

Ciekłe kryształy

# Niezwykłe kryształy



Prof. Wojciech Kuczyński jest fizykiem, zajmuje się badaniami struktury i własności fizycznych ciekłych kryształów

**WOJCIECH KUCZYŃSKI**

Instytut Fizyki Molekularnej  
Polskiej Akademii Nauk, Poznań  
wkucz@ifmpan.poznan.pl

**Ciekłe kryształy stały się w ostatnich latach materiałami codziennego użytku. Stosuje się je w przedmiotach, bez których dzisiaj trudno byłoby wyobrazić sobie życie**

Ciekłe kryształy znajdujemy w zegarkach cyfrowych, w monitorach komputerowych i telewizorach. Trudno sobie wyobrazić obecny błyskawiczny rozwój telefonii komórkowej bez ekranów ciekłokrystalicznych. Całkowitą powierzchnię wyświetlaczy ciekłokrystalicznych produkowanych co roku wyraża się już w kilometrach kwadratowych. Ten burzliwy rozwój nowych technologii nie byłby możliwy, gdyby nie poprzedziły go badania naukowe nad naturą ciekłych kryształów. Jednak postęp technologii i nauki nie idzie w parze z powszechną znajomością tych materiałów. Ciekłe kryształy wciąż traktuje się jak jakieś zagadkowe i tajemnicze

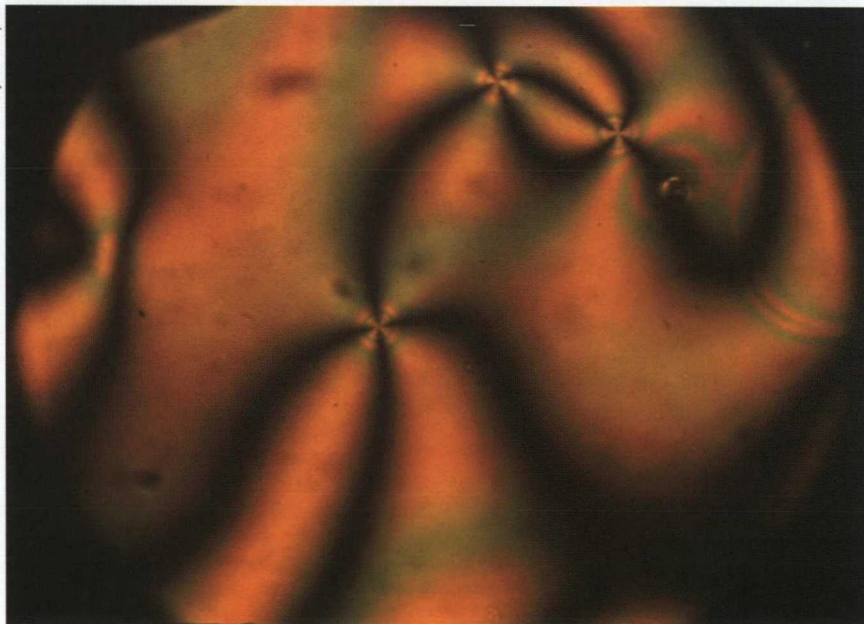
obiekty. Dzieci w szkole uczą się o trzech stanach skupienia: stałym, ciekłym i gazowym. W tej klasyfikacji nie ma miejsca na ciekłe kryształy. Czym one zatem właściwie są?

## Między ciałem stałym a cieczą

W wyniku topnienia ciała stałego powstaje zazwyczaj ciecz. Niekiedy jednak proces topnienia jest bardziej skomplikowany i zachodzi w dwóch lub wielu etapach. Takie właśnie stany pośrednie między stanem stałym a cieczą nazywamy mezofazami albo - ciekłymi kryształami.

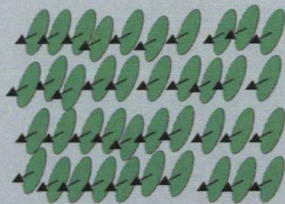
Kryształy, będące ciałami stałymi, charakteryzuje porządek pozycyjny dalekiego zasięgu. Oznacza to, że cząsteczki lub atomy, z których zbudowany jest kryształ, zajmują ściśle określone położenia w trójwymiarowej sieci krystalicznej. Ciecze i gazy takiego porządku nie wykazują. Mezofazy, jako stany pośrednie pomiędzy ciałem stałym a cieczą, charakteryzuje zarówno porządek dalekiego zasięgu, jak i płynność. Jednakże ich uporządkowanie nie jest tak idealne, jak w kryształach. Najprostsze ciekłe kryształy, zwane nematykami, odznaczają się jednowymiarowym porządkiem orientacyjnym (co oznacza, że tworzące je molekuly

Wojciech Kuczyński

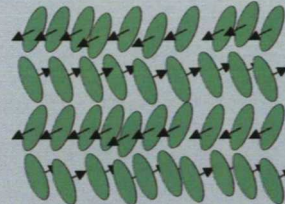


Efekty optyczne spowodowane anizotropią, uwidocznione przez światło spolaryzowane w najprostszym (nematycznym) ciekłym kryształach

W niektórych smektycznych ciekłych kryształach cząsteczki są pochylone względem płaszczyzny warstwy. Jeżeli molekuly są chiralne, czyli różnią się od swego lustrzanego odbicia (jak lewa ręka różni się od prawej), dochodzi do uporządkowania poprzecznych składowych ich dipoli elektrycznych (zaznaczonych na schemacie strzałkami). W każdej warstwie smektycznej, równoległe do płaszczyzny warstwy i pro-



stopadłe do kierunku pochylenia, pojawia się polaryzacja elektryczna. Jeżeli kierunki pochylenia są we wszystkich warstwach takie same lub zbliżone (jak na rysunku po lewej stronie), materiał przejawia własności ferroelektryczne.



Gdy kierunki pochylenia w kolejnych warstwach są antyrównoległe (jak na rysunku po prawej stronie), polaryzacja każdej pary warstw smektycznych kompensuje się i materiał przejawia własności antyferroelektryczne.

„ustawiają się” osiami w wyróżnionym kierunku). Z tego powodu wiele ich własności fizycznych ma charakter anizotropowy, czyli zależny od kierunku obserwacji. Światło spolaryzowane pozwala zaobserwować niezwykle efekty związane z tą anizotropią.

### Skomplikowany porządek smektyków

Smektyczne ciekłe kryształy mają bardziej złożoną budowę. Oprócz uporządkowania orientacyjnego (czyli związanego z kierunkiem ustawienia molekuł), charakteryzują się różnymi rodzajami porządku pozycyjnego (związanego z ich położeniem). Istnieje wiele rodzajów smektyków. Niektóre z nich mogą tworzyć struktury śrubowe - wtedy, gdy przynajmniej niektóre molekuly w kryształach są chiralne (czyli różnią się od swego odbicia zwierciadlanego). Okres struktur śrubowych bywa często porównywalny z długością fali światła widzialnego. W takim wypadku, dzięki zjawisku selektywnego odbicia, warstwa ciekłego kryształu w świetle odbitym nabiera kolorów.

Efekt ten wykorzystaliśmy do wizualizacji warstw smektycznych. Grubość takiej warstwy wynosi około 3 nm ( $3 \times 10^{-9}$  m, czyli znacznie poniżej długości fali światła widzialnego) i w zasadzie nie da się jej zaobserwować pod żadnym mikroskopem optycznym. W naszych eksperymentach zastosowaliśmy więc komórkę pomiarową w kształcie bardzo ostrego klina (o kącie rozwarcia rzędu  $10^{-4}$  radiana). W takiej komórce pojawiają się pewne defekty - dyslokacje krawędziowe. Odległości mię-

dzy tymi dyslokacjami, związanymi z każdą warstwą smektyczną, są 10 tys. razy większe niż grubość tej warstwy. Jeżeli zakotwiczenie cząsteczek na powierzchni komórki jest silne, to obszary pomiędzy dyslokacjami przyjmują różne kolory w świetle odbitym. Ponieważ dyslokacje dzielą stosunkowo duże odległości (rzędu 30  $\mu$ m), można je obserwować w świetle spolaryzowanym przy pomocy zwykłego mikroskopu optycznego.

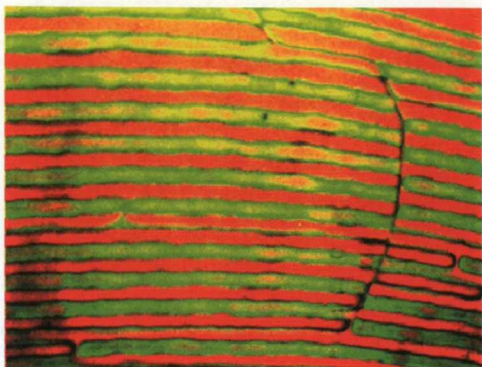
Metoda ta, zastosowana przez nas do badania struktury różnych faz w antyferroelektrycznych ciekłych kryształach, pozwoliła uwidocznić szczegóły struktury tych faz, np. różnice w kierunkach pochylenia sąsiednich warstw smektycznych.

Niektóre smektyki, zbudowane z cząsteczek chiralnych, charakteryzują się uporządkowaniem dipoli wewnątrz każdej warstwy smektycznej. Wytworzona w ten sposób spontaniczna polaryzacja może być równoległa lub antyrównoległa w sąsiednich warstwach. W pierwszym przypadku materiał wykazuje własności ferroelektryczne, a w drugim - antyferroelektryczne. Ze względu na obecność lokalnej polaryzacji, w obu tych rodzajach smektycznych ciekłych kryształów występuje zjawisko szybkiego przełączania, dzięki czemu świetnie nadają się one do wykorzystania w urządzeniach elektrooptycznych. Ferroelektryczne ciekłe kryształy stosuje się już dziś w ekranach telewizyjnych i przełącznikach światła.

Ciekłe kryształy antyferroelektryczne znajdują zapewne podobne, a nawet szersze zasto-

## Ciekłe kryształy

Dyslokacje  
krawędziowe  
w fazie  
antyferroelektrycznej.  
Różne kolory  
odpowiadają różnym  
kierunkom  
pochylenia molekuł



Wojciech Kuczyński

sowania. W niektórych ciekłych kryształach antyferroelektrycznych obserwuje się tak zwane zjawisko przełączania bezprogowego. Zjawisko to można wykorzystać dla wytworzenia skali szarości w ekranach telewizyjnych lub monitorach komputerowych. Choć możliwości zastosowań są tu bardzo rozległe, nie poznano jeszcze w pełni fizycznego mechanizmu tego zjawiska. W naszych doświadczeniach pokazaliśmy, że ten rodzaj przełączania związany jest ze skomplikowanym charakterem oddziaływań między sąsiednimi warstwami smektycznymi, z których jedne dążą do pochylenia cząsteczek w tę samą stronę, a inne – do pochylenia w przeciwną stronę. Jedną z tych opcji zwycięża, ale ten stan może być łatwo zmieniony, np. przez subtelny wpływ powierzchni próbki czy zewnętrznych pól. Nasze badania pozwoliły więc lepiej zrozumieć zjawisko „przełączania bezprogowego”.

### Kryształ defektów

Niektóre chiralne smektyczne ciekłe kryształy tworzą tak zwaną fazę skręconych granic ziaren (z angielska *twist grain boundary*, TGB). Są to ciekłokrystaliczne odpowiedniki „fazy Abrikosowa”, która występuje w nadprzewodnikach. Fazy TGB charakteryzują się strukturą śrubową, której oś leży w płaszczyźnie warstw smektycznych. Istnienie takiej struktury możliwe jest dzięki pojawieniu się wielkiej liczby defektów. Tymi defektami są dyslokacje śrubowe, uporządkowane w równoległą strukturę, które dzieli kilkadziesiąt cząsteczek. Tak powstaje dwuwymiarowa siatka defektów, oddzielająca ziarna smektyczne, zawierające około tysiąca cząsteczek. Lokalnie ziarna takie mają zwykłą strukturę smektyczną typu A lub C. W czasie naszych badań zaobserwowaliśmy po raz pierwszy nowy rodzaj fazy skręconych ziaren, w której ziarna mają śrubową strukturę smektyczną C\*. Ta niewielka

modyfikacja powoduje znaczne zmiany w budowie nowo odkrytej fazy. Występują w niej dwa różne systemy śrubowe: lokalny, związany z fazą smektyczną C\* w każdym ziarnie, oraz dalekozasięgowy, powstający w wyniku skręcenia układów dyslokacji w sąsiednich ziarnach. Powoduje to dalekozasięgowe uporządkowanie defektów w trzech wymiarach. Istnienie takiego uporządkowania oznacza, iż mamy do czynienia z kryształem – jest to jednak kryształ niezwykle, ponieważ elementami jego struktury są nie atomy czy grupy atomów, a defekty. Nie jest to wadliwy, zdefektowany kryształ, ale kryształ zbudowany z defektów. Stała sieci takiego kryształu jest rzędu 1 μm. Jego strukturę można obserwować przy pomocy światła spolaryzowanego w zwykłym mikroskopie optycznym.

Ponieważ odległości między płaszczyznami sieciowymi takiego kryształu defektów są porównywalne z długością fali światła widzialnego, ma on niezwykle własności optyczne. Odbija on światło danej barwy pod ściśle określonymi kątami, spełniającymi warunek Bragga. Przy pomocy takich kryształów można przeprowadzać wiele doświadczeń optycznych znanych z techniki promieni X, takich jak doświadczenie Lauego czy Debye'a-Scherrera. Doświadczenia te pozwalają określić szczegóły struktur faz TGB, mogą też być wykorzystane do celów dydaktycznych.

Jak wynika z tego krótkiego przeglądu, ciekłe kryształy to nie tylko materiały o wielkim potencjale zastosowań, lecz także o intrygujących własnościach fizycznych. Te dwie cechy, wywołując wielkie zainteresowanie fizyków i inżynierów, stymulują rozwój badań naukowych i technologii. Współpraca uczonych i techników prowadzi do pojawiania się nowych zastosowań i otwiera bramę do nowych odkryć w fizyce ciekłych kryształów. ■

#### Chcesz wiedzieć więcej?

- Collings P.J. (1990). *Liquid Crystals, Nature's Delicate Phase of Matter*, Adam Hilger, Bristol
- Dierking I. (2003). *Textures of Liquid Crystals*, Wiley-VCH, Weinheim
- Kuczyński W., Pavel J., Nguyen H.T. (1998). *Observation of edge dislocations in helical smectic liquid crystals*, *Phase Transitions*, 68, 643-655
- Kuczyński W., Goc F. (2003). *Metastable states in liquid-crystalline mixtures*, *Liquid Crystals*, 30 (6), 701-709
- Kuczyński W., Stegemeyer H. (1994). *Observation of mixing induced twist grain boundary phases in liquid crystals*, *Ber. Bunsenges. Phys. Chemie*, 98, 1322-1324