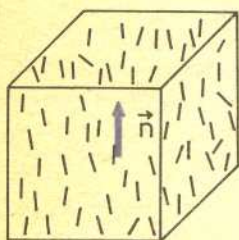


Niezwykły rodzaj sprężystości

Dr Grzegorz DERFEL



Rys. 1

Zjawiska sprężystości w ciałach stałych i cieczach można lapidarnie określić jako efekty polegające na zmianach odległości międzycząsteczkowych pod wpływem sił przyłożonych z zewnątrz. Wynikiem takich przesunięć cząsteczek może być zmiana objętości, a w ciałach stałych także zmiana kształtu. Zagadnienia te są dobrze znane. Znacznie mniej popularny jest natomiast typ deformacji sprężystych, w których odległości między cząsteczkami pozostają stałe, a zmienia się tylko ich orientacja. Niezwykle materiały, w których występują takie zjawiska, to ciekłe kryształy. Zostały one już przedstawione Czytelnikom *Delty* w nr 11/1981 i 6/1982, a więc tutaj ograniczymy się tylko do przypomnienia, że mowa o cieczach, których wszystkie własności fizyczne są anizotropowe, podobnie jak w kryształach.

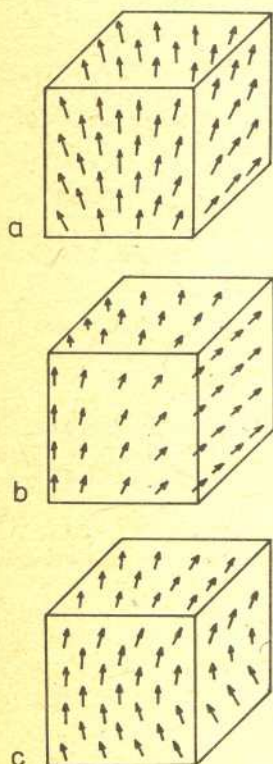
Cząsteczki ciekłych kryształów są wydłużone. Na rysunku 1 przedstawiono je w postaci kresiek. Uwagę skupimy na najważniejszym z trzech typów ciekłych kryształów — na ciekłych kryształach nematycznych — nematykach. W nematykach panuje bezład w ułożeniu środków ciężkości cząsteczek, ale orientacja ich długich osi nie jest chaotyczna. Istnieje pewien określony kierunek w próbce nematyka, wzdłuż którego ustawia się najczęściej molekuł. Niech ten uprzywilejowany kierunek wyznacza jednostkowy wektor n zwany direktorem. Każdemu małowemu elementowi ciekłego kryształu można przypisać wektor n , określając w ten sposób pole direktora.

Rozważania ograniczymy do „ciekłego monokryształu”. Rozumiemy przezeń objętość nematyka wolną od defektów i o jednorodnym polu direktora, czyli uporządkowaną tak, że średni kierunek długich osi molekuł jest jednakowy w całej objętości. Ten kierunek wymuszony jest zwykle przez uporządkowanie na powierzchniach ograniczających próbkę. Podczas gdy uporządkowanie na tych powierzchniach można uznać za sztywne, orientacja molekuł z dala od powierzchni okazuje się bardzo podatna na działanie pola magnetycznego lub elektrycznego. Łatwo jest więc odkształcić pierwotne pole direktora.

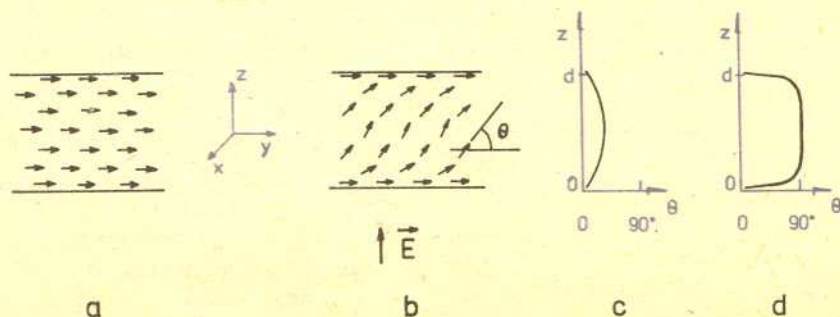
Każde takie odkształcenie, choćby najbardziej wymyślne, można przedstawić jako złożenie trzech elementarnych rodzajów odkształceń, nazwanych przez analogię do odkształceń ciała stałego zginaniem poprzecznym, skręcaniem i rozciąganiem (ściskaniem). Rysunki 2a, b, c, przedstawiają kolejno każdą z tych deformacji. Podkreślić należy, że polegają one tylko na zmianach orientacji direktora w każdym punkcie próbki i nie towarzyszy im przemieszczanie elementów nematyka względem siebie. „Sztywność” nematyków w każdej z tych trzech sytuacji jest różna: najłatwiej zachodzi skręcanie, najtrudniej — rozciąganie. Wyraża się to różnymi wartościami odpowiednich modułów sprężystości.

Rozważmy warstwę nematyka między dwiema płaskimi powierzchniami. Molekuły ciekłego kryształu same ustawiają się w charakterystyczny dla siebie sposób: prostopadle lub równoległe do powierzchni. Zajmiemy się przypadkiem przedstawionym na rysunku 3a. Odpowiednio silne pole elektryczne przyłożone prostopadle do warstwy przekreśli molekuły deformując pole direktora, jak na rysunku 3b. Przy małych odkształceniach będzie to czyste zginanie poprzeczne.

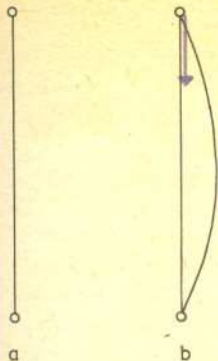
Oddziaływanie pola elektrycznego z ciekłym kryształem wymaga krótkiego komentarza. Przenikalność dielektryczna nematyka jest anizotropowa, np. mniejsza w kierunku prostopadłym do direktora, a większa w kierunku równoległym: $\epsilon_{||} > \epsilon_{\perp}$. Oznacza to, że energia potencjalna jednostki objętości (będąca wielkością ujemną) jest niższa w warstwie uporządkowanej równoległe do pola niż w warstwie uporządkowanej prostopadle. Zgodnie z ogólną prawidłowością fizyczną warstwa umieszczona w polu przyjmie pierwsze, korzystniejsze energetycznie uporządkowanie. Jest to wynik działania momentu sił na jednostkę objętości nematyka ze strony pola elektrycznego. Wartość tego momentu jest proporcjonalna do $\sin 2\theta$, gdzie θ jest kątem, o jaki direktor odchylił się od położenia równowagi. Tak więc dla $\epsilon_{||} > \epsilon_{\perp}$ direktor ustawia się zgodnie z kierunkiem pola, chyba że przeszkadzają mu w tym inne siły.



Rys. 2



Rys. 3



Rys. 4

W warstwie, w której molekuly „przymocowane” są do ścian, siłami takimi są siły sprężystości direktora. Molekuly w wybranej warstewce, równoległej do ścianki, oddziałują sprężystości z molekulami w warstewkach sąsiednich, jeśli orientacja w tych ostatnich jest inna. Wypadkowy moment tych sił liczony na jednostkę objętości można — w przybliżeniu małych odkształceń — uznać za proporcjonalny do $d^2\Theta/dz^2$. Równowaga momentu sił sprężystości i momentu sił pochodzących od zewnętrznego pola elektrycznego w każdym punkcie warstwy ustala kierunek direktora w tym punkcie. Żądanie równowagi momentów jest tożsame z żądaniem, aby całkowita energia (sprężysta + elektryczna) zmagazynowana w warstwie miała wartość najmniejszą spośród energii warstw o różnych rozkładach direktora umieszczonych w polu. Takie energetyczne podejście jest powszechnie stosowane w teorii sprężystości. Jest to przykład często wykorzystywanej w fizyce metody wariacyjnej, polegającej na poszukiwaniu warunków, w których jakaś wielkość jest najmniejsza.

W polu przyłożonym do warstwy niezaburzonej, tj. uporządkowanej prostopadle do pola, momenty sił sprężystych i elektrycznych równają się zeru. Warstwa nabywa tylko energii potencjalnej, proporcjonalnej do kwadratu natężenia pola. Stan równowagi utrzymuje się jednak tylko do takiego natężenia pola elektrycznego, powyżej którego energia elektryczna warstwy nieodkształconej stałaby się wyższa od sumy energii elektrycznej i sprężystej warstwy odkształconej. Powyżej tej progowej wartości następuje odkształcenie warstwy. Kąt wychylenia direktora Θ jest sinusoidalną funkcją współrzędnej z i jest największy w połowie warstwy (rys. 3c). W polach znacznie przekraczających progowe w przeważającej objętości warstwy direktor jest wychylony o kąt 90° (rys. 3d).



Opisane odkształcenie direktora w nematyku ma swój odpowiednik wśród tradycyjnych deformacji sprężystych. Jest nim wygięcie elastycznego pręta ściskanego siłą skierowaną wzdłuż osi pręta (rys. 4a). Pozostaje on prosty do pewnego krytycznego naprężenia. Powyżej wartości krytycznej — wygina się. Jeśli nie przekroczyć jej zbyt — wygięty pręt ma kształt sinusoidy (rys. 4b). Przesunięcie elementów pręta w bok jest więc wielkością analogiczną do kąta wychylenia direktora.

Opisane tu odkształcenie direktora to przypadek stosunkowo prosty. Połączenie płynności i anizotropii, które realizuje się w ciekłych kryształach, stwarza zwykle bardziej skomplikowane sytuacje. We wszystkich bardzo istotnym czynnikiem jest orientacja molekul. Ważną rolę w jej ustaleniu odgrywa właśnie sprężystość direktora.

Opisane własności ciekłych kryształów, a w szczególności łatwość, z jaką można odkształcać pole direktora i zmieniać w ten sposób ich własności optyczne, decydują o licznych zastosowaniach technicznych ciekłych kryształów, między innymi we wskaźnikach zegarków i kalkulatorów elektronicznych.



Zadania

Redaguje dr Rafał SZTENCEL



M 430. W punkcie O na prostej stoi pionek. Rzucamy symetryczną monetą i w zależności od wyniku przesuwamy pionek o jednostkę w lewo lub w prawo. Znaleźć prawdopodobieństwo tego, że pionek kiedyś przekroczy milion.

Rozwiązanie na str. 11

M 431. Pokazać, że na sferze o promieniu 1 da się znaleźć 1600 punktów tak, by każdy punkt sfery był odległy o nie więcej niż $1/10$ od któregoś z nich.

Rozwiązanie na str. 5

M 432. Pokazać, że dla każdej liczby wymiernej $\frac{p}{q}$, gdzie $q > 0$, mamy

$$\left| \sqrt{2} - \frac{p}{q} \right| > \frac{1}{3q^2}.$$

Rozwiązanie na str. 11

Redagują mgr Tomasz TRATKIEWICZ i mgr Włodzimierz ZIELICZ

F 194. W polu magnetycznym znajduje się nadprzewodzący pierścień. Strumień indukcji pola magnetycznego przez pierścień jest równy Φ_0 . Jaka będzie wartość strumienia po wyłączeniu pola?

Rozwiązanie na str. 3

F 195. Na osi elektromagnesu zasilanego prądem zmiennym umieszczono aluminiowy pierścień (rysunek). Dlaczego pierścień zawisł nad elektromagnesem?

Rozwiązanie na str. 5

(M. Romaniuk)

