögekben kalibráljuk. Így rögtön az eltérés szögét olvashatjuk le.

4. A MINTA HŐMÉRSÉKLETÉNEK SZABÁLYOZÁSA

A folyadékkristályok törésmutatói erősen függenek a hőmérséklettől, ezért fontos feladat a mérőcella hőmérsékletének szabályozása.

A hőmérséklet változtatását ultratermosztáttal és vízzel, mint hőcserélő közeggel végezzük. Az ultratermosztátban egy kontakthőmérő érintkezője által vezérelt merülőforraló hőleadása és a vízvezetékéből áramló hideg víz hőfelvétele állandó dinamikus egyensúlyban van, hogy a termosztálandó rész megközelítően a kontakthőmérőn beállított hőmérsékletű legyen. Lényeges tehát, hogy a mérés megkezdése előtt ne felejtjük el a hűtővizet megnyitni az alacsony hőmérsékletű fixpont biztosítása érdekében. A termosztáton levő fokozatkapcsolóval a fűtőspirál teljesítményét állíthatjuk négy fokozatban. A legalsó fokozatban fűtés nincs, csak a keringető szivattyú jár. A minta hőmérsékletét termopárral mérjük.

5. A TÖRÉSMUTATÓ HŐMÉRSÉKLETFÜGGÉSÉNEK ÉRTELMEZÉSE

Mint a mérések mutatják, a nematikus fázisban a törésmutatók – az izotróp fázissal összehasonlítva – erős hőmérsékletfüggést mutatnak. Ez azért is

különös, mert ilyen hőmérsékletfüggés szilárd, kristályos fázisban nem lép fel. A jelenséget a következő módon értelmezhetjük.

A folyadékkristályban a molekulák hossz tengelyei nagy valószínűséggel a direktor irányába állnak. A rendezettség mértékét jellemezhetjük a hossz tengelyek eloszlásfüggvényének második momentumával, az ún. rendparaméterrel. A rendparamétert az

$$S = \frac{1}{2} \langle 3 \cos^2 \theta - 1 \rangle$$

összefüggéssel szokás definiálni, ahol θ egy kiválasztott molekula hossz tengelye és a direktor által bezárt szög. A szögletes zárójel statisztikus átlagot jelöl. Teljes irány szerinti rendezettségénél a rendparaméter értéke 1, izotróp közegben pedig 0.

A rendszer belső energiája akkor lenne minimális, ha a rendezettség tökéletes lenne ($S=1$). A molekulák azonban termikus mozgást végeznek, így az egyensúlynak egynél kisebb rendparaméter felel meg. A hőmérséklet növelésével a termikus mozgás erősödik, tehát a rendezettség mértéke csökken. Ez azt jelenti, hogy a direktor egyre kevésbé lesz kitüntetett irány, így az anyagot jellemző mennyiségek anizotrópiája egyre csökken.

6. FOLYADÉKKRISTÁLYOK ELEKTROOPTIKAI VIZSGÁLATA

A folyadékkristályok anizotrópiája nemcsak az optikai tulajdonságokból, hanem az elektromos térbeli viselkedésükből is nyilvánvalóvá válik. A dielektromos permittivitás folyadékkristályokban tenzorral megadható mennyiség. Egytengelyű folyadékkristályokban (pl. nematikusok)

$$\varepsilon_{ij} = \varepsilon_0(\varepsilon_{\perp}\delta_{ij} + (\varepsilon_{\parallel} - \varepsilon_{\perp})d_i d_j)$$

ahol ε_{\parallel} a direktorral párhuzamos, ε_{\perp} a rá merőleges irányba mért permittivitás, δ_{ij} pedig a Kronecker-delta.

Az elektromos tér az anyag

$$\underline{\mathbf{P}} = \varepsilon \underline{\mathbf{E}} - \varepsilon_0 \underline{\mathbf{E}}$$

polarizációjával hat kölcsön, és olyan direktoreloszlás alakul ki, hogy a

$$W = - \underline{\mathbf{P}} \underline{\mathbf{E}} = \varepsilon_0 E^2 - \underline{\mathbf{E}} \underline{\boldsymbol{\varepsilon}} \underline{\mathbf{E}}$$

kölcsönhatási energia minimális legyen. Könnyen belátható, hogy pozitív dielektromos anizotrópia ($\varepsilon_{\parallel} > \varepsilon_{\perp}$) esetén a direktor a térrel párhuzamosan, negatív anizotrópia ($\varepsilon_{\parallel} < \varepsilon_{\perp}$) esetén pedig a térre merőlegesen áll be.

Ferroelektromos folyadékkristályok (S^*_C) esetén figyelembe kell venni a spontán polarizáció járulékát is, azaz

$$W = - \underline{\mathbf{P}}_s \underline{\mathbf{E}} + \varepsilon_0 E^2 - \underline{\mathbf{E}} \underline{\boldsymbol{\varepsilon}} \underline{\mathbf{E}}$$

és ε alakja is bonyolultabb, mert e rendszer kéttengelyű.

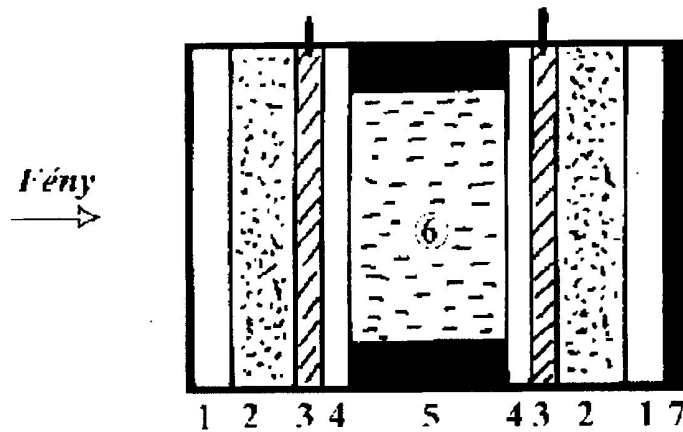
A szokásos kis terek esetén az első tag dominál, tehát ferroelektromos anyagokban a spontán polarizáció beáll a tér irányába, a direktor pedig erre merőleges lesz. Ez egyben azt is jelenti, hogy az elektromos tér az S^*_C fázis csavarszerkezetét képes kicsavarni, eltüntetni, másrészt a direktor átorientálása az erősebb ferroelektromos kölcsönhatás miatt gyorsabban bekövetkezhet, mint pl. nematikusok esetében.

Összefoglalásul elmondhatjuk, hogy az elektromos tér képes a folyadékkristály eredeti direktorelrendeződését megváltoztatni. Mivel a direktor egyben optikai tengely is, eközben az optikai tulajdonságok is változnak. Ez teszi lehetővé, hogy a folyadékkristályokat elektrooptikai kijelzők készítésére felhasználjuk.

Az első, kezdetleges kijelző elkészítése (1968) óta a folyadékkristály-kijelzők modern változatai az elektronika számos területén szinte egyeduralmukodóvá váltak és napjainkban is egyre újabb alkalmazási lehetőséget nyújtanak. A ma gyártott, ill. fejlesztett LCD-knek (LCD=Liquid Crystal Display) számos változata ismert, melyek konstrukciója és működési elve lényegesen különböző lehet. Ennek ellenére vannak közös vonásaik, amiket az alábbiakban összegezhetünk.

7. FOLYADÉKKRISTÁLY-KIJELZŐKRŐL ÁLTALÁBAN

A folyadékkristály-kijelző két üveglap közé zárt folyadékkristályréteget tartalmaz (6.ábra).



- 1 - polarizátor, 2 - üveglap, 3 - átlátszó elektróda,
 4 - orientáló réteg, 5 - távtartó, 6 - folyadékkristály,
 7 - tükör (csak a reflexiós típusoknál van)

6. ábra A folyadékkristályos kijelző tipikus felépítése

E határoló lapok belső felületén átlátszó SnO_2 vezető réteg található, így az elektromos tér az üveglapokra merőleges. Az elektródák alkalmas orientáló bevonattal vannak ellátva (pl. megdörzsölt polimer vagy felgőzölt SiO réteg), melyek kijelölik az elektródákon a direktor irányát. Ez biztosítja, hogy a cella elektromos tér nélkül mindig ugyanabba az alapállapotba kerüljön vissza. A lapokat szigetelő távtartók (1 – 15 μm) választják el, és az egész cella hermetikusan le van zárva. Az üveglapok külső felületére gyakran polarizátor fólia van felragasztva, hogy a cella ki-, ill. bekapcsolt állapota között a szükséges kontraszt megvalósítható legyen.

Minden folyadékkristály-kijelző közös jellemzője, hogy saját fényt nem bocsát ki magából, csak a rajta áthaladó fény intenzitását változtatja meg. Ez teszi lehetővé, hogy a kijelzők minimális teljesítményfelvétellel, kis feszültségekkel működjenek (néhány nW/cm^2 , 1–10 V), így kiválóan használhatók teleppel működő hordozható eszközökben.

Hátrányaik közé sorolható, hogy vezérlésükhöz egyenszint nélküli váltófeszültség szükséges, mert egyenkomponens hatására az elektródák polarizálódhatnak és a cella élettartama ezáltal lecsökken.

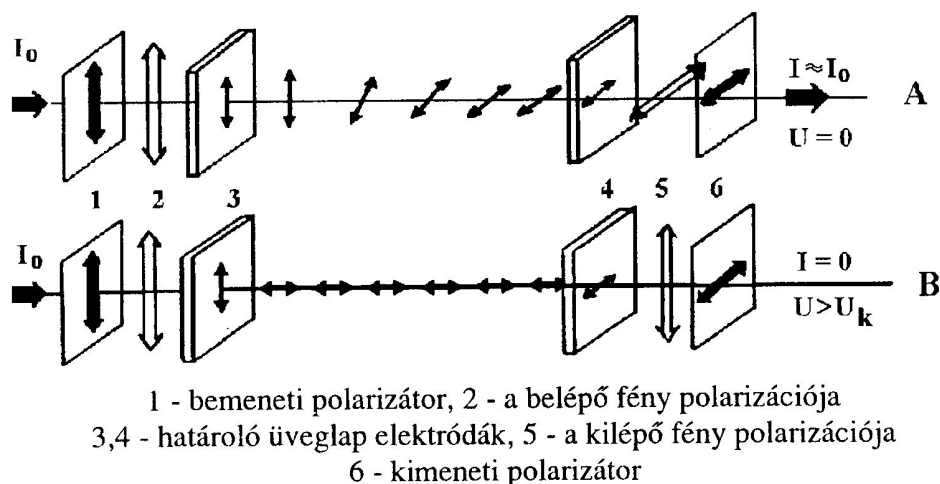
A folyadékkristály-kijelzőkben felhasznált anyagok a gyárak féltve őrzött recept alapján készül, sokszor 10-20 vegyületből álló keverékei, melyekkel az adott alkalmazáshoz legoptimálisabb anyagi paraméterek állíthatók be. Ezek közül talán a működési hőmérséklettartomány a legfontosabb (azaz amikor az anyag folyadékkristály állapotban van). E tartomány alkalmas anyagválasztással már kb. -30°C -tól kb. $+120^{\circ}\text{C}$ -ig terjedhet. A folyadékkristályok alkalmazási köre a kijelző felépítésétől és az elektródák mintázatától függően széles körben változhat.

Mintázat nélküli elektródák fénymodulátornak, hétszegnemeses kijelzők műszerekben, kalkulátorokban, órákban számok megjelenítésére, a multiplex vezérlésű mátrixkijelzők pedig televízió, számítógép képernyőjeként használhatók.

Az alábbiakban két kijelzőtípus működési elvét mutatjuk be. A csavart nematikus kijelző a jelenleg legelterjedtebb, legegyszerűbb kijelzőtípus. A felületstabilizált ferroelektromos folyadékkristály-kijelző ezzel szemben még csak fejlesztés alatt áll, de nagyfelbontású (1000x1000 képpont), gyors mátrixkijelzők megvalósíthatóságát ígéri.

8. A CSAVART NEMATIKUS KIJEJZŐ

Az elektródák olyan felületkezelést kaptak, hogy a molekulák a felülettel párhuzamosan adott irányban, de a két üveglapon egymáshoz képest 90° -os szögben álljanak (7. ábra). A cellát pozitív dielektromos anizotrópiájú nematikus folyadékkristállyal kitöltve a direktor az egyik üveglaptól a másikig haladva fokozatosan elcsavarodik. Mindkét üveglapon polarizátor fólia van felragasztva oly módon, hogy az általuk átengedett fény polarizációja a direktorral párhuzamos legyen, vagyis a polarizátorok keresztezett állapotban vannak. Mivel a mintában kialakuló csavar csavarállandója (kb. $4 \times (5 - 10) \mu\text{m}$) sokkal nagyobb, mint a fény hullámhossza ($0,3 - 0,7 \mu\text{m}$), a cellán merőlegesen áthaladó fény polarizációja a direktorral együtt 90° -ot elfordul.

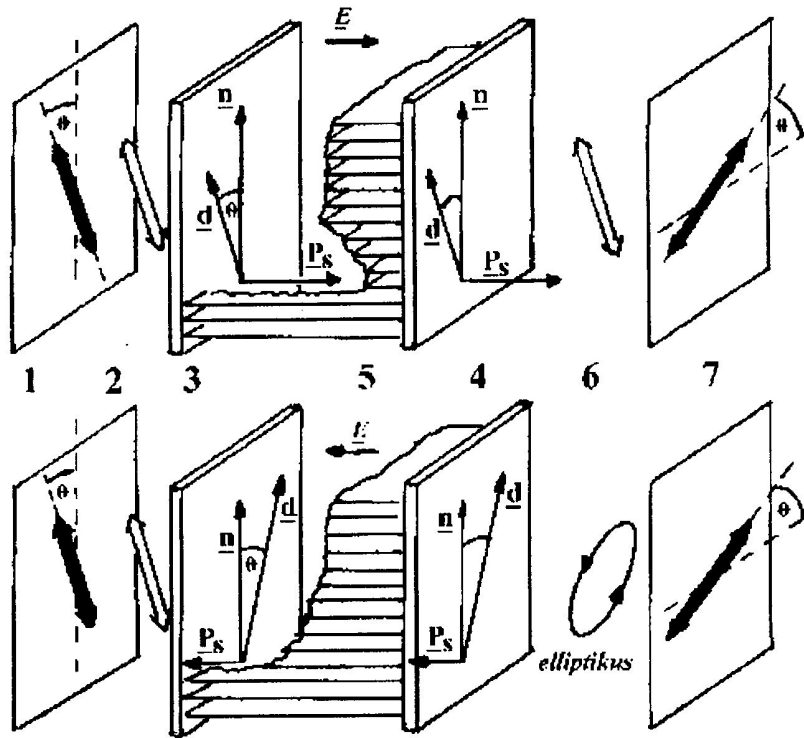


7. ábra A csavart nematikus kijelző felépítése és direktoreloszlása

Az elektromos tér nélküli (kikapcsolt) alapállapotban tehát a mintán átmenő fény intenzitása a keresztezett polarizátorok ellenére maximális. Az elektromos tér hatására a molekulák befordulnak a térrel párhuzamos irányba, ezáltal az optikai forgatás megszűnik, és így a keresztezett polarizátorokon nem megy át a fény, a bekapcsolt állapot tehát sötét. Az elérhető maximális kontrasztviszony kb. 100 :1.

9. FELÜLETSTABILIZÁLT FERROELEKTROMOS FOLYADÉKKRISTÁLY - KIJELZŐ

E kijelző csavart szmeztikus C fázisú, vagyis ferroelektromos folyadékkristályt tartalmaz. A határoló lapokon olyan speciális felületkezelést kell elvégezni, hogy a molekulák a felülettel párhuzamosan helyezkedjenek el. Biztosítjuk azt is, hogy szmeztikus rétegek az elektródákra merőlegesek legyenek. Mivel az S_C^* fázisban a direktor a rétegnormálissal θ szöget zár be, a direktor a felületen csak két helyzetben lehet. E két irány között 2θ szög van, az A helyzetben a spontán polarizáció jobbra, a B helyzetben balra mutat.



1- bemeneti polarizátor, 2 - a belépő fény polarizációja,
 3,4 - határoló üveglap elektródák, 5 - szektikus réteg,
 6 - a kilépő fény polarizációja, 7 - kimeneti polarizátor

8. ábra A ferroelektromos kijelző felépítése

Ez a határfeltétel nyilvánvalóan nem fér össze az S_C^* fázis csavar-szerkezetével, a csavarszerkezet így a csavarállandó – mintavastagság (P/L) aránytól függő mértékben torzult. Ha $P/L > 2$ a felületi kölcsönhatás miatt a csavarszerkezet teljesen eltűnik, a minta teljes vastagságában homogén, az A vagy B helyzetnek megfelelő, direktor-eloszlás alakul ki (8. ábra). Elektromos tér nélküli esetben az A, ill. B beállítás azonos energiájú, így a minta előéletétől függ, hogy a cellában csak A, csak B, vagy mindkét beállítású tartomány található.

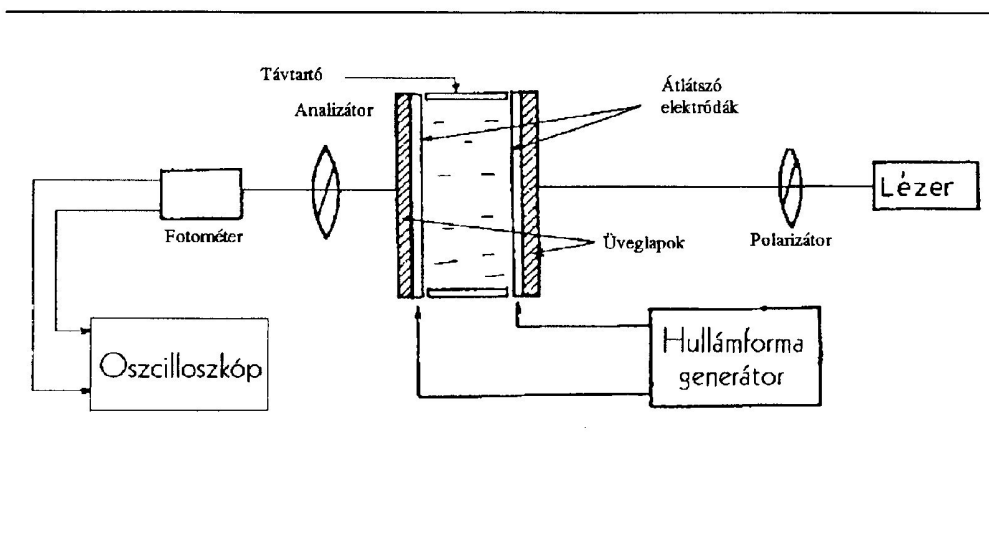
Elektromos tér jelenlétében a ferroelektromos kölcsönhatás révén a spontán polarizáció a térrel párhuzamosan áll be, azaz jobbra mutató tér

esetén az A, balra mutató esetében a B beállítás jön létre. Mindkét beállítás a cellának stabil állapota, azaz a tér megszüntetésekor nem változik meg. A felületstabilizált ferroelektromos kijelző tehát bistabil, az átorientálás csak ellenkező irányú tér hatására következik be.

A cellát helyezük keresztezett polarizátorok közé úgy, hogy a mintába belépő fény polarizációja legyen párhuzamos a direktor irányával a B állapotban. Ekkor a rétegen áthaladó fény tisztán extraordinárius nyalábból áll, és így a keresztezett polarizátorokon átmenő intenzitás $I_B=0$ lesz. Az A állapotban az optikai tengely (a direktor) a B állapothoz képest 2θ szöggel el van fordulva. Az átmenő fény intenzitása ez esetben a fény polarizációja és az optikai tengely közötti szögtől (2θ) valamint a kettőtörő réteg optikai úthosszkülönbségétől ($\Delta s = (n_e - n_o)L$) függ, nevezetesen

$$I_A = I_0 \sin^2(4\theta) \sin^2(\pi \cdot \Delta s / \lambda)$$

Maximális kontrasztot akkor kaphatunk, ha a dőlésszög az S^*_C fázisban $\theta = 22,5^\circ$, és $\Delta s \approx \lambda/2$. Mivel a törésmutató anizotrópia szokásos értéke $n_e - n_o = 0,12 - 0,18$, ez utóbbi feltétel $L \approx 1,5 - 2 \mu\text{m}$ mintavastagsággal elégíthető ki.



9. ábra A mérési elrendezés a folyadékkristályos kijelzők méréséhez

MÉRÉSI FELADATOK

1. Vegyük fel az ék alakú minta törésmutatójának hőmérsékletfüggését a 15–55 °C-os tartományban, 1–2 °C-os lépésekben! Számítsuk ki és ábrázoljuk a mért pontokban az átlagos törésmutatót!

2. Határozzuk meg a mintában a folyadékkristályt alkotó molekulák orientációját (a direktor irányát)!

3. Vegyük fel a csavart nematikus cella feszültség-intenzitás karakterisztikáját 100 Hz frekvenciájú szinuszzel a 0–10 V feszültségtartományban (9. ábra). Milyen feszültséggel célszerű a kijelzőt működtetni?

4. Oszcilloszkóppal vizsgáljuk meg a cellán átmenő fény intenzitásának időfüggését különböző frekvenciájú és jelalakú feszültségek esetén! Becsüljük meg a kijelző kapcsolási idejét!

5. Vizsgáljuk meg a ferroelektromos cellán átmenő fény intenzitásának időfüggését különböző frekvenciájú és jelalakú feszültségek esetén! Határozzuk meg a kijelző kapcsolási idejét!

6. Hasonlítsuk össze a két típusú cella működését! Megfelel-e a ferroelektromos cella a felületstabilizált ferroelektromos kijelző működéséről leírtaknak?

IRODALOM

1. Bata Lajos: Folyadékkristályok
Új anyagok a tudományos kutatás és a gyakorlati alkalmazás számára
A szilárdtestkutatás újabb eredményei 7.
Akadémiai Kiadó, Budapest, 1980.
2. Bata Lajos: Folyadékkristályok
Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1986.
3. G. Meier, E. Sackmann, J. G. Grabmaier: Application of Liquid Crystals,
Springer Verlag, Berlin, 1975.