

Tanulmány

MIT KAPTUNK A FOLYADÉKKRISTÁLY- KUTATÁSOKTÓL?

Bata Lajos

az MTA doktora, tudományos tanácsadó, Szilárdtestfizikai és Optikai Kutatóintézet – szfki@szfki.hu

Harminc éve kezdődtek el szervezett formában az MTA Szilárdtestfizikai és Optikai Kutatóintézetében (akkor KFKI Szilárdtest Kutatóintézet, később KFKI Szilárdtestfizikai Kutatóintézet) a folyadékkristály-kutatások. Nemzetközi szinten 1968-tól számítható a téma fellendülése. Az új kutatási téma beindításához először az intézet Tudományos Tanácsát kellett meggyőzni a téma újszerűségéről és tudományos jelentőségéről. Ezután pályázatot nyújtottunk be az OMFH-hez, amelynek elfogadása után az intézet „célprogramot” indított be. Ezek a tanulmánytervek vagy a velük kapcsolatban írt dolgozatok ma is megtekinthetők, így az ígéretek megvalósulása illetve meg nem valósulása harminc év után ellenőrizhető. Ilyen egybevetés talán az Akadémia számára is érdekesnek illetve tanulságosnak bizonyulhat. Láthatnánk, hogy az óriási szenzációnak jelzett kutatások bizonyos idő távlatában valóban olyan jelentősek lettek-e, mint ígérték.

A kezdeti beharangozás lényege egy mondatban összefoglalható. Azt állítottuk, hogy a folyadékkristályok kutatása új, interdiszciplináris kutatási területet nyit meg: megteremti egyrészt a részben rendezett szerves anyagokban erősen aszimmetrikus molekulák között fellépő kölcsönhatások

tanulmányozását, lehetővé teszi az ilyen anyagokban fellépő új makroszkopikus tulajdonságok felismerését, másrészt ezek alapján új gyakorlati alkalmazásokra lesz lehetőség. A folyadékkristályokkal készíthető megjelenítők, kijelzők, információs közlési lehetőségek jól illeszkedtek a mikroelektronika követelményeihez (kis áramfelhasználás, alacsony feszültség használata, stb.). Ezért az alapkutatás (új anyagok előállítása, új fizikai jelenségek megismerése) mellett az ipari kutatások, majd a gyártás is beindult. Így pár év alatt a laboratóriumi kutatásokból nemzetközi versenyfutás alakult ki, ami számos tudományt és alkalmazási területet kötött össze.

1988-ban Tokióban, az ottani legnagyobb magánegyetemen (Tokai University) az új anyagok témában egy kerekasztal-értekezletet szerveztek, mintegy harminc külföldi és harminc japán résztvevővel. Az egyetem rektora a vacsora utáni beszélgetésben felvetette: megvalósítható-e az, hogy a Föld bármely részén egy emberhez egy betűszám kombinációt rendelünk, kapcsolatot teremthet-e az ember a Föld tetszőleges pontján levő hasonlóan megjelölt emberrel, sőt lebonyolíthatnak-e tüzletet? Meggyőződhetnek-e arról, hogy máskor is ugyanazzal

az emberrel beszélnek-e. Én szöveg és kép megjelenítésére a folyadékkristály kijelzőket ítéltem legalkalmasabbnak. Ma, amikor mobiltelefon látok, ez a megbeszélés mindig eszembe jut. A másik érdekessége e megbeszélésnek a különböző (fizika, kémia, híradástechnika) szakterületeken dolgozó emberek véleményének egymáshoz illesztése és alakulása volt.

Fizikai, kémiai háttér

A folyadékkristály fázis a szilárd és a folyadékfázisok között alakul ki. Már felfedezésükkor is meglepetést keltettek azzal, hogy létrejöhet egy közbülső, részben rendezett állapot. A folyadékkristály-kutatások azóta kiderítették, hogy e fázison belül is legalább három szerkezetípust különböztethetünk meg, melyek közül egy anyagban csak néhány valósul meg. A szerves szintetikus vegyészek számára éppen az jelent különleges kihívást, hogy melyik molekuláris szerkezet melyik folyadékkristály-szerkezetet hozza létre. Minden szerkezethez természetesen eltérő makroszkopikus tulajdonságok, optikai jellemzők társulnak. A folyadékkristályok ugyanis optikailag egy- vagy kéttengelyű rendszerek, az optikai tengely állása pedig elektromos térrel vezérelhető. Éppen ez a tulajdonságuk teszi lehetővé, hogy fényszelvények (fénykapcsolónak), optikai megjelenítőknak használjuk őket. A folyadékkristályokkal olyan nagyszámú optikai jelenség és ezek oly sok gyakorlati hasznosítása valószínűsíthető meg, hogy kialakult egy új szakmai ágazat, az optikai memóriák. Lehetővé vált, hogy számos hétköznapi berendezésünkben, hordozható kézi műszerekben, *laptop*, *desktop* eszközökben használhassuk őket.

A kutatás a különböző molekuláris szerkezettel létrehozható makroszkopikus (például szilárdtesteknél megismert) tulajdonságok felé fordult. A fizikusok azt a feladatot adták a vegyészeknek, hogy kapcsoljanak adott tulajdonságú (például dipólus) gyököt

vagy gyököket bizonyos folyadékkristálytulajdonságot mutató molekulákhoz, és így várhatóan új tulajdonságokat mutató anyagot kapunk. Nos, a szerves vegyészek eddig megfeleltek a kihívásoknak. Így jutottunk el például a ferro-, antiferro- vagy ferielektromos folyadékkristályokhoz. Ehhez királis (a fény polarizációs síkját elforgató) és dipólust tartalmazó csoportot kellett egyszerű nematikus anyaghoz kapcsolni. (Nematikus anyag: a molekulák hossz tengelyei egy irányba mutatnak.) Az optikai tulajdonságok és ezek alkalmazása után érdeklődők máris olyan anyaghoz jutottak, amelyekkel 100-1000-szer gyorsabb megjelenítést valósíthattak meg, ezzel az alkalmazhatósági kör lényegesen bővült.

A molekulászerkezet további módosításával merevtörzsű molekulák helyett ív vagy banán alakú molekulákat hoztak létre; ezen akirális molekulák körében is megfigyelhető a ferroelektromos állapot. Ezzel megdőlt az a korábbi vélekedés, hogy ferroelektromosság csakis királis atommal (például szénatommal) rendelkező anyagokon fordulhat elő.

A hosszúkás molekulák mellett a lapos, korong vagy lap alakú molekulák is számos folyadékkristály fázist mutatnak. Ezek oszlopos szerkezeteket hoznak létre. Ha a molekulák közepébe fématomot helyezünk, molekuláris vezető szál alakul ki. (A hosszú láncú tetrafenilporfirin-oxovanádium komplex fényvezető tulajdonsággal rendelkezik. Sötétárama 10^{-10} A/cm², a fotoárama 10^{-7} A/cm².)

Biológiai kapcsolatok

A kiralitás nemcsak az „egyszerű” folyadékkristály molekuláknál, hanem a náluk bonyolultabb biológiai molekuláknál illetve a belőlük felépülő rendszerekben is nagy jelentőséggel bír. A banán alakú molekuláknál megfigyelt jelenségek szerepe a biológiai rendszerekben még felderítésre vár.

Egyes elektromos kijelzésre vagy hőmérséklet-detektálásra alkalmazott királis

molekulák, a koleszterilek, fontos biológiai molekulák. Ezekon kívül például a DNS, a transz-RNS, nukleoproteidek, kromoszómák vagy enzimek oldószerekben bizonyos hőmérséklet- és koncentrációtartományban szintén folyadékkristály-fázisokat alkotnak.

A sejtmembrán, a vörösvértest, az idegszál mielin hüvelye, vírusok, izomszövetek és más anyagok tulajdonságainak fizikai leírásához a folyadékkristály-kutatások visznek el. A fizika módszereinek az „élő molekulák” között fellépő kölcsönhatások tanulmányozására való bevetése nagy eredményeket ígér. A DNS szerkezetének felderítésében nagy szerepe volt annak, hogy vizes oldatokban a molekulák folyadékkristályfázist alkotnak, így a molekulák makroszkopikusan rendezhetők lettek, ami jelentős könnyebbséget adott a szerkezet meghatározásában.

Hazai kutatások

A hazai kutatások közül négy, igen jelentős nemzetközi együttműködésben művelt témát emelek ki:

1. Instabilitások és mintázatképződés.

A folyadékkristályok különösen hajlamosak mintázatképződésre. Mintázatnak hívunk minden olyan térbeli alakzatot, amely az egyensúlytól eltávolított rendszer reakciójaként jön létre. Az egyensúlyi állapothoz vagy nem tartozik struktúra (homogén eloszlás), vagy nagyon egyszerű geometriai formák jellemzik. Szinte bármilyen külső tér (elektromos, mágneses, hőmérséklet-, nyomás- vagy koncentrációgradiens) nem különösen nagy értékénél megbomlik a rendszer egyensúlya, és komplex struktúrákat hoz létre. Nematikus folyadékkristályra adott külső tér hatására létrejöhetnek konvektív instabilitások, ekkor a kialakuló struktúra lehet időben állandó vagy változhat, de hosszú idő múlva sem tűnik el (permanens struktúrák). Ezekre példa a hőmérsékletgradiens illetve az elektromos tér által létrehozott áramlások.

2. Folyadékkristályok és a fény kölcsönhatásának vizsgálata.

A nematikus folyadékkristályok és a fény kölcsönhatásának vizsgálata során megmutattuk, hogy egy fénysugár elektromos tere, hasonlóan az alacsony frekvenciás elektromos térhez, felhasználható a molekulák irányítottságának megváltoztatására. A vizsgálatokat kiterjesztették festékekkel dopolt folyadékkristályokra is. Az eredmények a nemlineáris optikában találhatnak alkalmazást.

3. Ferro-, antiferro- és ferrielektromos anyagok tulajdonságainak és a velük létrehozható fizikai jelenségek tanulmányozása.

Mi ismertük fel azt az elektromechanikai jelenséget, amelyben ferro- és ferrielektromos anyagokban váltakozó elektromos tér hatására anyagáramlás indul be, ami a mintatartóban rezgést, mechanikai mozgást eredményez. A jelenség fordítottja is fellép, azaz a mintatartó egyik lapjának periodikus mozgására elektromos feszültség keletkezik.

4. Folyadékkristályok előállítás, elegyek készítése fizikai kutatásokhoz.

A fizikai kutatásainkhoz szükséges folyadékkristályok egy részét mi állítottuk elő. A deuterizált (hidrogén helyett deutériumot tartalmazó) anyagmintáink nagy nemzetközi feltűnést keltenek, és új kapcsolatokat, együttműködéseket eredményeztek.

Információ-megjelenítés

A mindennapi használatban bevált eszközök, berendezések egyértelműen mutatják, hogy a folyadékkristály-kutatások jelentős hatással voltak mindennapi életünkre. Használhatnánk mobiltelefont folyadékkristály megjelenítő nélkül? Aligha, különösen, ha a gyakori újratöltésre gondolunk. A kézi számológépekben, a tenyer- és notesz-, valamint az asztali gépekben, kéziműszerekben, otthoni berendezésekben már megszoktuk a folyadékkristályos megjelenítőket. A fényképezőgépekben és videófelvevőkön

a felvett kép visszanezhető, a kép elkészültekor dönthetünk arról, hogy azokat megtartjuk vagy töröljük illetve szerkesztjük-e. A számítógépek monitoraként mára elfoglalták helyüket a pénztézetekben. Elektronikai, számítástechnikai üzletekben előkelő helyeken állnak. A Cinema HD Display és az Apple a tokiói Expón már bemutatta a 23"-os képátlójú, 16:10-es képarányú, 1920x1200 pixel felbontású, 5 cm vastag képernyővel rendelkező kijelzőt, amit egy számítógéphez kapcsoltak.

A címben feltett kérdésre tehát nyugodtan válaszolhatunk teljes megelégedettséggel. A szakértők az eddigi alkalmazásokat mégis úgy ítélik meg, hogy a felismert jelenségek közül igazán csak a nematikus folyadékkristályok, a csavart nematikus szerkezet valamilyen variánsa hódított igazán piacot. A ferroelektromos, azaz gyorsabb kijelzéssel létrehozható megjelenítőkkal működő tévéket bemutatták már, de piacot még nem nyertek. Ennek kettős oka van. Egyrészt nagy versenytárs jelentkezett: a plazmatévé, másrészt, ahogy a gyártó cégek vezetői mondják: adjátok olcsóbban a ferroelektromos anyagokat, és akkor majd meglátjuk. A ferroelektromos anyagok előállításához ugyanis optikai forgatóképesség szempontjából tiszta anyagokra van szükség, amelyek egyelőre nem elég olcsók. Ez nem jelenti azt, hogy a ferroelektromos megjelenítők kidolgozásán nem dolgoznának tovább.

A ferroelektromos anyagok elektromos térrel ferro-, antiferro- és ferrielektromos állapotba vihetők át, így bistabil, tristabil és tetra-stabil állapot érhető el. A különböző állapotok más-más fénytengedő képességet mutatnak, jól használhatóak képmegjelenítésre. Antiferroelektromos anyaggal megvalósítható, hogy az kis negatív feszültséggel fényt enged át, nulla feszültség körül nem engedi át, majd kis pozitív küszöbfeszültségtől ismét átengedi. Antiferroelektromos állapotban a molekulák ún. „könyvespolc geometriában”

helyezkednek el. Az egyik „polcon”, molekulárétegben, a polc oldalához képest például jobbra dőlnek, a szomszédos polcon ugyanolyan szögben balra. Elektromos térrel átvihetők ferroelektromos állapotba, azaz az összes „polcon” egy irányba, vagy balra vagy jobbra dőlnek. A folyadékkristály-réteget közrefogó polarizátorok döntik el, melyik állapot eredményez világos vagy sötét képet.

Napjainkban egy különleges ötlet megvalósítása tartja izgalomban az e téren dolgozókat. Nevezetesen olyan anyagot kellene előállítani, amelyben a molekulák dőlésszöge 45°-os. Antiferroelektromos állapotban a molekulák a szomszédos rétegekben egymásra merőlegesen állnak, így a fényáteresztőképesség a fizikai állapotból adódóan nulla, tehát a molekulák felületi rendezésének feladata leegyszerűsödik. Elvileg maximális kontraszt hozható létre, ami a gyors kapcsolás mellett nagy képélességet tesz lehetővé. A megfelelő hőmérséklettartományban ilyen tulajdonságot mutató anyag előállítására irányuló kísérletek ígértesek.

Előállítottak már olyan antiferroelektromos anyagot is, amelyet küszöbfeszültség nélkül, 0 illetve 2V/mm⁻¹ közötti feszültséggel kapcsolhatunk. Ezek aktív mátrix megjelenítőknek alkalmasak. A Toshiba 15 colos monitort mutatott be 100:1-es kontrasztal, 50 ms kapcsolási idővel, 70°-os látószöggel.

A folyadékkristály-tévénél sokáig gondot okozott a látószög növelése. Mostanában új módszerrel próbálnak ezen segíteni: a folyadékkristály réteget kis sáv szélességű hátsó UV fényrel világítják meg. A folyadékkristály réteggel modulált fény egy képelemben vörös, zöld és kék fényt kibocsátó foszforrétegekre esik, ezek a fotolumineszcencia alapján bocsátanak ki fényt. Tekintve, hogy a foszfor teljes térszögbe sugároz, a látószög is teljes lesz. A jelenlegi kutatások a megfelelő élettartamú foszforok előállítását célozzák.

Utóbbi példák igazolják, hogy a mai kutatások a gyakorlati hasznosításban is számos

új lehetőséget ígérnek. A felhasználás során derül ki, hogy melyik effektus milyen berendezésben nyújt optimális lehetőséget.

A folyadékkristályoknak köszönhetően a részben rendezett anyagok kutatása terén egy olyan interdiszciplináris tudományág alakult ki, mely nagyban elősegíti más tudományterületek fejlődését, és a gyakorlati hasznosítás területén is hozzájárul életünk minőségének javulásához.

Ebben az írásban nem az általunk elért eredmények bemutatása volt az elsődleges cél. Ezek beszámolóokban és évkönyvekben az érdeklődők számára elérhetők. Publikációink száma meghaladja a 310-et. Az osztály munkájának elismertségét jelzi, hogy az

Egyesült Államok, Kanada és India, illetve a vezető európai országok mellett mi rendeztük meg 1994-ben az egész területet átfogó 15. Nemzetközi Folyadékkristály Konferenciát, amelyen kilencszáz kutató vett részt. A témában már nemzetközi elismertséget elért kutatóink: Buka Ágnes, Éber Nándor, Fodor-Csorba Katalin, Jákli Antal, Jánossy István, Vajda Boldizsárné és a fiatalabbak: Börzsönyi Tamás, Kósa Tamás és Tóth Katona Tibor garantálják, hogy a téma magasszintű művelésére megvannak és a jövőben is adottak lehetnek a feltételek.

Kulcsszavak: *folyadékkristályok, kijelzők, megjelenítők, részben rendezett anyagok*

IRODALOM

Bata Lajos (1972): Folyadékkristályok. KFKI Report. 72-7495.

Bata Lajos (1976): Folyadékkristályok fizikai, biológiai rendszerekben és a gyakorlatban. Fizikai Szemle. 3.1

Bata Lajos (1980): *Folyadékkristályok. Új anyagok a kutatás és a gyakorlati alkalmazás számára. Szilárdtestfizika új eredményei.* Akadémiai, Budapest

Bata Lajos (1986): *Folyadékkristályok.* Műszaki, Bp. SzFKI évkönyvei.

