

Kristal likidoak: materiaren ulermen sakonago baterantz

Naturan badira substantzia batzuk solidoen eta likidoen arteko ezaugarriak dituztenak: kristal likidoak. Ikuspuntu zientifikotik biziki interesgarriak izateaz gain, gaur egungo teknologian giltzarri ere badira. Berriki, kristal likido mota berri bat aurkitu da, zeinak zientzialarien eskemak hautsi baititu. Historia luzeko kontua da, eta haren fisika ulertzeko abenturak aurrera jarraitzen du.

Zein dira materiaren agregazio-egoerak? Galdera hori bigarren hezkuntzako ikasle bati eginez gero, ziurrenik erantzuna honako hau litzateke: egoera solidoa, egoera likidoa eta gas-egoera. Baliteke gaztetxo bizkorren batek plasmak ere zer diren jakitea. Egiaitan, substantzia baten tenperatura igotzen bada, badago haren atomoei elektroiak kentzea eta fase berri batera eramatea. Egoera berri horri plasma deritzo, eta eguneroko bizitzan baliatzen dugu, hala nola hodi fluoresenteetan. Haatik, badago beste egoera berezi bat, irakurleari segur aski erabat ezezaguna egingo zaiona, eguneroko zenbait gailutan presente dagoen arren: kristal likidoa. Kasurik sinpleenean hagatxo-itxurako molekulaz osatutako substantziak dira. Konposatuok jariakorrak badira ere, molekulen arteko elkarrekintzek elkarrekiko paralelo orientatzea eragiten dute. Likido arruntek ez duten ordena gehigarri horren kariaz, kristal likido izena jaso zuten [1]. Zertarako erabiltzen dira, baina, kristal likidoak? Pantaila lauak egiteko, esate baterako. Izan ere, materialon molekulak polarrak izan ohi dira, eta, haien jariakortasunak lagundurik,

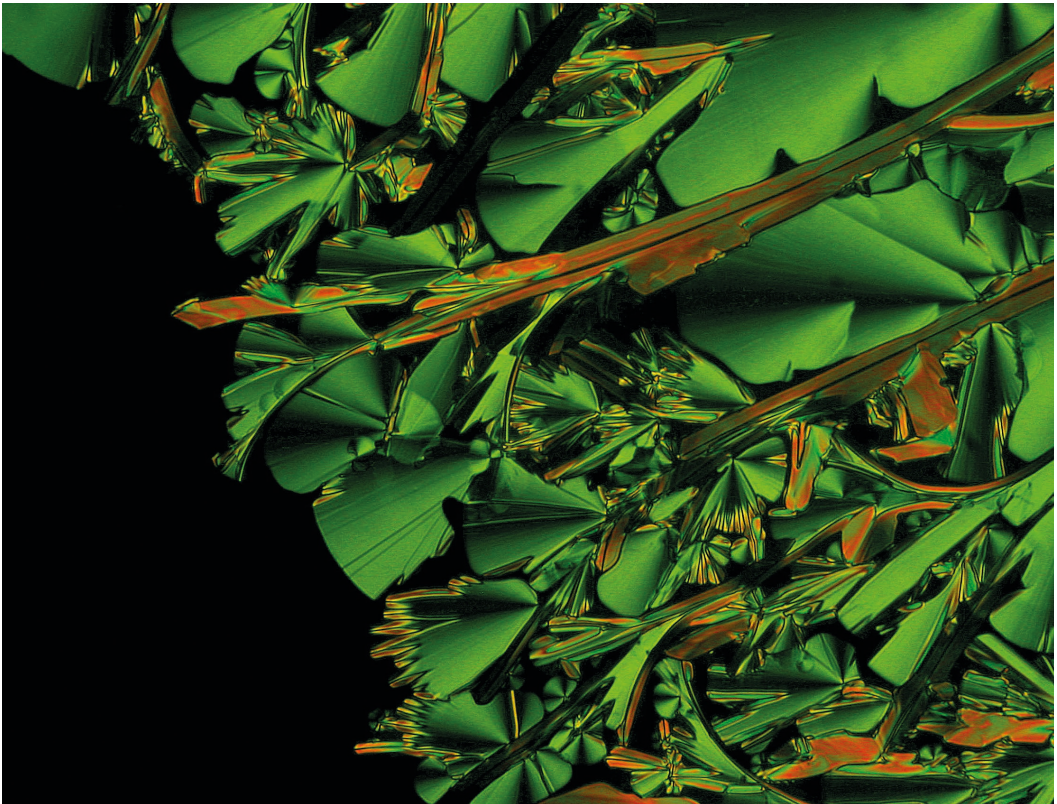
eremu elektrikoen bidez erraz asko orienta daitezke. Hartara, bi argi-polarizatzaileen artean jarritz gero, argia pasaraz edo blokea dezakete. Konplexutasun teknologikoak albo batera utzita, funtsean horrela funtzionatzen dute LCD direlakoek (*Liquid Crystal Display* ingelesez). Azken urteotan diodo organikoetan oinarritutako OLED teknologia asko zabaldu bada ere, LCD industriak pisu nabarmena du oraindik. Orobat, kristal likidoek fotonikan izan dezaketen erabilgarritasuna dela eta [2], ikerketa-esparru bizia izaten jarraitzen du.

XIX. mendean lehen kristal likidoa aurkitu zenetik, urteetan zehar sintetizatu diren konposatuetan hainbat azpifase behatu dira, zeinak molekulek hartzen duten egituraren arabera sailkatzen baitira. Arestian aipaturiko kristal likido *nematikoek* (N letraz adierazten dira) orientazio-ordena besterik ez dute. Kristal likido *esmetikoek* (Sm), ordea, posizio-ordena ere badute. Izan ere, molekulak norabide jakin batean orientatzeaz gain, elkarrekiko paraleloak diren planoetan kokatzeko joera dute, betiere nolabaiteko jariakortasuna mantenduz.



**Idatzi zuk zeuk
Gai librean atalean**

Gai librean aritzeko, bidali zure artikulua
aldizkaria@elhuyar.eus helbidera.

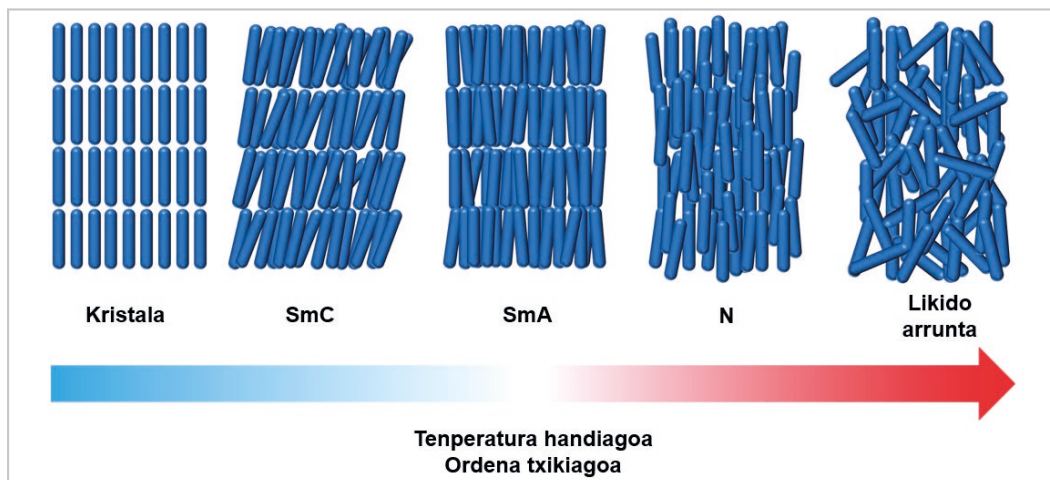


1. irudia. Polarizazio-mikroskopia optiko batez beharriko kristal likido baten argazkia. Likido arruntek ez duten ordena gehigarriak testura bitxiak agertzea eragiten du. ARG.: Josu Martínez-Perdiguero.

XX. mendearen hasieran, Debye eta Born fisikari ospetsuek fase berri baten existentzia proposatu zuten [3, 4]: kristal likido *nematiko ferroelektrikoa* (N_F). Material nematiko arrunten molekulak polarrak badira ere, egitura osoa apolarra da. Hau da, dipolo elektriko (karga positiboen eta negatiboen bereiztea) guztiek ez dute zertan noranzko berean orientaturik egon, elkarrekintza molekularrek ez baitituzte molekulen muturrak bereizten [5]. Fase nematiko ferroelektrikoa, berriz, polarra litzateke; hots, dipolo guztiak egongo lirateke noranzko jakin batean orientaturik. Iragarpen teoriko horren ondoren, hamarkadak eta hamarkadak igaro ziren, baina ez zen aurkitu fase hori erakuts ezakeen materialik. Sintetizatu ziren kristal likido ferroelektriko bakarrak esmekitikoak ziren, mole-

kulen posizio-ordenak ferroelektrizitatea agertzea errazten omen baitzuen. Ordura arteko araketa antzuak eragin zuen zientzialariek honako ondorio hau ateratzea: jariakortasuna (posizio-ordena txikia) eta ferroelektrizitatea elkarren baztertzailak dira [6]. Izan ere, agitazio termikoa gai izango litzateke materialean sor litekeen irismen luzeko dipoloen ordenamendurik txikiena ere deuseztatzeko. Baieztapen horri jarraikiz, beraz, ez zen harritzekoa horrelako materialik aurkitu ez izana.

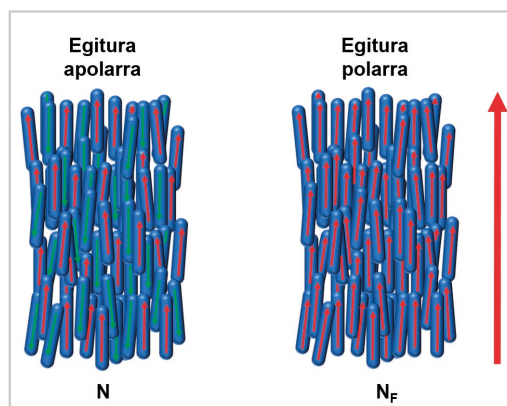
2017an, baina, zenbait kimikarik konposatu bitxi batzuk sintetizatu zituzten [7, 8]. Material horien molekulak oso polarrak ziren, eta, tenperatura jaistean, nematiko-nematiko fase-trantsizio bat gertatzen zela behatu zuten. Nolanahi ere, ten-



2. irudia. Hagatxo-itxurako molekulaz osaturiko kristal likidoen erakutsen zenbait egitura. Muturretan kristal- eta likido-egoerak daude, ordena handieneko eta txikieneko faseak, hurrenez hurren. ARG.: Aitor Erkoreka eta Josu Martínez-Perdiguero.

peratura baxuko fase nematikoaren izaera ezezaguna zen. Ikerkuntza-talde batek kristal likido horietako baten egitura (RM734 deritzona) aztertu zuen [9]. Ikerlariak proposatu zuten RM734 konposatuak lokalki polarra den fase nematiko bat darakusala. Bertan txandakako noranzkodun domeinu polarrak egongo lirateke, zeinetan molekulek zabaldua-egitura (*splay structure* ingelesez) hartuko bailukete; alegia, molekulak jatorri batetik erradialki zabalduko lirateke. Geroago egitura hori N eta N_F faseen artean dagoen tarteko beste fase bati dagokiola aurkitu bazen ere, atariko ikerketa hori garrantzitsua izan zen. Edozein kasutan, Coloradoko Unibertsitateko Material Bigunen Ikerkuntza Zentroko zientzialariak izan ziren material horren ferroelektrizitatea proposatu zuten lehenak, 2020an hain zuzen [10]. Estatubatuarren arabera, kristal likido horrek Bornek auresandako N_F fasea erakusten du, zeinak domeinu polar makroskopikoak baititu. Emaitzok mundu osoko hainbat taldek berretsi dituzte, eta antzeko ezaugarriak betetzen dituzten zenbait molekula aurkitu dira. Esan dezakegu, beraz, materiaren egoera berri bat aurkitu dela.

Orain zientzialariok dugun erronka fase berri hori ulertzea da. Zer ezaugarri ditu N_F faseak? Zein dira dipoloen parekatzea ahalbidetzen duten mekanismo molekularrak? Gu geu, Euskal Herriko Unibertsitateko Fisika Saileko ikertzaileak garen aldetik, saiatzen ari gara galdera horiei erantzuten. Horretarako,



3. irudia. N eta N_F faseen arteko aldea. Lehenengoan ez dago ordena polarrak, dipolo elektrikoek ausazko noranzkoa baitute. Bigarrean, ordea, elkarrekintza molekularrek eragiten dute dipolo guztiak noranzko jakin batean orientaturik egotea. ARG.: Aitor Erkoreka eta Josu Martínez-Perdiguero.

metodo elektrikoak darabiltzagu. Zehazki, *permitibitate dielektrikoa* deritzona neurtzen dugu, bai kitzikapen elektrikoaren maiztasunaren funtzioan, baita tenperaturaren funtzioan ere. Magnitude fisiko horrek, nolabait, kanpo-eremu elektriko batek material jakin batean duen eragina kuantifikatzen du. Aldagai hori makroskopikoa bada ere, datuak egokiro aztertuz, badago materialon prozesu molekularrak ikertzea. N_f fasean, konkretuki, permitibitate dielektrikoaren balio erraldoiak neurtu izan dira [11]; haien jatorria, hala ere, ezezaguna da. Horrelako galderei ekinez, hobeto ulertuko dugu fase misteriotso honen izaera. Gainera, material hauen interesa ez da soilik zientifikoa; teknologikoa ere bada. Egiazki, N_f materialak erabilgarriak gerta litezke pantaila efizienteagoak egiteko, gailu elektro-optiko berritzailek egiteko, etab. Azken batean, aintzat hartu beharra dago konposatuon ezaugarri nagusia polaritatea dela; hots, kanpo-eremu elektrikoaren aurrean oso sentikorrak dira. Ondorioz, ez litzateke harrigarria izango urte batzuen buruan denok N_f material bat gure sakelako telefonoetan eramatea. ●

Bibliografia

- [1] Collings P. J. eta Hird M. 2017. *Introduction to liquid crystals: Chemistry and Physics*. CRC Press, London. <https://doi.org/10.1201/9781315272801>.
- [2] Mysliwiec J., Szukalska A., Szukalski A. eta Sznitko L. 2021. "Liquid crystal lasers: the last decade and the future". *Nanophotonics*, 10(9), 2309-2346. <https://doi.org/10.1515/nanoph-2021-0096>.
- [3] Debye P. 1912. "Einige Resultate einer kinetischen Theorie der Isolatoren". *Physikalische Zeitschrift*, 13, 97-100.
- [4] Born M. 1916. "Über anisotrope Flüssigkeiten. Versuch einer Theorie der flüssigen Kristalle und des elektrischen Kerr-Effekts in Flüssigkeiten". *Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften*, 30, 614-650.
- [5] Lavrentovich O. 2020. "Ferroelectric nematic liquid crystal, a century in waiting". *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(26), 14629-14631. <https://doi.org/10.1073/pnas.2008947117>.
- [6] Takezoe H., Gorecka E. eta Čepič M. 2010. "Antiferroelectric liquid crystals: Interplay of simplicity and complexity". *Reviews of Modern Physics*, 82(1), 897-937. <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.82.897>.
- [7] Mandle R. J., Cowling S. J. eta Goodby J. W. 2017. "A nematic to nematic transformation exhibited by a rod-like liquid crystal". *Physical Chemistry Chemical Physics*, 19, 11429-11435. <https://doi.org/10.1039/C7CP00456G>.
- [8] Nishikawa H., Shiroshita K., Higuchi H., Okumura Y., Haseba Y., Yamamoto S., Sago K. eta Kikuchi H. 2017. "A fluid liquid-crystal material with highly polar order". *Advanced Materials*, 29, 1702354. <https://doi.org/10.1002/adma.201702354>.
- [9] Mertelj A., Čmok L., Sebastián N., Mandle R. J., Parker R. R., Whitwood A. C., Goodby J. W. eta Čopič M. 2018. "Splay nematic phase". *Physical Review X*, 8, 041025. <https://doi.org/10.1103/PhysRevX.8.041025>.
- [10] Chen X., Korblova E., Dong D. eta Clark N. A. 2020. "First-principles experimental demonstration of ferroelectricity in a thermotropic nematic liquid crystal: Polar domains and striking electro-optics". *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(25), 14021-14031. <https://doi.org/10.1073/pnas.2002290117>.
- [11] Li J., Nishikawa H., Kougo J., Zhou J., Dai S., Tang W., Zhao X., Hisai Y., Huang M. eta Aya S. 2021. "Development of ferroelectric nematic fluids with giant- ϵ dielectricity and nonlinear optical properties". *Science Advances*, 7(17), eabf5047. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abf5047>.

ESKER ONAK

Aitor Erkorekak eskerrak eman nahi dizkio Eusko Jaurlaritzako Hezkuntza Sailari Doktoreak Ez Diren Ikertzaileak Prestatzeko Doktorego Aurreko Programaren bidez jasotako dirulaguntzagatik.