

Folyadékkristályok¹

Ma Magyarországon az embereknek legalább a fele folyadékkristály kijelzős órát visel, szinte mindegyikünk látott már folyadékkristályos lapos TV-t, számítógépképernyőt, sokan kipróbálták már a lázmérő csíkokat, mégis keveset tudunk ezekről az anyagokról. A legtöbb emberre különösen az a tény hat a meglepetés erejével, hogy az élő szervezetek szöveteinek nagy része is folyadékkristályszerű állapotban van.

* * *

Középiskolás tanulmányaink szerint három halmazállapot létezik:

1. a légnemű (gáz, gőz),
2. a folyadék,
3. a szilárd halmazállapot (kristály, amorf).

Sok anyagnak a folyadék és a szilárd állapota között azonban egy negyedik halmazállapota is létezik. Ezek a folyadék-kristályos anyagok.

Bármilyen meglepő, a folyadékkristályok története már 100 éves (a Téli Fizikai Ankét idején pontosan 100 éves volt).

1888-ban *Reinitzer* osztrák botanikus koleszteril észtereket melegítve azt találta, hogy azok a porszerű kristályos halmazállapotból először zavaros folyadékká váltak, s csak további melegítés hatására alakultak át átlátszó, tiszta folyadékká.

Lehman, kora neves fizikusa írta le először, hogy e zavaros folyadék tulajdonképpen egy új halmazállapot, melyet ő folyékony kristályos állapotnak nevezett el (folyékony, hiszen folyik; de kristály is, hiszen anizotrop, akárcsak a kristályok).

1922-ben *Friedel* francia fizikus már határozottan állította, hogy e halmazállapotnak több, egymástól jól megkülönböztethető módosulata (szakszóval fázisa) is létezik.

1968-ig ezek a folyadékkristályok még csak afféle egzotikumnak számítottak, amikor azonban *Heilmeyer*, amerikai fizikus felvetette, hogy milyen jól lehetne kijelzőkben használni őket, szinte azonnal tudósok ezrei kezdtek érdeklődni irántuk, s hamarosan az ipar is felfigyelt rájuk. Ma mintegy 10 ezer kutató, mérnök dolgozik ezen a meglehetősen tágga terebélyesedő területen, sok ezer publikációt, több ezer szabadalmat és az ipari termékféleségek százait jegyezve.

A továbbiakban röviden megpróbálunk válaszolni azokra a kérdésekre, melyeket a világ dolgai iránt az átlagosnál érdeklődőbb középiskolások szoktak feltenni (vagy feltehetnének) a folyadékkristályokról. A leggyakoribb, és általában elsőként felvetődő kérdés az elnevezésre vonatkozik.

FOLYADÉK? vagy KRISTÁLY?

Nos: mechanikailag folynak; elektromos, optikai, mágneses tulajdonságaik azonban anizotropok (különböző irányokban másként viselkednek).

Hogyan kaphatunk folyadékkristályos állapotot?

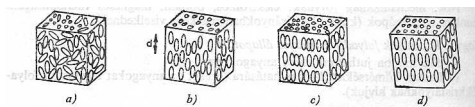
Kétféle módon juthatunk ilyen anyagokhoz:

1. Tisztán hőmérséklet-változás hatására (ezeket az anyagokat termotrop folyadékkristályoknak hívjuk).
2. Hőmérséklet-változás során, de csak megfelelő oldószerben megfelelő arányban oldva jelenik meg a folyadékkristályos állapot. Ezeket liotrop (lio görögül oldódót jelent) folyadékkristályoknak hívjuk.

A folyadékkristályos fázisokat a legváltozatosabb hőmérséklet-tartományban mutathatják ezek az anyagok. Némi lyiknél a folyadékkristályos tartomány csak néhány tized fok, másoknál akár több száz fok is lehet. (A kereskedelemben kapható kijelzők pl. általában a $(-30\text{ }^{\circ}\text{C}; +70\text{ }^{\circ}\text{C})$ -os tartományban vannak folyadékkristály fázisban.

Miből vannak?

Minden folyadékkristály halmazállapotot mutató anyag molekulái nem gömbszimmetrikusak (pálcika, hasáb, korong vagy palacsinta alakúak), s általában szervesek (szénhidrogén láncok benzolgyűrűvel stb.). A ma laboratóriumokban szintetizált anyagok közül kb. minden 200-ik folyadékkristályos halmazállapotot is mutat. A molekulák leggyakrabban rúd alakúak, tipikusan 20–40 Å hosszúságúak és 5–8 Å szélességűek. A kémikusok a molekulát alkotó atomok forgási, elhelyezkedési lehetőségeit is vizsgálják a szintetizálás során, a fizikusok a mérések és azok értelmezése közben inkább csak merev rudakként képzelik el őket. A folyadékkristályok fizikai tulajdonságainak legtöbbjét ezzel a közelítéssel is meg lehet magyarázni.



1. ábra. Rúd alakú molekulákat tartalmazó anyagok lehetséges halmazállapotai

¹ Az 1988. évi Téli Ifjúsági Fizikai Ankéton elhangzott előadás.

Mindenekelőtt értelmezni tudjuk a folyadékkristály halmazállapot létét ezen egyszerűsítő feltevés mellett is. Az 1. ábrán látható módon pálcika alakú molekulákat tartalmazó anyagokban a minden irányban egyformán viselkedő folyadék állapotból (1a ábra) történő hűtés során a három dimenzióban anizotrop kristályos állapot (1d ábra) létrejötté előtt többféle, egy-két dimenzióban anizotrop állapotok is létrejöhetnek. Ezeket a módosulatokat hívják folyadékkristályoknak (1b, 1c ábrák). Ezek között rendszerint a legmagasabb hőmérsékletű az ún. nematikus folyadékkristály állapot (1b ábra). Nevük a görög nema (fonal) szóból származik, ugyanis mikroszkópon át vizsgálva őket fonalakra emlékeztető hibahelyeket lehet megfigyelni bennük. Ebben a fázisban a molekulák tömegközéppontjai, az izotrop folyadékokhoz hasonlóan, hosszútávú rendezettséget nem mutatnak, azonban mikrométeres, vagy annál nagyobb méretű tartományokban a molekulák közel azonos irányban állnak. Speciális rendezési eljárásokkal elérhető az is, hogy az egész mintában is – a hőmozgás hatásától eltekintve – azonos irányultságúak legyenek a molekulák (a kijelzőkben is ilyen homogén rendezettségű mintákat használnak). A nematikus folyadékkristályok tehát tulajdonképpen háromdimenziós anizotrop folyadékok.

Ha a molekulák aktív szenet is tartalmaznak, azaz királisak, az előbb vázolt elrendezés annyiban módosul, hogy a molekulák hossz tengelyének átlagos iránya (az ún. direktor) a rá merőleges irányban haladva elcsavarodik. Mivel a legtöbb ilyen szerkezetet a koleszteril észter származékok mutatják, e fázist koleszterikus folyadékkristály fázisnak hívják. A direktor egy teljes körülfordulásához szükséges távolságot csavarállandónak nevezik. Ennek nagysága tizedmikron és néhány mikron között lehet, s értéke rendszerint a hőmérséklet függvénye.

A csavarállandó hőmérsékletfüggését használják ki a folyadékkristályos lázmérő csíkok, és a gyógyászatban a gyuladások, törések helyének gyors megállapítását célzó, testfelületre rakható hőérképek készítésére. Az anyagok ugyanis a csavarállandójuknak megfelelő hullámhosszúságú fényt szórják, s ha ez a látható fény tartományába esik, az anyag színes lesz. A szín a csavarállandó változásának megfelelően a hőmérséklettől vagy az elektromos tétől függően változik.

Alacsonyabb hőmérsékleteken jönnek létre az ún. szmektikus fázisok (a szmektikus szó a görög szappan szóból ered, jelezve, hogy ezekben a fázisokban az anyag a szappanokhoz hasonló kenhető állagú). E fázisok mindegyikében a molekulák rétegekbe rendeződnek. A rétegekre merőleges irányban nézve az anyag rugalmas (mint egy kristály), a rétegek irányában pedig izotrop, vagy anizotrop folyadékként viselkedik. (Egy speciális szmektikus fázist, az ún. szmektikus A fázist az 1c ábra mutat.)

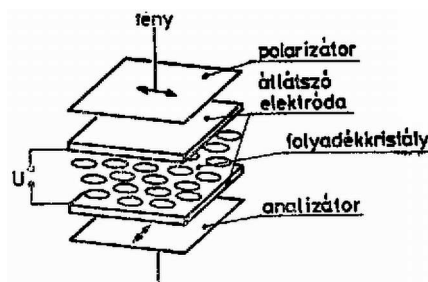
A szmektikus fázisokban az anyagok tehát kettő vagy egy dimenziós folyadékoknak tekinthetők. A szmektikus rétegeknek a direktorral bezárt szöge (merőleges vagy dőlt), a tömegközéppontok rétegen belüli rendezettsége (teljes rendezetlenség, hatszöges szerkezet stb.) szerint, továbbá annak megfelelően, hogy az anyagot alkotó molekulák királisak vagy nem, ma már több mint 20 féle szmektikus folyadékkristály-módosulatot különböztetünk meg.

Bármely anyagot tovább hűtve elérkezünk a kristályos állapothoz (1d ábra), amelyben a molekulák tömegközéppontjai rendezetten, háromdimenziós rácsponokban helyezkednek el, s az irányuk szerint is rendezettek. A kristályok mind a három térdimenzióban anizotropok.

Milyen elrendezésben használják a folyadékkristályokat a gyakorlatban s a tudományos kísérletekben?

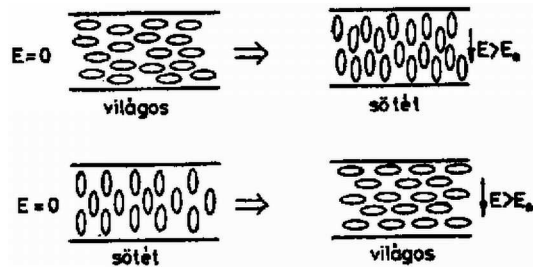
Mind a gyakorlati alkalmazásokban, mind pedig a vizsgálatok során vékony filmeket (1-100 μ m vastagságúakat) készítenek belőlük. Szokásos elrendezés (2. ábra), hogy két, elektródákkal ellátott üveglap közé rendezik be az anyagot (hogy hogyan, ez egy külön probléma), majd a lapokat két, egymásra merőleges polarizátorral borítják.

Ha a keresztezett polarizátorok közötti teret izotrop anyag tölti ki, a második polarizátoron át már nem jut át fény. Ha azonban anizotrop anyaggal, pl. folyadékkristállyal töltjük meg a cellát, az optikai tengely (a direktor irány) helyzetétől függően különböző színű, fényerejű területeket látunk. Ez az elrendezés tehát nagyon kényelmes az anizotrop anyagok belső szerkezetének megfigyelésére.



2. ábra. Kijelzők szokásos elrendezése

A folyadékkristályok általában elektromosan polarizálhatóak, mégpedig a molekulák hossz tengelyeinek irányában általában másképp, mint arra merőlegesen. Ennek eredményeképpen az elektromos feszültség hatására a molekulák irányeloszlása (a direktoreloszlás) megváltozik, így a keresztezett polarizátorok között átmenő fényerősség is változik. A molekulák megfelelő berendezésével elérhető, hogy sötét és világos, illetve (festékmolekulák stb. segítségével) sötét vagy valamilyen szín között kapcsoljon a 2. ábra szerint összeállított kijelző. Két elvi lehetőséget mutatunk be a 3. ábrán.



3. ábra. Két lehetséges kapcsolási mód nematikus folyadékkristály cellákban

A felső ábra azt mutatja, amikor kereszttezett polarizátorokon át nézve a látott kép elektromos tér nélkül világos, egy küszöb értéknél nagyobb teret rákapcsolva a cellára a látómező sötét. Ebben az esetben a molekulák dipólusmomentumai a molekulák hossz tengelyeinek irányába mutatnak. Az alsó ábrán a dipólusmomentumok a molekulák rövid tengelyeinek irányába mutatnak. Elektromos tér nélkül a látómező sötét, elég nagy tér hatására pedig világos. Megjegyzendő, hogy a kereskedelemben kapható kijelzők kicsit bonyolultabbak, bár a fent leírt elven működnek. A dolog bonyolítása abból a célból történik, hogy minél gyorsabb kapcsolású, nagyobb látószögű, kontrasztosabb, nagyobb felbontású kapcsolóelemeket készíthessenek.

A jelenlegi kijelzők legnagyobb hátránya talán a lassúságuk: 10–100 ms alatt váltanak át pl. világosból sötétbe. Úgy tűnik, hogy e hátrányukon is jelentősen lehet azonban javítani. A manapság legintenzívebben kutatott (a Központi Fizikai Kutató Intézetben is ilyen anyagokat vizsgálunk) ún. ferroelektromos folyadékkristályokkal akár mikroszekundumnál rövidebb idejű kapcsolások is elérhetők (tízezerszeres sebességugrás!). A legújabb kutatások fényében biztosan állíthatjuk, hogy a manapság használt kijelzők (órák, monitorok, játékok stb.) köre jelentősen bővülni fog a közeljövőben. Segítségükkel megvalósíthatók a térhatású tv, videofelvételek, használják majd őket a drága lézernyomatók helyettesítésére, új típusú írásvetítőkben (az előadásra nem fóliákat, hanem diszkeket kell vinni), s egyre jobban elterjednek majd a hatalmas méretű hajlítható folyadékkristályos térelválasztók is, stb.

Újabban egyre erőteljesebben kutatják a szálakra felfűzött, vagy szálakká összefűzött ún. folyadékkristályos polimerek tulajdonságait is. Nem nehéz megjósolni, hogy rövidesen a kereskedelemben is találkozhatunk velük. A „szálas polimerek” egyik terméke az ún. kevlar pl. olyan szakítószilárdságú, mint az acél, viszont a sűrűsége csak ötöde annak. Állítólag Reagen amerikai ex-elnök golyóálló mellényét is ilyen anyagból szőtték.

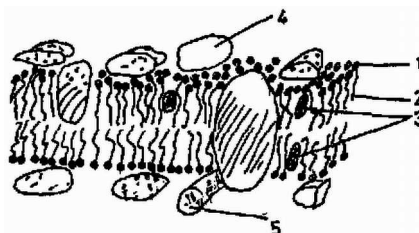
Hol találhatóak folyadékkristályok a természetben?

A kijelzőkben, hőtérképeknél az ember a termotrop folyadékkristályokat használja, a természet azonban az ember megalkotásakor az ún. liotrop folyadékkristályokat alkalmazta. Az élőlények szervezetét alkotó anyag fizikai szerkezete szerint ugyanis nem folyadék, nem is kristály, hanem leginkább folyadékkristály.

Amikor szappant ejtünk a vízbe, a korábban átlátszó víz fokozatosan zavarossá válik, a szappan oldódni kezd a vízben. A zavarosságot a szappanmolekulák gömbszerű, vagy hengeres mikroszkopikus méretű képződményei, az ún. micellák okozzák azáltal, hogy szórják a fényt. Tovább növelve a szappan-koncentrációt a micellák a termotropoknál említett több mint 20 folyadékkristály szerkezet valamelyikét hozzák létre. A liotrop folyadékkristályokat alkotó molekulák (pl. a lipidek, a lecitin stb.), akárcsak a szappan molekulák, két részből állnak: a fejrészből, amely szereti a vizet, és a C–O láncból álló fark részből, amely irtózik a víztől. E kettősség vezet az irányrendezett réteges szerkezetek kialakulásához.

Az élő szervezetek, amelyek fizikailag tulajdonképpen főképp víz, fehérje, lipidek, szénhidrogének, nukleinsavak rendszerei, is ilyen részben rendezett, termotrop folyadékkristályokra emlékeztető szerkezeteket hoznak létre.

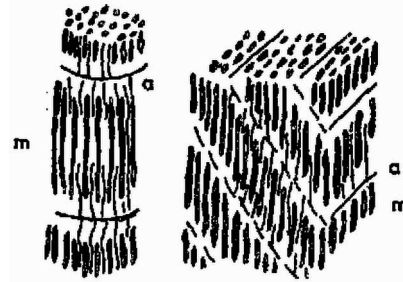
A folyadékkristályok fizikai, kémiai tulajdonságainak kutatása, megismerése tehát azzal a reménnyel kecsegtet bennünket, hogy többet tudunk meg az élet keletkezéséről, az életműködésről is. Hogy ez korántsem hiú ábránd, azt az mutatja, hogy az élet számos elemét sikerült már folyadékkristályos analógia alapján megérteni. Csupán ízelítőül álljon itt két példa: a sejtmembrán és az izmok példája.



4. ábra. A sejtmembrán modellje. 1 – foszfolipid poláros feje; 2 – szénhidrogén láncok; 3 – koleszterin; 4 – fehérje; 5 – szálas (fibrilláris) fehérje

A sejtmembrán tulajdonképpen foszfolipidek kettős rétege; modellje a 4. ábrán látható. A sejtmembránon keresztül lezajló ún. aktív transzport pontos megértéséhez például szükséges figyelembe venni a termotrop folyadékkristályoknál már részletesen leírt ún. flexoelektromos jelenséget. Eszerint a transzport folyamán szükségképpen bekövetkező mechanikai deformáció egy elektromos potenciál megjelenését eredményezi, s ez befolyásolja a transzport tulajdonságokat.

A sejtmembrán szerkezetének felbomlási hőmérsékletét a folyadékkristályoknál alkalmazott fázisátmenetek meghatározása alapján végezve azt kapjuk, hogy a sejtmembrán kb. 40 °C körül bomlik fel. Érdeemes összevetni ezt azzal a ténnyel, hogy a magas láz a sejtek felbomlásához vezet.



5. ábra. A kereszt és a harántcsíkolt izmok szerkezete. A vastag *m* miozinszálak mellett vékony *a* aktinfonalak helyezkednek el

Az 5. ábrán a kereszt- ill. harántcsíkolt izmok (kissé elnagyolt) modelljét láthatjuk. Jól kivehető, hogy mindkettő réteges szerkezetű, tehát a szmektikus típusú folyadékkristályokhoz hasonló. Ezen túlmenően az is belátható, hogy a harántcsíkolt izmok dőlt szerkezetűek, sőt ferroelektromosak is. Ez a megfigyelés ezen a ponton nagyon jól csatlakozhat például a Központi Fizikai Kutató Intézetben folyó munkánkhoz, amelynek során néhány éve azt találtuk, hogy a ferroelektromos folyadékkristályok piezoelektromos tulajdonságokat is mutatnak (elektromos potenciál hatására mechanikai deformáció alakul ki bennük). Könnyen elképzelhető, hogy a harántcsíkolt izom működésében e jelenségnek fontos szerepe van.

* * *

E rövid ismertetővel a folyadékkristályoknak csak egy kis szeletébe pillantottunk be – a témáról felhalmozott tudás 1 millió gépelt lapon sem férne el. Ez a betekintő arra talán elég, hogy az egyre jobban elterjedő folyadékkristályos eszközök elvi alapjairól és a bennünk ősidők óta munkáló folyadékkristály-szerű szerkezetek létéről valamilyen fogalmunk alakuljon ki.

Aki ebbe a témába mélyebben szeretne bepillantani, annak Bata Lajos: Folyadékkristályok című könyvét ajánlhatom, illetve a 169-9499/2625 telefonszámon bárki fordulhat hozzám kérdéssel.

Jákl Antal
Központi Fizikai Kutató Intézet