

PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 11 (1983/1984)

Številka 4

Strani 178-183

Marija Jamšek - Vilfan:

TEKOČI KRISTALI – KAKO JIH LAHKO UPORABIMO ZA TERMOMETER

Ključne besede: fizika.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/11/647-Vilfan.pdf>

© 1984 Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije

© 2010 DMFA - založništvo

Vse pravice pridržane. Razmnoževanje ali reproduciranje celote ali posameznih delov brez poprejšnjega dovoljenja založnika ni dovoljeno.



TEKOČI KRISTALI – KAKO JIH LAHKO UPORABIMO ZA TERMOMETER

Nekateri se gotovo spominjate lističev, ki ste si jih pred nekaj leti pritižkali na čelo, da bi videli, ali se bo pokazala črka N ali F. N je pomenila normalno temperaturo in F, da imate vročino. Ali veste, da taki in podobni termometri uporabljajo za svoje delovanje *tekoči kristal*? Kaj je tekoči kristal? O tem bi vam rada nekaj napisala.

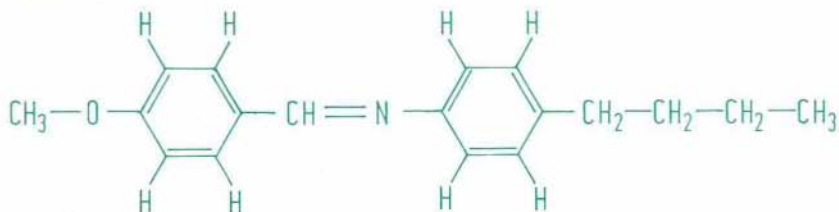
Vsi veste, da trdne snovi pri segrevanju preidejo v kapljevino. To se zgodi pri tališču, temperaturi, ki je značilna za dano snov pri navadnem zračnem tlaku. Vendar prehod iz trdnega v kapljevinsko stanje ni vedno tako preprosto. Nekateri organske snovi kažejo v tem pogledu izjemno obnašanje. Če jih segrevamo, se pri določeni temperaturi sicer stalijo, kar pomeni, da postanejo tekoče, vendar ostanejo nekatere njihove lastnosti v različnih smereh različne, kar je značilno za kristale. To velja na primer za lomni kvocient. Opraviti imamo torej s stanjem, v katerem ima snov hkrati nekatere lastnosti tekočin in nekatere lastnosti kristalov. Zato imenujemo tako snov *tekoči kristal*. Če tekoči kristal segrevamo še naprej, se pri določeni višji temperaturi spremeni v navadno kapljevino (slika 1).



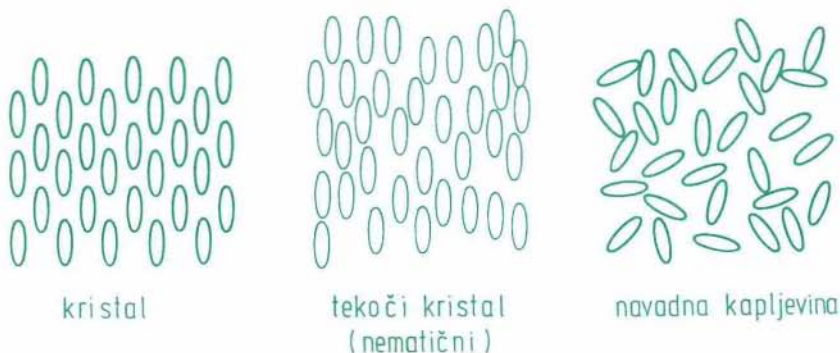
Slika 1. Pri temperaturi T_1 preide kristal v tekoči kristal in pri temperaturi T_2 v navadno kapljevino.

Zakaj se pojavlja nekaj manj kot en odstotek organskih snovi v določenem temperaturnem območju kot tekoči kristal, vse druge pa ne? Bistvena lastnost, po kateri se razlikujejo molekule tekočih kristalov od drugih snovi, je njihova izrazito *podolgovata oblika*. Dolge so od 1,5 do 5nm, široke pa le

okrog 0,5 nm. Poleg tega vsebujejo tudi kakšno atomsko skupino, na katero močno vpliva *električno polje*. Na sliki 2 vidimo strukturno formulo enega od najbolj znanih tekočih kristalov, ki ga označujemo s kratico MBBA. V stanju tekočega kristala je med 18°C in 43°C. Kaj to pomeni na molekulskem nivoju? V trdnem stanju, ki je pri MBBA pod 18°C, so težišča molekul vezana na ravnovesne lege v kristalni mreži in so njihove geometrijske osi, ki leže v vzdolžni smeri molekul, med seboj vzporedne (slika 3). Urejenost se pri segrevanju ne pokvari vsa naenkrat. Pri temperaturi prehoda iz trdnine v te



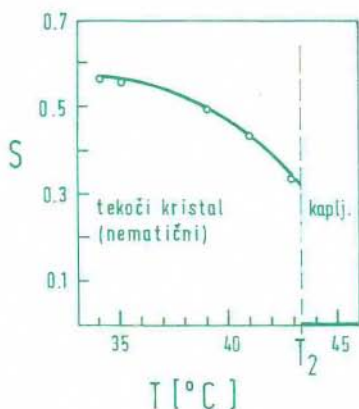
Slika 2. Molekula tekočega kristala MBBA. Molekula se zelo hitro vrti okoli svoje vzdolžne osi, zato si jo lahko predstavljamo kot majhen valj ali elipsoid.



Slika 3. Shematična risba razporeditve podolgovatih molekul v kristalu, tekočem kristalu in navadni kapljevini.

koči kristal postanejo lege težišč v prostoru neurejene, vendar se molekule še ne gibljejo tako izrazito, da bi se porušila vzporednost njihovih geometrijskih osi. Šele pri višji temperaturi T_2 izgine tudi ta urejenost in snov preide v navadno kapljevino, v kateri so obrnjene osi molekul v vse smeri.

Omeniti morama, da je zgradba tekočega kristala na sliki 3 nekoliko idealizirana, ker molekule v resnici ne mirujejo v vzporedni legi. Njihove geometrijske osi nihajo okrog ravnovesnih leg in to kar za nekaj deset stopinj.



Slika 4. Temperaturna odvisnost parametra v tekočem kristalu nematične vrste (povzeto po članku v Solid States Communications 6, 839 (1968) R. Blinca, D.E.O'Reillyja, E.M. Petersona, G. Lahajnarja in I. Levstecka).

nit, in izvira še iz časov prvih odkritij tekočih kristalov pred nekaj manj kot sto leti. Pri opazovanju nematičnih tekočih kristalov pod mikroskopom so namreč opazili množico črnih niti - napak v zgradbi tekočega kristala. Poleg nematičnih tekočih kristalov poznamo še *smektične*, pri katerih so lege molekulskih težišč neurejene v dveh smereh, v tretji pa urejene. Tretjo vrsto predstavljajo *holesterinski tekoči kristali*, ki nas še posebej zanimajo zaradi uporabe v termometrih.

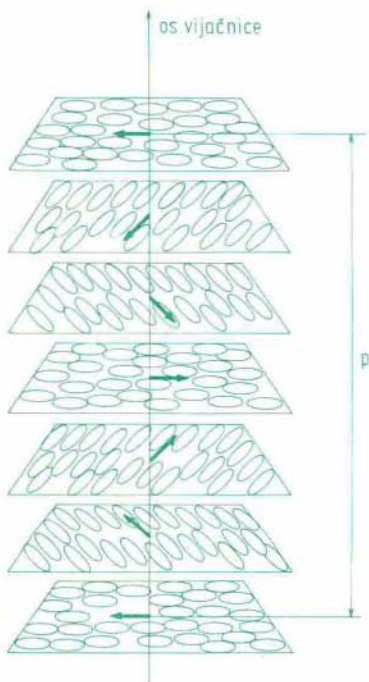
Holesterinski tekoči kristali so po kemijski zgradbi derivati holesterola, ki ga dobro poznamo, saj se nahaja tudi v človeškem organizmu. Na razdalji nekaj molekulskih dolžin so podolgovate molekule v holesterinskih tekočih kristalih urejene prav tako kot v nematičnih. Šele na večji razdalji je opažna razlika. Ker molekule derivatov holesterola niso zrcalno simetrične, smer urejenosti njihovih dolgih osi v prostoru ni konstantna, temveč zasuka

To odmikanje in vračanje v vzporedno lego je zelo hitro in traja okoli 10^{-11} sekunde. Kako je s tem gibanjem, pove *parameter urejenosti S*, ki meri stopnjo orientacijske urejenosti molekulskih osi. V trdnem kristalu, v katerem je urejenost največja, je skoraj enak 1, v navadni kapljevini, kjer sploh ni nobene urejenosti, je enak nič. V omenjeni snovi (MBBA) pa opazimo v izmerjeni odvisnosti parametra urejenosti *S* od temperature, da njegova vrednost pri prehodu iz kapljevine v tekoči kristal skokovito naraste od 0 na približno 0,35 in potem pri ohlajanju še narašča (slika 4).

Vrsta tekočih kristalov, ki smo jo pravkar opisali, se imenuje *nematična*. Ime pride od grške besede, ki pomeni

na in opisuje *vijačnico* (slika 5). Razporeditev molekul v holesterinskih tekočih kristalih spominja na polžaste stopnice, ki vodijo na stolp ljubljanskega gradu. Če si predstavljate, da je vsaka stopnica močno povečana molekula, njihova lega in smer ponazarjata urejenost molekul v holesterinskem tekočem kristalu. Višina, za katero se vzdignemo med hojo proti vrhu stolpa, medtem ko se enkrat zavrtimo za 360° , se imenuje *hod vijačnice*. Na grajskih stopnicah je ta razdalja nekaj metrov, v tekočih kristalih pa le 0,1 do $1\mu\text{m}$.

In prav v dolžini te vijačnice, ki ima velikostno stopnjo valovne dolžine vidne svetlobe, tiči razlog, da so holesterinski tekoči kristali pogosto lepo obarvani. Tanka, do 1 mm debela plast holesterinskega tekočega kristala je pri osvetlitvi z belo svetlobo videti modra ali zelena ali rumena, odvisno od kota, pod katerim jo opazujemo, in temperature. Bela svetloba se na plasti holesterinskega tekočega kristala namreč sipa podobno kot rentgenska svetloba na kristalih, za katere je - kot vemo - značilna periodična zgrad-



Slika 5. Razporeditev molekul v holesterinskih tekočih kristalih (p je hod vijačnice).

Slika 6. Termometer na tekoči kristal za sobne temperature (fotografiral M. Smerke).



ba. V holesterinskem tekočem kristalu se zgradba v smeri osi vijačnice tudi periodično ponavlja. Za sipanje bele svetlobe je v tem primeru kot perioda odločilna dolžina hoda vijačnice. V določeni smeri opazovanja se ojači le svetloba, katere valovna dolžina λ ustreza pogoju

$$\bar{n}p \cos \beta = \lambda$$

S p smo označili hod vijačnice, \bar{n} je povprečni lomni kvocient tekočega kristala (njegova vrednost je okoli 1,5) in β kot med smerjo širjenja svetlobe v tekočem kristalu in smerjo osi vijačnice. Pogoj je podoben tistemu, ki ga poznate za uklon svetlobe na mrežici. Ker se v tanki plasti holesterinskega tekočega kristala postavi vijačnica pravokotno na mejo, je kot β preko lomnega zakona $\sin \alpha / \sin \beta = \bar{n}$ povezan z α , ki označuje kot med vpadno pravokotnico in smerjo opazovanja. V določeni smeri je zgornji pogoj izpolnjen le za eno valovno dolžino, zato je svetloba, ki izhaja iz holesterinskega tekočega kristala, enobarvna. Pri pravokotnem opazovanju je njena valovna dolžina enaka hodu vijačnice tekočega kristala pomnoženemu z lomnim kvociantom.

Tu nastopi zanimiv pojav. Hod vijačnice v holesterinskih tekočih kristalih je namreč močno odvisen od temperature. Že majhno povišanje temperature za eno stopinjo skrajša vijačnico kar za nekaj deset nanometrov in plast, ki je bila pri nižji temperaturi zelena, postane modra. Z mešanjem dveh ali treh različnih holesterinskih tekočih kristalov v določenem razmerju lahko dobimo mešanico s poljubno dolgim hodom vijačnice in zato tudi s poljubno barvo pri določeni temperaturi. Do termometra, ki uporablja za delovanje t_g koč² kristal, je od tu samo še korak.

Naredimo mešanico, ki je pri 20°C rumenozelene barve, za katero je človeško oko najbolj občutljivo. Mešanico vidimo barvasto samo pri temperaturah okoli 20°C, in sicer je pri 18°C rdeč²erjava, pri 20°C rumenozelena in pri 22°C in malo više temno modra. Zunaj tega temperaturnega intervala je brezbarvna. Z nekoliko spremenjenim razmerjem sestavin naredimo drugo mešanico, ki je rumenozelena pri 22°C, in potem še naslednje, dokler ne zajamemo vsega intervala, v katerem bi radi merili temperaturo. Tanke plasti teh mešanic nanesimo drugo poleg druge na črno plastično folijo in pokrijemo z enako črno folijo, v kateri so prozorna okenca v obliki številčk. Seveda moramo paziti, da mešanico, ki je rumenozelene barve pri 20°C, pokrijemo s prozornim

okencem v obliki številke 20, sosednjo s številko 22 itd. S tem dosežemo, da vidimo pri določeni temperaturi v svetli, rumenozeleni barvi le številko, ki označuje tisto temperaturo. Termometer na tekoči kristal za sobne temperature vidimo na sliki 6. V primerjavi s kapljevinskim termometrom ima termometer na tekoči kristal bolj praktično obliko, je znatno cenejši in se ne razbije. Njegova slaba stran pa je slabša natančnost in na nekaj let omejena življenjska doba.

Za listič, ki smo ga omenili na začetku in ki kaže, ali ima človek vročino ali ne, zadoščata samo dve holesterinski mešanici, od katerih je ena vidna pri temperaturi, ki je za človeka še normalna, in druga pri povišani temperaturi.

Zanimive poskuse lahko naredimo z večjo folijo, ki vsebuje eno samo holesterinsko mešanico. Z njo proučujemo porazdelitev temperature po različnih površinah. Na primer na roki, premazani s holesterinsko mešanico, dobro vidimo potek žil, ker je nad njimi koža toplejša kot v okolici. Holesterinski premaz elektronskega vezja pokaže, kateri element se preveč segreva.

Zaradi svoje uporabnosti za merjenje temperature in še posebej za merjenje temperaturne porazdelitve po večji površini so holesterinski tekoči kristali že nekaj časa zanimivi tako v fiziki kakor tudi v medicini kot diagnostični pripomoček in v industriji za preizkušanje kakovosti izdelkov.

Marija Vilfan