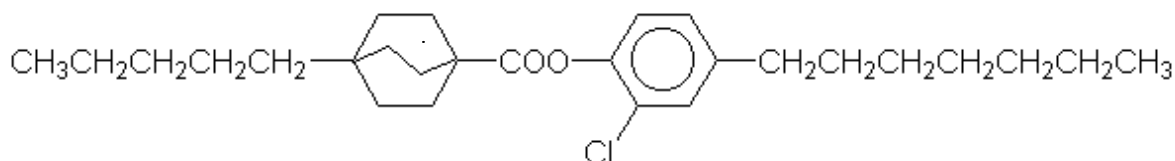


IM – 2

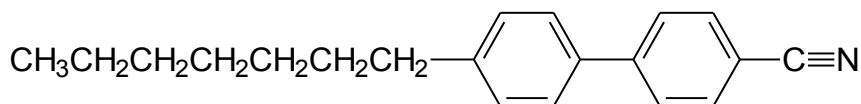
WYZNACZANIE PRZENIKALNOŚCI DIELEKTRYCZNEJ NEMATYKA

I. Cel ćwiczenia

Pomiar składowej równoległej i prostopadłej przenikalności dielektrycznej w funkcji temperatury dla jednego z dwóch ciekłych kryształów nematycznych (7CB lub 7CP5BOC) oraz wyznaczenie anizotropii dielektrycznej badanej substancji, temperatury klarowania i zależności temperaturowej parametru porządku S .



7CP5BOC: Cr. 18.2 °C N 43.5 °C I



7CB: I. 42.8 °C N 30.0 °C

II. Aparatura

1. Mostek RLC do pomiaru pojemności C
2. Kondensator pomiarowy w obudowie z grzejnikiem i zasilaczem
3. Elektromagnes z zasilaczem
4. Zestaw do pomiaru i stabilizacji temperatury

III. Program ćwiczenia

1. Pomiar zależności pojemności kondensatora z próbką od natężenia orientującego pola magnetycznego w fazie nematycznej.
2. Orientacja próbki polem magnetycznym $E_m \parallel B$ i (E_m – pole mierzące, B – pole porządkujące) wykonanie pomiarów pojemności kondensatora z badaną substancją w funkcji temperatury dla tej orientacji. Pomiar wykonywać od temperatury pokojowej do ok. 55 °C, co 1 °C. W pobliżu punktu klarowania punkty zagęścić do 0.5 °C.
3. Orientacja próbki polem magnetycznym $E_m \perp B$ i wykonanie pomiarów pojemności kondensatora z badaną substancją w funkcji temperatury dla tej orientacji. Pomiar wykonywać od 55 °C do temperatury pokojowej. W pobliżu punktu klarowania punkty zagęścić do 0.5 °C.

IV. Opracowanie wyników

1. Policzyc przenikalność dielektryczną z pojemności kondensatora biorąc pod uwagę załączone charakterystyki kondensatorów pomiarowych.
2. Narysować wykresy:
 - a. $\epsilon_{\parallel}(T)$ i $\epsilon_{\perp}(T)$, $\bar{\epsilon}(T)$ oraz $\Delta\epsilon(T)$;
 - b. wyznaczyć punkt klarowania i wykreślić zależność $\Delta\epsilon(T-T_{NI})$.
3. Korzystając z zależności $\Delta\epsilon(T) = \text{const.} \cdot S(T)$ oraz wiedząc, że w punkcie klarowania $S(T_{NI}) = 0.35$, wyliczyć wartości parametru S i wykreślić jego zależność od temperatury $S(T)$.
4. Wykreślić zależność pojemności kondensatora z próbki od natężenia prądu przepływającego przez elektromagnes $C(I)$, a następnie korzystając z załączonych charakterystyk kondensatora pomiarowego i elektromagnesu wykreślić zależność przenikalności dielektrycznej od indukcji pola magnetycznego $\epsilon(B)$.

V. Tematy do kolokwium

1. Definicja stanu ciekłokrystalicznego, definicja „directora”, rodzaje faz ciekłokrystalicznych (podział ze względu na sposób powstawania oraz ze względu na rozmieszczenie molekuł w przestrzeni).
2. Parametr porządku dla nematyków
3. Właściwości dielektryczne, dielektryk w statycznym polu elektrycznym.
4. Wyjaśnij pojęcie pole lokalne, omów krótko model pola lokalnego Lorentza oraz Vuksa.
5. Zasada pomiaru przenikalności dielektrycznej.

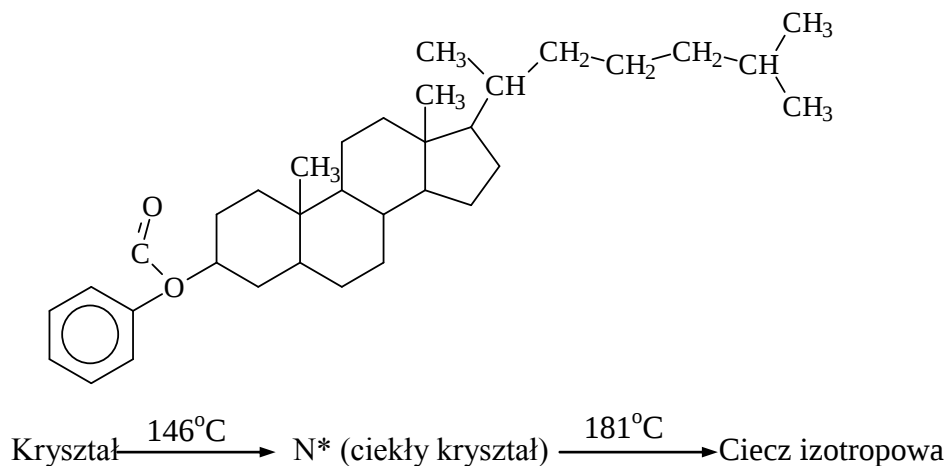
VI. Literatura

Materiały do odebrania na II Pracowni.

CIEKŁE KRYSZTAŁY

Wszystkim wiadomo, że w przyrodzie występują trzy stany skupienia: kryształ (ciało stałe), ciecz i gaz. Gdy ogrzewamy kryształ to w pewnej temperaturze przechodzi on w ciecz a przy dalszym ogrzewaniu w gaz. Jednak okazało się, że nie wszystkie substancje wykazują taką sekwencję faz. Przy ogrzewaniu niektórych substancji organicznych pomiędzy kryształem a zwykłą cieczą pojawiają się dodatkowe fazy pośrednie zwane mezofazami. Fazy te wykazują zarówno własności kryształu jak i cieczy. Dlatego też nazwano je ciekłymi kryształami.

Stan ciekłokrystaliczny jest stanem materii znanym już od ponad 100 lat, kiedy to w 1888 roku austriacki botanik F. Reinitzer wyizolował z liści roślin benzoesan cholesterylu (Rys. 1) i zauważył, że po stopieniu przechodzi on w mętną lepłą ciecz, która przy dalszym ogrzewaniu przechodzi w ciecz przezroczystą. Okazało się, że ta mętna ciecz jest ośrodkiem optycznie anizotropowym (tzn. ma różne wartości współczynnika załamania w zależności od kierunku propagacji promienia), co do tej pory przypisywane było jedynie krystalicznym ciałom stałym. Dlatego też w 1889 roku niemiecki fizyk O. Lehmann zaproponował nową nazwę dla tego rodzaju pośrednich faz - ciekłe kryształy. Wielu naukowców zajmowało się i zajmuje nadal badaniami ciekłych kryształów. Jak ważne są badania doświadczalne i teoretyczne prowadzone nad fazami ciekłokrystalicznymi, może świadczyć fakt, że w 1991 roku francuski fizyk P.G. de Gennes otrzymał nagrodę Nobla za całokształt swej pracy naukowej, między innymi w dziedzinie fizyki ciekłych kryształów.



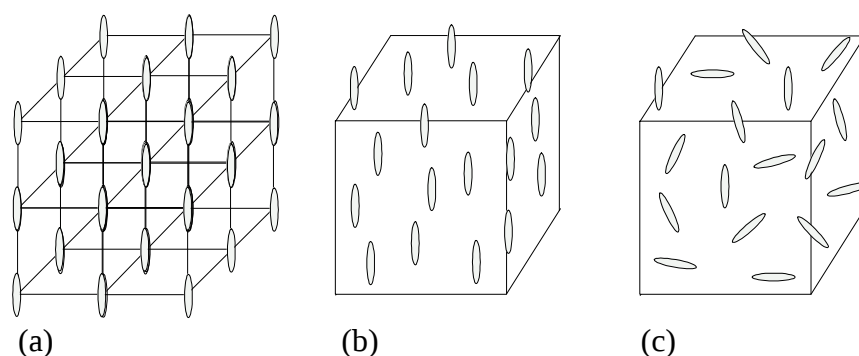
Rys. 1 Struktura molekuly i diagram fazowy benzoesanu cholesterylu

Zastanawiano się dlaczego pewne substancje posiadają własności ciekłokrystaliczne a inne nie. Okazało się, że jest to związane między innymi z kształtem molekuł. Substancje, które posiadają fazy ciekłokrystaliczne mają zwykle molekuły silnie wydłużone. Szybko reorientujące się takie molekuły można przybliżyć przez wydłużony walec (pręt), stąd mówimy o molekułach prętopodobnych. W 1977 roku hinduski fizyk Chandrasekhar odkrył substancje wykazujące własności ciekłokrystaliczne zbudowane z molekuł silnie spłaszczonych (w kształcie dysku), stąd mówimy o molekułach dyskopodnych.

Co to są ciekłe kryształy? Substancje organiczne lub roztwory substancji organicznych mogą posiadać fazy ciekłokrystaliczne. Około 5% wszystkich substancji organicznych posiada takie fazy.

Reasumując:

- a) ciekłe kryształy są to fazy pośrednie pomiędzy ciałem stałym (kryształem) a cieczą,
- b) tak jak większość kryształów są one anizotropowe. Anizotropia jest najważniejszą właściwością łączącą ciekłe kryształy z kryształami a odróżniającą je od cieczy. Wszystkie ciecze i gazy są izotropowe,
- c) porównując ułożenie molekuł w kryształach, ciekłym kryształach i cieczy (Rys. 2) można zauważyć, że
 - w kryształach stałych molekuły są umieszczone w węzłach sieci, mogą tam drgać wokół położeń równowagi, ale nie mogą się obracać oraz nie mają możliwości przesuwać się;
 - w ciekłym kryształach molekuły mogą swobodnie rotować, ale spędzają więcej czasu w ściśle określonym kierunku, występuje tu przesuwanie się molekuł;
 - molekuły w cieczach są ułożone w sposób przypadkowy, możliwe są tu wszystkie ruchy.

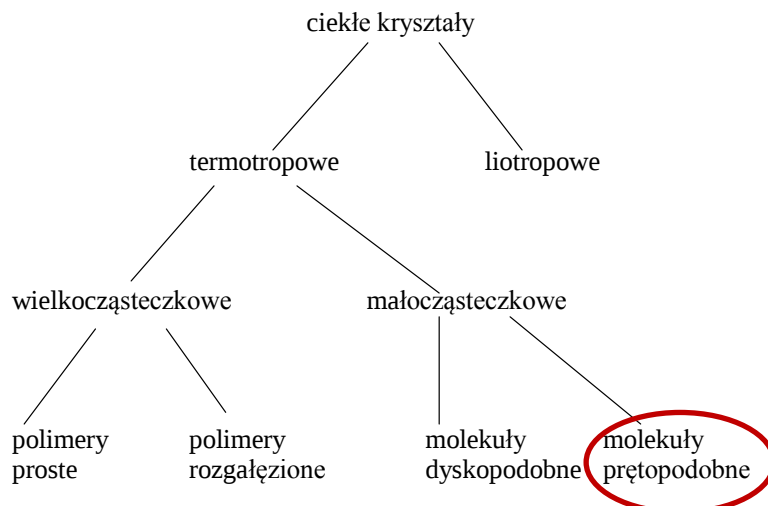


Rys. 2 Schemat ułożenia molekuł w kryształach (a), ciekłym kryształach (b) i cieczy izotropowej (c)

Podczas badań ciekłych kryształów niemiecki fizyk Lehmann stwierdził, że stan ciekłokrystaliczny powstaje również przy rozpuszczaniu pewnych substancji organicznych w określonym zakresie stężeń i temperatur (np. przy rozpuszczaniu olejnianu potasu w mieszaninie wody i alkoholu). Takie ciekłe kryształy nazwano liotropowymi ciekłymi kryształami w odróżnieniu od ciekłych kryształów termotropowych, dla których faza ciekłokrystaliczna pojawia się pod wpływem zmian temperatury. Termotropowe ciekłe kryształy są najczęściej zbudowane ze sztywnej części i giętkiego ogona, natomiast liotropowe ciekłe kryształy zbudowane są z części polarnej i niepolarniej.

Zatem ciekłe kryształy mogą powstać na dwa sposoby: albo podczas zmian temperatury pewnych substancji organicznych albo podczas rozpuszczania jednej substancji w drugiej. Kiedy potocznie mówimy ciekły kryształ, mamy na myśli jedną fazę danej substancji. Jednak w toku badań ciekłych kryształów okazało się, że istnieje wiele faz ciekłokrystalicznych różniących się między sobą budową tzn. ułożeniem molekuł względem siebie w przestrzeni a co za tym idzie także własnościami fizycznymi. Dana substancja może posiadać jedną lub wiele faz ciekłokrystalicznych.

W dalszej części omawiane są własności termotropowych ciekłych kryształów małowiskleczkowych, zbudowanych z molekuł prętopodobnych (Rys. 3), dlatego, iż tego typu związki znalazły najszerze zastosowanie w technice i medycynie i są przedmiotem badań w niniejszym ćwiczeniu.



Rys. 3 Klasyfikacja ciekłych kryształów

Fazy ciekłokrystaliczne

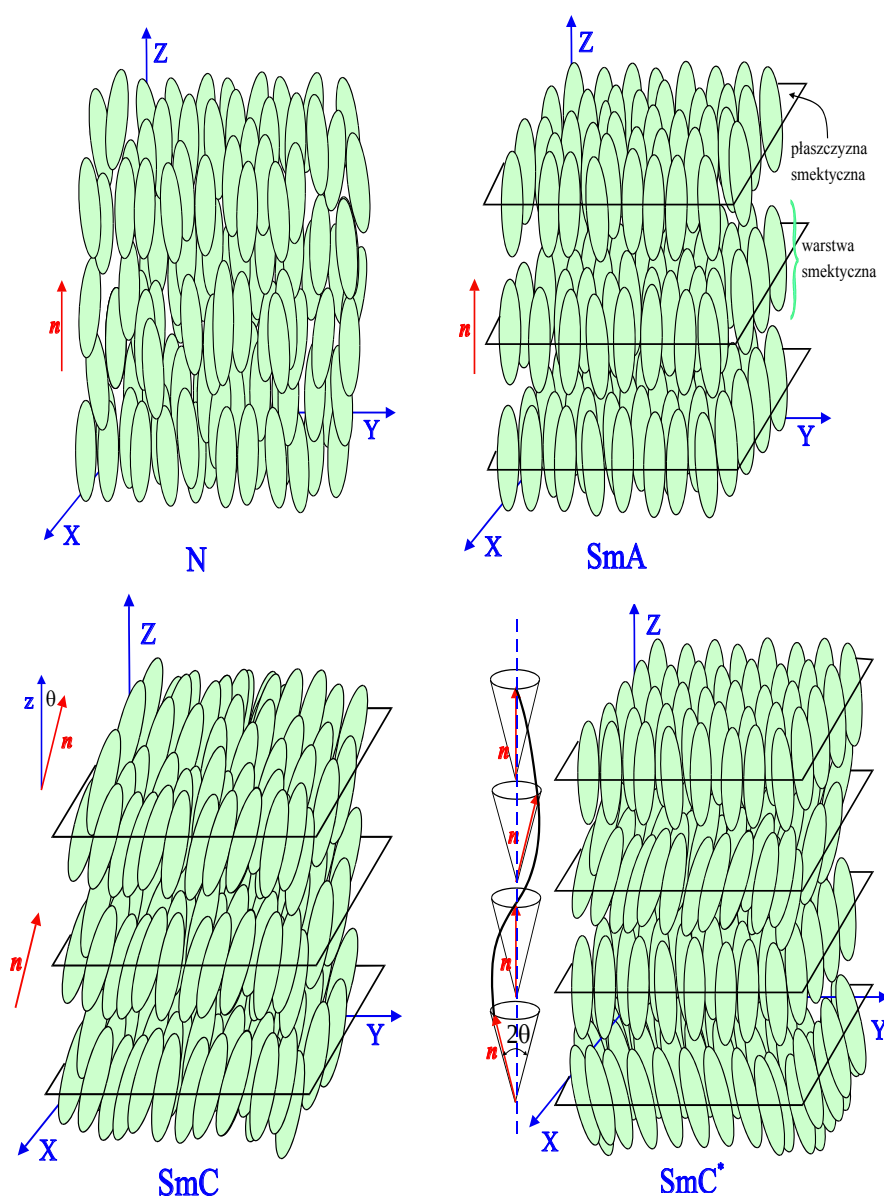
W zależności od stopnia uporządkowania tj. ułożenia względem siebie i w przestrzeni molekuł prętopodobnych rozróżniamy różne fazy ciekłokrystaliczne, które różnią się między sobą również własnościami fizycznymi. Generalny podział ciekłych kryształów termotropowych zaproponował już w 1922 roku G.Friedel. Podzielił on ciekłe kryształy na trzy grupy: smektyczne, nematyczne i cholesterolowe. Ten podział pozostaje aktualny do dziś, z tym, że coraz częściej mówi się tylko o dwóch grupach: smektycznej i nematycznej, a cholesterolowe ciekłe kryształy włącza się do grupy nematycznej.

Rysunek 4 przedstawia uporządkowanie molekuł w poszczególnych wybranych fazach ciekłokrystalicznych. Najmniej uporządkowaną fazą ciekłokrystaliczną jest **nematyk**, oznaczany przez N (Rys. 4a). Nazwa nematyk pochodzi od greckiego słowa *nema*, co oznacza *nić*. Wzięła się ona stąd, że oglądając pod mikroskopem polaryzacyjnym cienkie warstwy tej fazy ciekłokrystalicznej widzimy, dla jednej z jej tekstur, charakterystyczne „nici”. W nematyku środki ciężkości molekuł są rozmieszczone chaotycznie, natomiast długie osie molekuł są średnio równoległe do siebie. Średni kierunek uporządkowania molekuł w ciekłym kryształcie nazywamy „directorem” i oznaczamy ***n***. Ruchy termiczne powodują, że istnieją pewne odstępstwa od tej równoległości i mogą one dochodzić nawet do 40 stopni w stosunku do „directora”, ale *średnio* długie osie molekuł są ułożone wzdłuż „directora”.

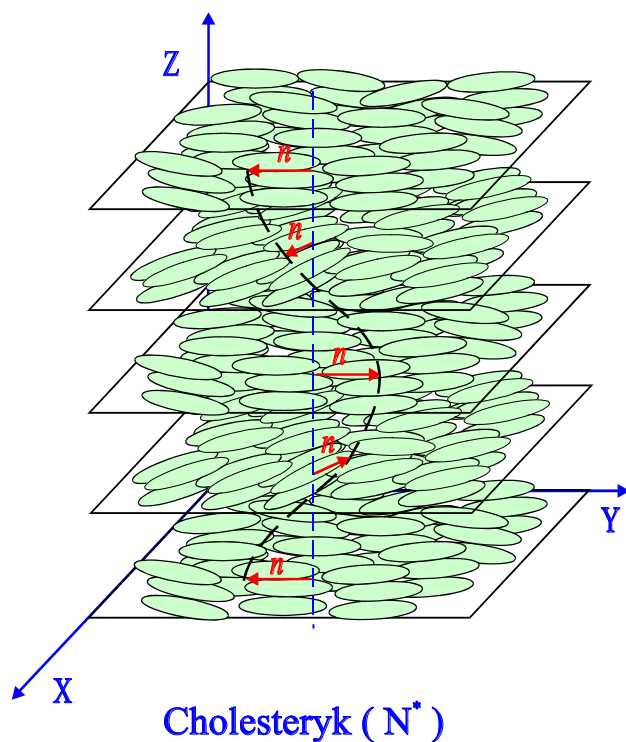
Smektyki są ciekłymi kryształami o strukturze warstwowej – mówimy tu o warstwach smektycznych. Grubość warstwy w smektykach jest porównywalna z długością molekuły. Nazwa smektyk pochodzi od greckiego słowa *smektos* co oznacza *mydłopodobne*, dlatego że pierwsze smektyki odkryto w mydłach czyli solach sodu lub potasu oraz wyższych kwasach tłuszczowych. W warstwach długie osie molekuł są prostopadłe do płaszczyzny smektycznej (płaszczyzna smektyczna to płaszczyzna wyznaczona przez środki ciężkości molekuł) i wtedy mówimy, że są to smektyki ortogonalne, w odróżnieniu od smektyków pochylonych, których długie osie tworzą pewien stały kąt z normalną do warstwy. Najprostszym smektykiem ortogonalnym jest smektyk A, oznaczenie SmA (Rys. 4b) a najprostszym smektykiem pochylonym smektyk C, oznaczenie SmC (Rys. 4c). W obu tych smektykach środki ciężkości molekuł są chaotycznie rozmieszczone w warstwie. Przykładem fazy o heksagonalnym uporządkowaniu środków ciężkości molekuł w warstwie jest ortogonalna faza SmB.

Inne fazy ciekłokrystaliczne powstaną, gdy molekuły z których zbudowana jest substancja są molekułami chiralnymi (molekuła chiralna to taka, która ma w swojej budowie asymetryczny atom węgla - cztery różne podstawniki, a zatem nie ma symetrii lustrzanej). W

takim przypadku zamiast fazy SmC powstanie faza SmC^* . W fazie tej molekuly, tak jak w fazie SmC, są pochylone względem normalnej do warstwy o pewien stały kąt, jednak przechodząc z jednej warstwy do drugiej zmienia się orientacja długich osi molekuł a tym samym „directora” w przestrzeni tak, że tworzy się spiralna struktura „directora” (Rys. 4d). Fazy ciekłokrystaliczne powstające w substancjach zbudowanych z molekuł chiralnych oznaczamy dopisując gwiazdkę do zwykłego oznaczenia fazy, np. SmC^* , SmH^* czy N^* . Oznaczenie N^* czy Ch stosuje się do fazy **cholesterycznej**. Obraz cholesteryka pod mikroskopem polaryzacyjnym jest podobny do tego dla nematyka. Cholesteryk nazywany jest również skręconym nematykiem, dlatego, że jeśli dobrze się przyjrzymy to zauważymy, że każda warstwa cholesteryka jest nematykiem ze swoim „directorem” (rys. 4e). „Director” jednej warstwy jest skręcony w stosunku do „directora” warstwy sąsiedniej tak, że przechodząc z warstwy do warstwy tworzy się spirala w przestrzeni. Grubość warstwy cholesteryka jest porównywalna ze średnicą molekuly (czyli jej grubością) w przeciwieństwie do grubości warstwy smektycznej, która jest rzędu długości molekuly.



Rys. 4 Schemat ułożenia molekuł w wybranych fazach ciekłokrystalicznych: nematycznej (a), smektycznej A (b), smektycznej C (c) oraz smektycznej C* (d)



Rys. 4e Struktura cholesterolowego ciekłego kryształu

Dana substancja może posiadać jedną lub wiele faz ciekłokrystalicznych, np.:

$Kr \leftrightarrow N \leftrightarrow I$

$Kr \leftrightarrow SmA \leftrightarrow I$

$Kr \leftrightarrow SmC \leftrightarrow SmA \leftrightarrow N \leftrightarrow I$

$Kr \leftrightarrow N^* \leftrightarrow I$

$Kr \leftrightarrow SmC^* \leftrightarrow SmA^* \leftrightarrow N^* \leftrightarrow I$

Gdy w diagramie fazowym substancji pojawia się więcej niż jedna faza ciekłokrystaliczna, nazywamy ją substancją polimorficzną lub polimezomorficzną.

Parametr uporządkowania

Parametr uporządkowania S dla ciekłych kryształów określa stopień uporządkowania, czyli wzajemnie równoległego ułożenia molekuł. Dla ciekłego kryształu nematycznego parametr ten wyraża się wzorem:

$$S = 1/2 \langle 3\cos^2\theta - 1 \rangle$$

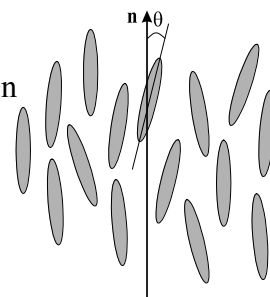
(1)

gdzie średniowanie odbywa się po czasie lub przestrzeni. Parametr ten przyjmuje różne wartości w zależności od fazy:

$S = 1$ idealne uporządkowanie, kryształ

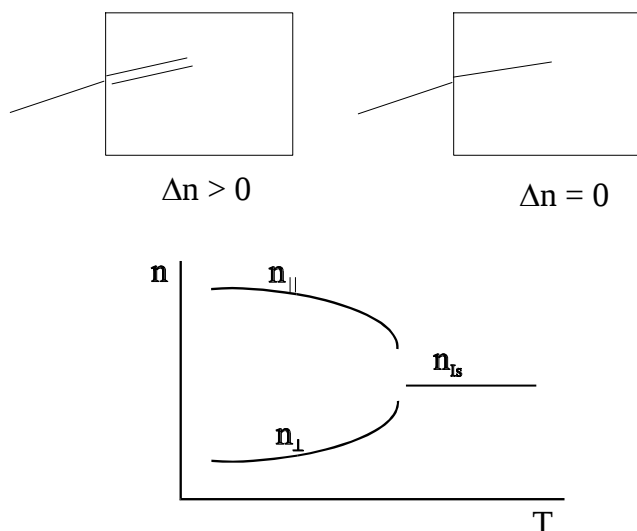
$S = 0$ całkowity nieporządek, cieczy izotropowe

$S \in (0,1)$ częściowe uporządkowanie, ciekłe kryształy

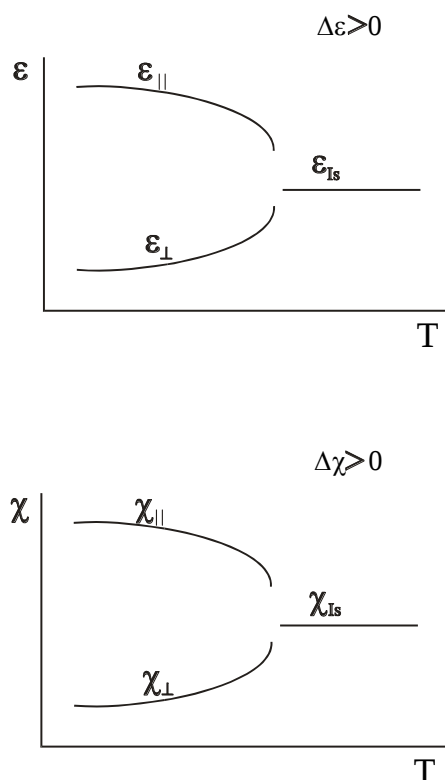


Anizotropia ciekłych kryształów

Wiele znanych kryształów wykazuje dwójłomność. Ciekłe kryształy również posiadają tę właściwość. Światło padając na ciekły kryształ jest rozszczepiane na dwa promienie spolaryzowane równoległe i prostopadłe do „directora”. Miarą dwójłomności jest różnica tych dwóch głównych współczynników załamania:



Rys. 5 Zależność współczynnika załamania światła od temperatury w pobliżu przejścia fazowego ciekły kryształ – ciecz izotropowa



Rys. 6 Zależność temperaturowa przenikalności dielektrycznej (a) i diamagnetycznej (b)

$$\Delta n = n_{\parallel} - n_{\perp} \quad (2)$$

Jeżeli będziemy badać zależność współczynnika załamania światła od temperatury to otrzymamy zależność przedstawioną na Rys. 5.

Anizotropię wykazuje także lepkość. Lepkość η mówi nam o tym jaki jest opór materiału do przepływu. Różne ciecze charakteryzują się różnymi wartościami lepkości, np. $\eta_{\text{syrop}} \gg \eta_{\text{woda}}$. Ciekłe kryształy, z powodu swojej budowy, będą łatwiej płynąć kierunku „directora” niż w innych. Lepkość jest wielkością anizotropową: $\Delta\eta = \eta_{\parallel} - \eta_{\perp} < 0$.

Dla bardziej uporządkowanych ciekłych kryształów anizotropia lepkości będzie większa.

Obecność nawet słabego zewnętrznego pola elektrycznego lub magnetycznego wpływa na uporządkowanie molekuł w ciekłych kryształach. Przenikalność dielektryczna ϵ i diamagnetyczna χ są mierzone jako odpowiedź materiału na przyłożone odpowiednio pole elektryczne lub magnetyczne. W zależności od ciekłego kryształu, molekuly mogą się układać równolegle bądź prostopadle do pola zewnętrznego. Dodatnia wartość anizotropii dielektrycznej $\Delta\epsilon$ bądź diamagnetycznej $\Delta\chi$ oznacza, że preferują ułożenie równoległe do pola. W fazie izotropowej anizotropia dielektryczna i diamagnetyczna są równe zero (Rys. 6):

$$\begin{aligned} \Delta\epsilon &= \epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp} \\ \Delta\chi &= \chi_{\parallel} - \chi_{\perp} \end{aligned} \quad (3)$$

Właściwości dielektryczne

Dielektryki to substancje nie przewodzące prądu elektrycznego czyli izolatory. Należą do nich różne fazy skondensowane, np. ciekłe kryształy. Do opisu dielektryków stosuje się wielkości charakteryzujące właściwości makroskopowe dielektryków (np. $\vec{P}$, $\vec{D}$, ϵ), które powiązane są z wielkościami mikroskopowymi takimi jak moment dipolowy molekuly μ , czy polaryzowalność α .

Dielektryk w statycznym polu elektrycznym

Wielkością charakteryzującą dielektryk jest statyczna przenikalność dielektryczna ϵ_0 (zwana również stałą dielektryczną). Makroskopowe właściwości dielektryka opisują trzy wektory:

1. Wektor indukcji elektrycznej $\vec{D}$, który opisuje natężenie pola pochodzące od ładunków rzeczywistych;
2. Wektor natężenia pola elektrycznego w dielektryku $\vec{E}$, pochodzący ładunków swobodnych;
3. Wektor polaryzacji elektrycznej $\vec{P}$, który opisuje natężenie pola pochodzące od ładunków związanych.

Związki pomiędzy tymi wektorami dla tzw. liniowych dielektryków przedstawiają poniższe wzory:

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P} = \epsilon_0 \epsilon \vec{E} \quad (4)$$

$$\vec{P} = \epsilon_0 (\epsilon - 1) \vec{E} \equiv \epsilon_0 \chi \vec{E} \quad (5)$$

gdzie ϵ_0 jest przenikalnością elektryczną próżni, ϵ to statyczna przenikalność dielektryczna (zwana też stałą dielektryczną), natomiast $\chi = \epsilon - 1$ jest podatnością elektryczną dielektryka. Wzory (3) i (4) są słuszne dla ośrodków izotropowych. W przypadku anizotropowych ośrodków, jakimi są ciekłe kryształy, kierunek wektora indukcji $\vec{D}$ czy polaryzacji $\vec{P}$ nie pokrywa się z kierunkiem wektora natężenia pola $\vec{E}$. W takim przypadku podatność elektryczna dielektryka jest tensorem, a wzory (4) i (5) przyjmują następującą postać:

$$\begin{bmatrix} D_x \\ D_y \\ D_z \end{bmatrix} = \epsilon_0 \begin{bmatrix} \epsilon_{xx} & \epsilon_{xy} & \epsilon_{xz} \\ \epsilon_{yx} & \epsilon_{yy} & \epsilon_{yz} \\ \epsilon_{zx} & \epsilon_{zy} & \epsilon_{zz} \end{bmatrix} \bullet \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{bmatrix} = \epsilon_0 \begin{bmatrix} \chi_{xx} & \chi_{xy} & \chi_{xz} \\ \chi_{yx} & \chi_{yy} & \chi_{yz} \\ \chi_{zx} & \chi_{zy} & \chi_{zz} \end{bmatrix} \bullet \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{bmatrix} \quad (6)$$

W przypadku układów wykazujących symetrię osiową (np. ciekłych kryształów nematycznych) niezerowe pozostają jedynie składowe diagonalne i tensor przenikalności dielektrycznej zapisujemy w następującej postaci:

$$\epsilon = \begin{bmatrix} \epsilon_{\perp} & 0 & 0 \\ 0 & \epsilon_{\perp} & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon_{\parallel} \end{bmatrix} \quad (7)$$

gdzie $\epsilon_{\perp} = \frac{1}{2}(\epsilon_{xx} + \epsilon_{yy})$, natomiast $\epsilon_{\parallel} = \epsilon_{zz}$ (prostopadła i równoległa składowa określana jest względem osi z układu laboratoryjnego).

Dla osiowo symetrycznych nematyków przyjmuje się: $\epsilon_{\perp} = \epsilon_{xx} = \epsilon_{yy}$, a $\epsilon_{\parallel} = \epsilon_{zz}$.

Jeżeli rozpatrzmy pojedynczą molekułę wewnątrz dielektryka będącego pod wpływem stałego zewnętrznego pola elektrycznego $\vec{E}$, to okaże się, że na molekułę działa w rzeczywistości pole lokalne $\vec{E}_{lok}$ różne od zewnętrznego pola $\vec{E}$. Tylko dla gazów rozrzedzonych, dla których oddziaływanie elektrostatyczne między sąsiednimi molekułami jest zaniedbywalnie małe na skutek dużych odległości między nimi można założyć, że

$\vec{E}_{lok} = \vec{E}$. Natężenie pola lokalnego można określić jako efektywne natężenie pola w objętości zajmowanej przez molekułę, wywołane polami zewnętrznymi oraz polami pochodzącymi od wszystkich ładunków dielektryka. W ogólności można przyjąć, że na pole lokalne składają się trzy przyczynki:

$$\vec{E}_{lok} = \vec{E} + \vec{E}_p + \vec{E}_m \quad (8)$$

gdzie $\vec{E}$ jest polem zewnętrznym, $\vec{E}_p$ polem pochodzącym od ładunków wyindukowanych przez molekuły otoczenia, $\vec{E}_m$ polem wynikającym z oddziaływań elektrostatycznych danej molekuły z jej najbliższymi sąsiadami. Pod wpływem pola lokalnego następuje indukowanie polaryzacji, w skład której wchodzi przyczynki związane z deformacją powłok elektronowych (polaryzacja elektronowa), z deformacją wiązań międzyatomowych (polaryzacja atomowa) i z reorientacją molekuł (polaryzacja orientacyjna). Ta ostatnia wnosi dominujący wkład do przenikalności dielektrycznej. Efektywność uporządkowania dipoli molekularnych zależy od wielkości przyłożonego pola oraz od temperatury. Związek pomiędzy polaryzacją a polem lokalnym przedstawia wzór (9):

$$\vec{P} = N_0 \alpha \vec{E}_{lok} \quad (9)$$

gdzie α jest polaryzowalnością a N_0 jest liczbą molekuł w jednostce objętości badanego dielektryka, $N_0 = \rho N_A / M$ (ρ -gęstość, N_A -liczba Avogadro, a M -masa cząsteczkowa).

Opracowano wiele modeli pola lokalnego, które są jedynie przybliżeniem rzeczywistości. Do najbardziej znanych należą modele pola lokalnego Lorentza, Vuksa i Onsagera. To ostatnie nie będzie tu omawiane.

Pole lokalne Lorentza

W swoim modelu Lorentz założył, że $E_m = 0$ (jest to słuszne dla gazów rozrzedzonych lub kryształów kubicznych gdzie te oddziaływania się znoszą) i otrzymał następujące wyrażenie na pole lokalne:

$$\vec{E}_{lok} = \vec{E} + \frac{\vec{P}}{3\epsilon_0} = \frac{\epsilon_0 + 2}{3} \vec{E} \quad (10)$$

Konsekwencją pola lokalnego Lorentza jest równanie Claussiusa - Mossottiego - Debye'a – Lorentza (11), które wiąże parametry mikroskopowe z makroskopowymi:

$$\frac{\epsilon_\infty - 1}{\epsilon_\infty + 2} = \frac{N_0 \alpha}{3\epsilon_0} \quad (11)$$

gdzie α jest polaryzowalnością, która dla molekuł prętopodobnych jest tensorem tak jak podatność i przenikalność dielektryczna (6). N_0 jest liczbą molekuł w jednostce objętości. Równanie (11) jest słuszne dla ośrodków izotropowych. W przypadku anizotropowych układów, np. ciekłych kryształów niepolarnych jednoosiowych można stosować tzw. model Vuksa.

Pole lokalne Vuksa

Wyrażenie na pole lokalne w modelu Vuksa ma następującą postać:

$$\vec{E}_{lok} = \frac{\bar{\epsilon} + 2}{3} \vec{E} \quad (12)$$

gdzie $\bar{\epsilon} = \frac{1}{3} \epsilon_{ii} = \frac{1}{3} (2\epsilon_\perp + \epsilon_\parallel)$. Stosując ten model do opisanie nematyków niepolarnych otrzymujemy:

$$\frac{\varepsilon_{\parallel 0} - 1}{\bar{\varepsilon} + 2} = \frac{N}{9\varepsilon_0} [\alpha_l(2S + 1) + 2\alpha_t(1 - S)]$$

$$\frac{\varepsilon_{\perp 0} - 1}{\bar{\varepsilon} + 2} = \frac{N}{9\varepsilon_0} [\alpha_l(1 - S) + 2\alpha_t(2 + S)]$$
(13)

gdzie S jest parametrem porządku i dla nematyków wyraża się wzorem (1), a α_l i α_t są polaryzowalnościami odpowiednio wzdłuż długiej i krótkiej osi molekuly.

Pomiar przenikalności dielektrycznej

Jeżeli umieścimy dielektryk w zewnętrznym statycznym polu elektrycznym $\vec{E}$ to indukuje się polaryzacja $\vec{P}$, która jest sumą momentów dipolowych na jednostkę objętości dielektryka. Związek pomiędzy $\vec{E}$ a $\vec{P}$ opisuje wzór (5). Względna przenikalność dielektryczną (stała dielektryczną) ε_0 można zdefiniować jako:

$$\varepsilon_0 = \frac{C}{C_0}$$
(14)

gdzie C i C_0 są odpowiednio pojemnościami kondensatorów wypełnionego dielektrykiem i pustego.

Pomiar ε_0 sprowadza się zatem do pomiaru pojemności. Jeśli teraz pole mierzące jest równoległe do magnetycznego pola porządkującego: $\vec{E} \parallel \vec{B}$ to mierzymy $\varepsilon_{\parallel}$. Gdy $\vec{E} \perp \vec{B}$ mierzymy $\varepsilon_{\perp}$. Wykonując pomiary w funkcji temperatury otrzymujemy zależności $\varepsilon_{\parallel}(T)$ i $\varepsilon_{\perp}(T)$ (patrz Rys. 6a). W oparciu o wyznaczone zależności $\varepsilon_{\parallel}(T)$ i $\varepsilon_{\perp}(T)$ można wyznaczyć zależności anizotropii dielektrycznej $\Delta\varepsilon(T)$ oraz parametru porządku $S(T)$.

Literatura uzupełniająca

1. J. Żmija, J. Zieliński, J. Parka, E. Nowinowski-Kruszelnicki, „Displeje ciekłokrystaliczne. Fizyka, Technologia i zastosowanie”, PWN, Warszawa 1993, rozdz. 2.
2. Fizyczne metody badań w biologii, medycynie i ochronie środowiska, Praca zbiorowa pod redakcją A.Z. Hrynkiwicz i E. Rokity, PWN, Warszawa 1999, rozdz. 10.2
3. A. Adamczyk, „Niezwyczajny stan materii. Ciekłe kryształy”, WP, Warszawa 1979
4. A. Chelkowski, „Fizyka dielektryków”, PWN, Warszawa 1993