



Ciekłe kryształy

Joanna Janik
Instytut Fizyki UJ

Ciekłe kryształy są piękne i tajemnicze. Fascynują mnie z obu tych powodów.

P.G. de Gennes

Coraz częściej słyszymy, że znajomy albo sąsiad kupił telewizor ciekłokrystaliczny. Wcześniej mówiło się o ekranach, kalkulatorach czy zegarkach z wyświetlaczami ciekłokrystalicznymi. Kiedy nowo poznana osoba dowiaduje się, że zajmuje się ciekłymi kryształami, najczęściej wyobraża je sobie jak stopione szkło lub coś w rodzaju gęstej, błyszczącej cieczy, albo też uważa, że termin, którego użyłam, jest sprzeczny sam w sobie. Chociaż jednak wyrażenie „ciekły kryształ” funkcjonuje w naszej świadomości od wielu już lat, okazuje się, że nadal wiele osób nie wie, co to są ciekłe kryształy. Warto więc zastanowić się, co kryje się pod tą nazwą i dlaczego do definicji pewnej klasy substancji użyto określenia, które niesie w sobie pewien posmak sprzeczności.

W szkole uczymy się, że istnieją trzy stany skupienia: stały, ciekły i gazowy. Gdy podwyższamy temperaturę kryształu, wówczas w pewnej określonej temperaturze może nastąpić przejście do stanu ciekłego. Mówimy wtedy, że nastąpiło przejście fazowe zwane topnieniem. Gdy dalej będziemy zwiększać temperaturę, może nastąpić kolejna przemiana fazowa (zwana parowaniem) i nasza substancja przejdzie ze stanu (fazy) ciekłej do stanu gazowego. Zastanówmy się, co się dzieje z punktu widzenia molekuł w trakcie topnienia. W fazie stałej molekuły znajdują się w ustalonych miejscach, ich środki ciężkości są uporządkowane (tworzą sieć krystaliczną), a cząsteczki nie mogą się obracać (czyli nie mają swobody rotacji). Natomiast w cieczy, molekuły mogą:

- przesuwać się względem siebie, ich środki ciężkości nie są uporządkowane,
- obracać się wokół dowolnej osi.

W temperaturze topnienia cząsteczki zyskują swobodę translacji oraz swobodę rotacji. Tak się dzieje dla cieczy takich jak np. woda.

W 1888 roku austriacki botanik Reinitzer przeprowadził badania nad topnieniem benzoesu cholesterylu. Zauważył on, że substancja ta topi się w inny sposób niż lód: najpierw powstaje mętna ciecz, która dopiero w pewnej wyższej temperaturze staje się zwykłą, przezroczystą cieczą. Rok później niemiecki fizyk Otto Lehmann zbadał tę niezwykłą mętą ciecz i stwierdził, że wykazuje ona niespoty-

kaną wcześniej dla cieczy własność – jest dwójłonna^{1!!!} Przy dalszym ogrzewaniu, w temperaturach wyższych od tej, dla której badana ciecz stawała się przezroczysta (zwanej *temperaturą klarowania*²), tylko jeden współczynnik załamania światła był zaobserwowany, co było „normalnym zachowaniem” wcześniej poznanych cieczy. Taką cieczą, której właściwości fizyczne nie zależą od kierunku w jakim je badamy, nazywamy *cieczą izotropową*. Przykładem cieczy izotropowej jest np. woda. Benzoosan cholesterylu nie zachowywała się jednak, pomiędzy temperaturami topnienia i klarowności, jak zwykła ciecz izotropowa. Wprawdzie tak jak ona mogła płynąć, ale równocześnie wykazywała pewne cechy charakterystyczne dla kryształów, i z tego właśnie powodu Lehmann nazwał tę dwójłonną cieczą „ciekłym kryształem”.

Co jest przyczyną różnego zachowania przy topnieniu? Co się dzieje w temperaturze topnienia przy przejściu od kryształu do ciekłego kryształu, a co w temperaturze klarowności? Dlaczego niektóre substancje, zanim staną się cieczami izotropowymi, przechodzą przez stan ciekłokrystaliczny, a inne nie?

Okazuje się, że fazę ciekłokrystaliczną w pewnym zakresie temperatur mogą posiadać tylko substancje, których cząsteczki charakteryzują się silnie anizotropowym kształtem, czyli albo są wydłużone (np. wyglądają jak ołówki, pisaki, pręty), albo spłaszczone (jak np. herbatniki, dyski). Substancje, których molekuly mają kształt kulek, nie mogą mieć fazy ciekłokrystalicznej. Kształt molekuł powoduje olbrzymie konsekwencje dla ich własności fizycznych. Wyobraźmy sobie, że chcemy umieścić w pudełku dużą ilość, np. 100 ołówków. Znacznie wygodniej jest je ułożyć równoległe do siebie niż porozrzucić w różnych kierunkach. Ołówki w pudełku mogą się przesuwac względem siebie, czyli mają swobodę translacji. Znacznie trudniej jest natomiast, gdybyśmy chcieli któryś ołówek obrócić – moglibyśmy napotkać na opór pozostałych ołówków. Nasz przykładowy ołówek nie ma więc pełnej swobody rotacji. Podobnie herbatniki – również będą miały tendencję do równoległego ułożenia się względem siebie. I tak właśnie uporządkowany jest najprostszy ciekły kryształ (rys. 1).

¹ Zjawisko dwójłomności optycznej polega na rozdzieleniu na granicy dwóch ośrodków promienia świetlnego na promień zwyczajny i nadzwyczajny. Promień zwyczajny spełnia prawo Snelliusa.

² Temperaturę klarowania nazywa się też czasami punktem klarowności lub klarowania.



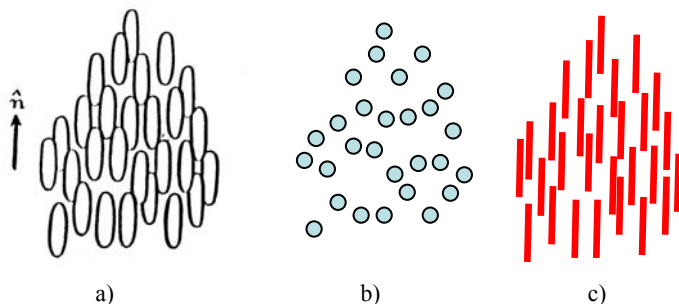
Rys. 1. Zdjęcia pisaków oraz herbatników umieszczonych w pudełku

Wrómy teraz do pytania o to, co się dzieje przy topnieniu kryształu zbudowanego z anizotropowych molekuł. Molekuły zwykłej cieczy przy topnieniu zyskują możliwość swobodnego przesuwania się względem siebie, czyli swobodę translacji, oraz możliwość obrotu wokół dowolnej osi – swobodę rotacji. W przypadku topnienia substancji ciekłokrystalicznej, oba te procesy nie zachodzą w tej samej temperaturze. Najpierw, w temperaturze topnienia, cząsteczki uzyskują swobodę translacji, czyli substancja może płynąć. Podobnie jednak jak ołówki w pudełku, molekuły nie mogą się obracać wokół dowolnej osi. Substancja znajduje się w fazie ciekłokrystalicznej. Później, w temperaturze klarowności, molekuły uzyskują również swobodę rotacji. Substancja staje się zwykłą cieczą izotropową. Substancje, które przechodzą w stan ciekłokrystaliczny pod wpływem temperatury, nazywa się termotropowymi ciekłymi kryształami.

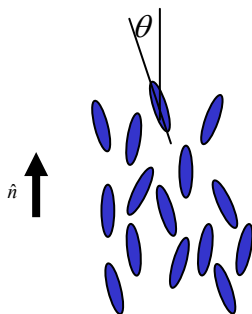
Istnieje kilka rodzajów termotropowych ciekłych kryształów, które różnią się między sobą rodzajem uporządkowania. Najprostszą fazę ciekłokrystaliczną nazywa się *fazą nematyczną* lub *nematykiem*. Jedynym rodzajem uporządkowania, jaki obserwuje się w nematycznym ciekłym kryształ, jest uporządkowanie kierunku długich osi molekuł³ (w przypadku cząsteczek prętopodobnych) lub ich osi krótkich (dla dyskopodobnych cząsteczek). Środki ciężkości molekuł nematyka nie są uporządkowane, podobnie jak brak jest ich uporządkowania dla cieczy izotropowej. Opisywane powyżej modele uporządkowania ołówków lub herbatników były więc modelami nematycznych ciekłych kryształów. W idealnym nematyku wszystkie cząsteczki byłyby ułożone dokładnie równoległe do siebie. Ze względu jednak na ruchy termiczne molekuł, rzeczywiste uporządkowanie nie jest idealne. Cząsteczki są odchylone od średniego kierunku molekuł o pewien kąt. Ten średni wyróżniony kierunek, do którego molekuły są prawie równoległe, opisuje się definiując wektor jednostkowy zgodny z tym kierunkiem, który to

³ Osie symetrii molekuł o anizotropowym kształcie mają różną długość.

wektor nazywa się *direktorem*. Jeżeli chcemy określić, jak dobrze uporządkowane są molekuly nematyka w jakiejś określonej temperaturze, wówczas możemy podać tzw. parametr porządku S , który jest miarą odchylenia molekuł od direktora⁴.



Rys. 2. a) Uporządkowanie molekuł idealnego nematycznego ciekłego kryształu. \hat{n} oznacza direktor. Na rysunku b) przedstawione są środki ciężkości molekuł – są one nieuporządkowane. Biorąc pod uwagę tylko środki ciężkości, nie jesteśmy w stanie określić czy mamy do czynienia z nematykiem, czy z cieczą izotropową. Na rysunku c) przedstawiono długie osie molekuł – są one równoległe do kierunku direktora

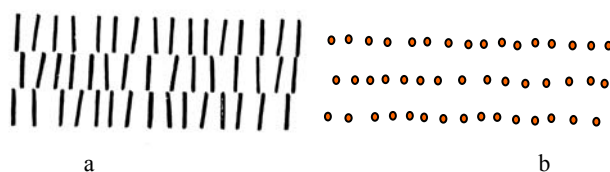


Rys. 3. Uporządkowanie molekuł w rzeczywistym nematyku. Na rysunku zaznaczono direktor, czyli wektor jednostkowy o kierunku zgodnym ze średnim kierunkiem długich osi molekuł. Kąt θ jest chwilowym kątem odchylenia długiej osi molekuly od kierunku direktora

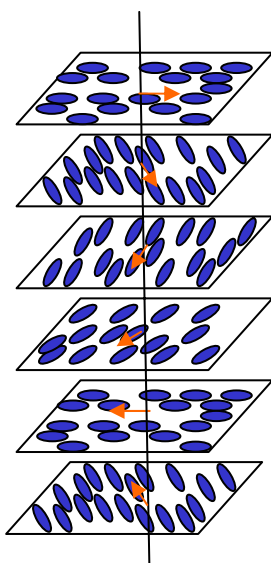
⁴ $S = \frac{1}{2} \langle 3 \cos^2 \theta - 1 \rangle$, gdzie θ jest kątem odchylenia cząsteczki od kierunku direktora,

a średnia jest liczona po całym zespole molekuł. Dla idealnego uporządkowania $S = 1$, natomiast dla cieczy izotropowej $S = 0$. Dla typowych nematyków S przybiera wartości od 0,4 do 0,7.

Bardziej złożonym uporządkowaniem charakteryzują się *fazy smektyczne* czyli *smektyki*. Oprócz uporządkowania kierunku molekuł, smektyki charakteryzują się uporządkowaniem środków ciężkości molekuł, które tworzą warstwy. Odległość między warstwami jest ustalona i można ją określić jako stałą sieci w kierunku prostopadłym do warstw. Warstwy te mogą się jednak przesuwać względem siebie, co jest niemożliwe przy uporządkowaniu krystalicznym. Smektyki można traktować jako jednowymiarowe lub dwuwymiarowe (w przypadku, gdy istnieje dodatkowo uporządkowanie środków ciężkości molekuł wewnątrz danej warstwy, co pozwoliłoby zdefiniować dwie stałe sieci) „kryształy”⁵.



Rys. 4 a) Uporządkowanie molekuł w najprostszej fazie smektycznej. Na rysunku b) zaznaczono środki ciężkości molekuł. Tworzą one warstwy. Smektyk bez trudu można odróżnić zarówno od cieczy izotropowej jak i od nematyka



Wyróżnia się jeszcze jeden rodzaj termotropowych ciekłych kryształów. Nazywa się je *cholesterykami*, albo inaczej mówi się o nich, że tworzą *fazę cholesterolową*. Częsteczki cholesteryków są wydłużone, ale nieco asymetryczne i dlatego najwygodniej jest im uporządkować się w taki sposób, że w kolejnej warstwie są one skręcone o pewien niewielki kąt względem molekuł sąsiedniej warstwy. Kierunek molekuł tworzy spiralę. Środki ciężkości molekuł nie są uporządkowane podobnie jak w nematykach i z tego względu cholesteryki zalicza się często do faz nematycznych, nazywając je *skręconymi nematykami*.

Rys. 5. Uporządkowanie molekuł w cholesterolowym ciekłym kryształach. Długie osie molekuł w kolejnej warstwie są skręcone o pewien kąt. Kierunek direktora (zaznaczony szarą strzałką) zakreśla linię śrubową. Dla jasności rysunku nie uwzględniono wszystkich warstw

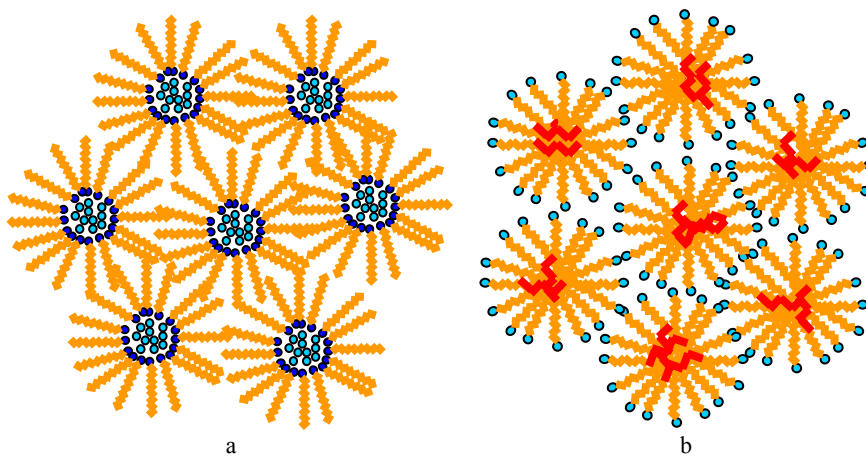
⁵ Kryształy muszą mieć określoną sieć krystaliczną we wszystkich trzech wymiarach przestrzeni, czyli definiuje się dla nich trzy stałe sieci.

Przedstawiony powyżej scenariusz powstawania fazy ciekłokrystalicznej pod wpływem zmiany temperatury nie jest jedyną możliwością. Oprócz termotropowych ciekłych kryształów istnieje jeszcze inny rodzaj ciekłych kryształów. Nazywa się je liotropowymi ciekłymi kryształami. Przejście fazowe do stanu ciekłokrystalicznego zachodzi w tym przypadku pod wpływem dodania odpowiedniego rozpuszczalnika. Co to jednak znaczy „odpowiedni” rozpuszczalnik? Jeżeli dodamy wodę, czyli rozpuszczalnik polarny, do np. alkoholu etylowego, wtedy bez względu na stężenie nie otrzymamy fazy ciekłokrystalicznej. Podobnie, gdy dodamy np. benzen (rozpuszczalnik niepolarny) do parafiny⁶, nie powstanie ciekły kryształ. Znowu powstaje pytanie: jaki warunek musi spełnić substancja, aby mogła istnieć dla niej faza ciekłokrystaliczna. Odpowiedź ponownie jest związana z budową molekuly kandydata na występowanie w fazie ciekłokrystalicznej. Część cząsteczki szukanej substancji musi składać się z dwóch części, z których każda ma inne powinowactwo do wody. Jedna część takiej cząsteczki musi być polarna (jest ona wtedy hydrofilowa czyli „lubiąca wodę”), natomiast druga część powinna być hydrofobowa, co oznacza „strach przed wodą”. Takie substancje nazywa się *amfifilowymi*. Jeżeli do substancji amfifilowej dodamy wodę (lub inny rozpuszczalnik polarny), wówczas molekuly będą się starały uporządkować w taki sposób, żeby część hydrofilowa molekuly była jak najbliżej wody, a część hydrofobowa jak najdalej od niej. Podobnie, gdy w rozpuszczalniku niepolarnym rozpuścimy substancję amfifilową, wtedy cząsteczki rozpuszczalnika znajdą się bliżej części niepolarniej molekuly, a jej część polarna umieści się daleko od rozpuszczalnika. Tego typu struktury nazywa się micelami. Przy odpowiednim stężeniu rozpuszczalnika następuje przejście do uporządkowanej fazy ciekłokrystalicznej. W fazie ciekłokrystalicznej micelle wykazują stabilność i dalekozasięgowe uporządkowanie. Micele mogą mieć kształt prętów i tworzą wtedy ciekłe kryształy ze strukturą komórkową. Jeżeli micelle mają kształt kulek, to tworzona wówczas struktura jest strukturą kubiczną. Istnieje jeszcze inna możliwość uporządkowania molekuł amfifilowych i rozpuszczalnika: molekuly amfifilowe mogą ustawiać się równolegle do siebie i tworzyć warstwy, pomiędzy którymi znajdują się warstwy cząsteczek rozpuszczalnika. Tego typu twory nazywa się lamelami. Tworzą one przypominające fazy smektyczne struktury liniowe.

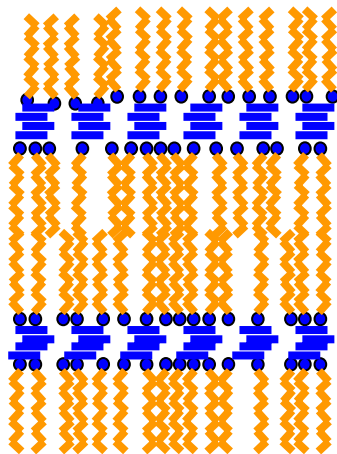


Rys. 6. Schematyczny rysunek przykładowej molekuly amfifilowej. Molekuła składa się z polarnej „główki” oraz z niepolarnego łańcucha alifatycznego

⁶ Parafina jest mieszaniną nasyconych węglowodorów stałych.



Rys. 7. Liotropowy ciekły kryształ – micelle. Na rysunku a) do substancji amfifilowej dodano rozpuszczalnik polarny. Rysunek b) przedstawia sytuację, gdy dodanym do rozpatrywanej substancji rozpuszczalnikiem jest rozpuszczalnik niepolarny



Rys. 8. Liotropowy ciekły kryształ – uporządkowanie lamelarne. Do molekuł amfifilowych dodano rozpuszczalnik polarny o innym stężeniu niż w przypadku sytuacji, gdy tworzyły się micelle (patrz rys. 7)

Podsumujmy to, co dotychczas dowiedzieliśmy się o ciekłych kryształach:

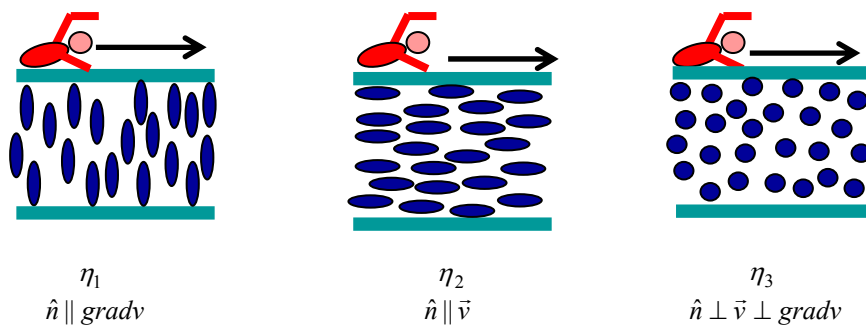
- Ciekłe kryształy są stanem materii, w której niektóre jej własności są takie same, jak cieczy (np. zdolność płynięcia), natomiast inne są takie, jak dla kryształów (np. uporządkowanie, dwójłomność optyczna),
- Fazy ciekłokrystaliczne mogą występować dla substancji, których molekuly są odpowiednio zbudowane (mają silnie anizotropowy kształt, mogą być też amfifilowe),
- Przejście do fazy ciekłokrystalicznej może nastąpić albo pod wpływem temperatury, albo dodania odpowiedniego rozpuszczalnika,
- Istnieje kilka rodzajów uporządkowania molekuł w fazach ciekłokrystalicznych. Termotropowe ciekłe kryształy dzieli się na nematyki, smektyki i cholesteryki, natomiast liotropowe tworzą micelle i lamele.

Wiemy już, co to są ciekłe kryształy, jak powstają, jak są zbudowane ich cząsteczki i jakie są podstawowe rodzaje ich uporządkowania. Zastanowimy się teraz nad tym, jakie konsekwencje dla właściwości fizycznych ma ciekłokrystaliczne uporządkowanie molekuł. Z konieczności zajmiemy się tylko niektórymi własnościami ciekłych kryształów. Własnością, która chyba najlepiej pokazuje istotę „ciekłokrystaliczności”, jest zdolność płynięcia i związany z nią współczynnik lepkości, który określa opór wewnętrzny cieczy przy przepływie. Dla cieczy izotropowych mierzy się tylko jeden współczynnik lepkości dynamicznej⁷ i jest on taki sam bez względu na kierunek, w jakim go mierzymy. W fazie ciekłokrystalicznej współczynnik ten zależy jednak od kierunku, w jakim przeprowadzamy pomiar, czyli jest on anizotropowy, a anizotropia własności fizycznych jest przecież cechą charakterystyczną nie dla cieczy, ale dla kryształów!!! Z rozważań teoretycznych wynika, że dla ciekłych kryształów trzeba zdefiniować aż pięć liniowo niezależnych współczynników lepkości. Co praktycznie oznacza istnienie anizotropii współczynnika lepkości? Jeżeli chcielibyśmy popływać w basenie wypełnionym ciekłym kryształem, wówczas w zależności od tego, w jakim kierunku względem kierunku uporządkowania direktora byśmy się poruszali, nasze zmęczenie byłoby różne (nawet wtedy, gdy pozostałe warunki, takie jak np. temperatura, dystans, byłyby identyczne).

Pływak z rysunku 9, płynący w fazie nematycznej, najbardziej by się zmęczył w sytuacji (a), która odpowiada geometrii pomiaru współczynnika lepkości η_1 , a najmniej w sytuacji (b), czyli w geometrii odpowiadającej pomiarowi współczynnika η_2 . Gdyby natomiast ciecz wypełniająca basen znajdowała się w fazie smektycznej, wtedy w kierunku uporządkowania molekuł równoległe do prędko-

⁷ Dla prędkości dużo mniejszych od prędkości dźwięku w cieczy. Przy prędkościach porównywalnych z prędkością dźwięku definiuje się dodatkowo współczynnik lepkości objętościowej.

ści (co odpowiada geometrii η_2), warstwy smektyczne ułożone by były prostopadle do przepływu i okazałyby się on całkowicie niemożliwy.



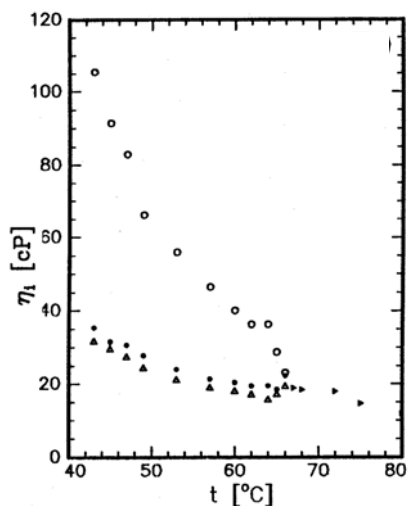
Rys. 9. Różne możliwości uporządkowania molekuł w basenie ciekłokrystalicznym. Poszczególne rysunki odpowiadają trzem geometriom pomiaru współczynnika lepkości zaproponowanym przez prof. Mariana Mięśowicza. Kierunek prędkości jest zaznaczony strzałką. Gradient (wektor wskazujący kierunek zmian) wartości prędkości dla układów przedstawionych na rysunku ma kierunek pionowy, kierunek direktora jest taki sam jak średni kierunek długich osi molekuł.

Współczynniki Mięśowicza są współczynnikami lepkości mierzonymi odpowiednio dla kierunku direktora równoległego do kierunku gradientu wartości prędkości (η_1), direktora równoległego do kierunku prędkości (η_2) oraz przy kierunku direktora prostopadłym do prędkości i do gradientu wartości prędkości (η_3)

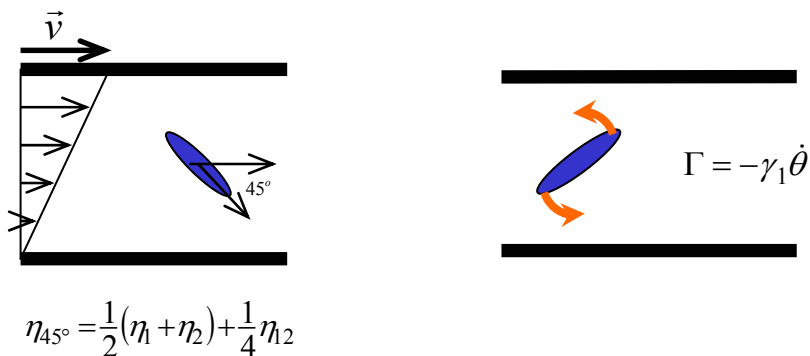
Różnica wartości współczynników lepkości mierzonych w różnych geometriach pomiaru jest dość duża (patrz rys. 10), ale mimo tego odkrycie anizotropii współczynnika lepkości wcale nie było łatwe. Pierwsze próby wykazania anizotropii współczynnika lepkości zostały wykonane już w roku 1913 przez Neufelda, zakończyły się jednak niepowodzeniem. Powodem było to, że pomiary były wykonywane przy zbyt dużych prędkościach przepływu, co powodowało przeorientowanie cząsteczek ciekłego kryształu, które porządkowały się zgodnie z kierunkiem przepływu. Anizotropia współczynnika lepkości została dopiero wykazana w 1935 r. przez polskiego profesora Mariana Mięśowicza⁸. Profesor Mięśowicz zaproponował nową metodę pomiaru współczynnika lepkości, która pozwalała na kontrolę uporządkowania molekuł w trakcie całego eksperymentu oraz umożliwiała uniknięcie przeorientowania cząsteczek dzięki zastosowaniu małych prędkości przepływu. To właśnie Mięśowicz zdefiniował trzy geometrie pomiaru współ-

⁸ Artykuł omawiający dokładniej metodę Mięśowicza zostanie opublikowany w kolejnym numerze *Fotonu*.

czynnika lepkości, współczynniki lepkości mierzone w tych geometriach nazywane są na całym świecie po dziś dzień współczynnikami Mięśowicza. Warto to podkreślić, ponieważ niewiele polskich nazwisk znalazło się w historii nauki.



Rys. 10. Wykres temperaturowej zależności współczynników lepkości Mięśowicza dla mieszaniny posiadającej fazę izotropową i nematyczną. Kółkami zaznaczone są wyniki dla $\eta_1 = \eta_1$, trójkątami dla $\eta_1 = \eta_2$, a kropkami dla $\eta_1 = \eta_3$. W fazie izotropowej istnieje tylko jeden współczynnik lepkości



Rys. 11. Geometria pomiaru (a) współczynnika lepkości η_{45° , którego pomiar pozwala na wyznaczenie η_{12} oraz (b) rotacyjnego współczynnika lepkości γ_1 . Γ jest momentem sił lepkości, a $\theta = \angle(\hat{n}, \vec{v})$

Oprócz trzech współczynników Mięrowicza, do całkowitego opisu lepkości ciekłego kryształu trzeba jeszcze zmierzyć dwa inne współczynniki lepkości. Jednym z nich jest tzw. η_{12} , który wylicza się z danych pomiarowych dla współczynnika lepkości mierzonego w sytuacji, gdy dyrektor tworzy kąt 45° z kierunkiem przepływu. Ostatnim doświadczalnym współczynnikiem lepkości jest tzw. rotacyjny współczynnik lepkości γ_1 , który mierzy się badając moment sił skręcających działających na cząsteczkę.

Kolejną własnością ciekłych kryształów, która znalazła olbrzymie zastosowanie praktyczne, jest zdolność skręcania płaszczyzny polaryzacji światła oraz zdolność łatwego przeorientowania się pod wpływem pola elektrycznego. Własności te zostały wykorzystane przy konstrukcji tzw. wyświetlaczy ciekłokrystalicznych (LCD od angielskiego *liquid crystal display*). To one właśnie zostały zastosowane w zegarkach, kalkulatorach, monitorach i w końcu – w telewizorach. Warto więc zastanowić się jak działa taki wyświetlacz ciekłokrystaliczny. Zaczniemy od postawienia sobie pytania o to, w jaki sposób mogą być uporządkowane molekuly ciekłego kryształu pomiędzy dwiema płytkami i co się stanie, gdy tak uporządkowany nematyk umieścimy pomiędzy skrzyżowanymi polaryzatorami⁹. Mamy tutaj trzy możliwości.

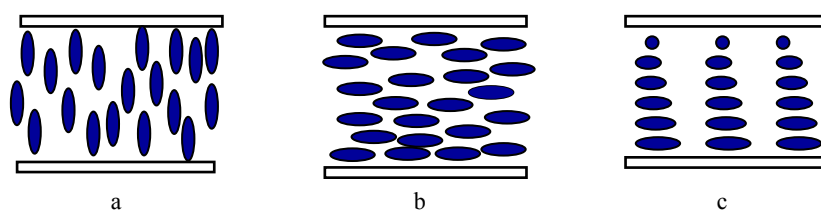
Pierwszy rodzaj uporządkowania nazywa się uporządkowaniem homeotropowym (rys. 12a). W tym przypadku cząsteczki nematyka są prostopadłe do obu płaszczyzn ograniczających. Po umieszczeniu takiej komórki pomiędzy skrzyżowanymi polaryzatorami nic się nie zmieni, tzn. pole widzenia nadal pozostanie ciemne. Jest tak dlatego, gdyż przy takim uporządkowaniu molekuł nie zmienia się kierunek drgań fali świetlnej przechodzącej przez ciekły kryształ. Długa oś cząsteczki jest osią optyczną nematyka. Jeżeli światło pada równoległe do osi optycznej kryształu, wówczas obserwuje się tylko jeden promień światła – promień zwyczajny.

Kolejną możliwością uporządkowania molekuł ciekłego kryształu między dwiema płytkami jest tzw. uporządkowanie planarne (rys. 12b). W tym przypadku cząsteczki są równoległe do obu płaszczyzn oraz równoległe do siebie. Po umieszczeniu między skrzyżowanymi polaryzatorami tak uporządkowanej komórki otrzymamy rozjaśnienie pola widzenia. Jest to związane z tym, że w tym przypadku obserwuje się zarówno zwyczajny, jak i nadzwyczajny promień światła, czyli obserwujemy zjawisko dwójłomności optycznej (przypominam, że właśnie to zjawisko zainspirowało do nazwania cieczy, które wykazują tę własność, ciekłymi kryształami). Po przejściu przez dwójłomny kryształ, płaszczyzna drgań fali świetlnej się

⁹ Dla przypomnienia: jeżeli światło pada na układ dwóch polaryzatorów o prostopadłych do siebie płaszczyznach polaryzacji, to wówczas nie może ono przejść. Dopiero po włożeniu między te polaryzatory np. substancji, która skręca płaszczyznę polaryzacji światła, pewna część fali świetlnej jest w stanie przejść przez tak zmodyfikowany układ.

zmienia. Pojawia się więc składowa fali, która może przejść przez drugi z polaryzatorów, czyli analizator.

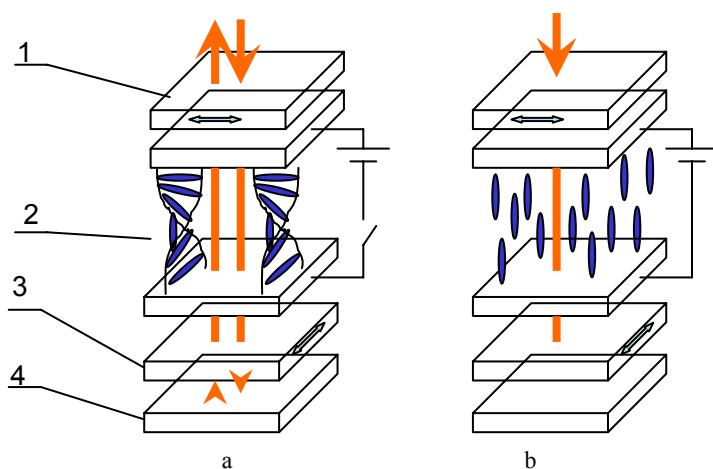
Trzeci, bardzo ważny sposób uporządkowania molekuł, może powstać w następujący sposób: porządkujemy molekuły nematyka równoległe do każdej z powierzchni, po czym skręcamy jedną z nich o 90° względem drugiej. Powstaje wtedy struktura, która trochę przypomina cholesteryki: cząsteczki w kolejnych warstwach będą skręcone o pewien kąt (rys. 12c). Jeżeli tak przygotowaną komórkę umieścimy pomiędzy skrzyżowanymi polaryzatorami, wówczas skręcony nematyk zmieni płaszczyznę polaryzacji światła i przejdzie ono bez przeszkód przez taki układ.



Rys. 12. Sposoby uporządkowania molekuł ciekłego kryształu umieszczonego pomiędzy dwiema płytkami: a) komórka o uporządkowaniu homeotropowym, b) uporządkowanie planarne oraz c) komórka ze skręconym nematykiem

Po omówieniu sposobu, w jaki różnie uporządkowane komórki wpływają na przepuszczenie światła poprzez układ dwóch skrzyżowanych polaryzatorów, jesteśmy w stanie zrozumieć podstawę działania prostego wyświetlacza ciekłokrystalicznego. Wyświetlacz taki jest zbudowany w oparciu o komórkę ze skręconym nematykiem umieszczoną pomiędzy dwoma skrzyżowanymi polaryzatorami. Padające światło może bez przeszkód przejść przez taki układ, więc pole widzenia będzie polem jasnym. Jeżeli teraz przyłożymy napięcie do naszej komórki, wówczas cząsteczki nematyka będą chciały ustawić się równoległe do kierunku przyłożonego pola elektrycznego. Ponieważ molekuły w ciekłym kryształach mogą się przemieszczać względem siebie jak w zwyczajnej cieczy, przeorientowanie może nastąpić. Ale po przeorientowaniu cząsteczki są uporządkowane homeotropowo, więc światło nie może przejść przez układ skrzyżowanych polaryzatorów. Pole widzenia będzie w tym przypadku ciemne. W taki sposób działają wyświetlacze ciekłokrystaliczne. Dalszy rozwój tej techniki spowodował powstanie, tak popularnych w obecnych czasach, ekranów i monitorów ciekłokrystalicznych¹⁰.

¹⁰ Wyświetlacze ciekłokrystaliczne używane w telewizorach kolorowych są oparte na opisywanej zasadzie, ale zostały one przekonstruowane, aby uniknąć wad takich jak np. mały kąt widzenia.



Rys. 13. Zasada działania wyświetlacza ciekłokrystalicznego. Komórka ze skróconym nematykiem (2) znajduje się pomiędzy skrzyżowanymi polaryzatorami (1 i 3). Na wyświetlacz pada od góry światło spolaryzowane przez pierwszy polaryzator (1). Na rysunku a) płaszczyzna polaryzacji światła zmienia się o 90° przy przejściu przez skrócony nematyk. Światło przechodzi przez analizator, odbija się od zwierciadła (4) i wraca do obserwatora po ponownej zmianie płaszczyzny polaryzacji – pole widzenia jest jasne. Rysunek b) pokazuje sytuację, gdy po przyłożeniu napięcia molekuly się przeorientowały i ustawiły homeotropowo – światło nie może przejść przez ten układ i pole widzenia jest czarne

Warto zwrócić uwagę na jeszcze jeden fakt: odkrycie ciekłych kryształów nastąpiło w 1888 roku, natomiast szerokie zastosowanie znalazły one dopiero około roku 1970. A więc badano je przez ponad osiemdziesiąt lat, mimo braku potencjalnych zastosowań. Widać więc jasno, że nawet jeżeli dziś nie znamy jeszcze zastosowania dla jakiegoś zjawiska czy substancji, to warto kontynuować badania nad nimi. Poznanie podstawowych właściwości może pozwolić na znalezienie dla niej zastosowań, choć być może upłynie sporo czasu, zanim to nastąpi.

Wiadomość o nowym telewizorze ciekłokrystalicznym sąsiada czy znajomego nie będzie już wiadomością o nie-wiadomo-czym. Przypomni ciekłe kryształy, czyli ciecze o własnościach anizotropowych, a więc typowych dla kryształów. Przypomni konsekwencje uporządkowania, czyli np. wykazywanie przez ciecz zjawiska dwójłomności optycznej, dzięki któremu ciekły kryształ może zmienić płaszczyznę polaryzacji światła. Przypomni o zmianie uporządkowania molekuł pod wpływem przyłożonego pola elektrycznego i zasadę działania wyświetlacza ciekłokrystalicznego.