



Kraków, 02 czerwca 2022 r.

Ciekłe kryształy wykazują doskonałe zdolności tworzenia szkieł (w poszukiwaniu jeszcze lepszych materiałów do zastosowań w wyświetlaczach)

W większości współczesnych wyświetlaczy ciekłokrystalicznych wykorzystuje się fazę nematyczną, w której cząsteczki zorientowane są średnio w jednym kierunku. Istnieje jednak inna faza ciekłokrystaliczna, mianowicie faza smektyczna C_A^ o dużym kącie pochylenia cząsteczek, wykazująca właściwości pozwalające na jej szersze zastosowanie w przyszłych modelach wyświetlaczy. Ostatnie badania pokazały, że mieszanina ciekłokrystaliczna oznaczana jako W-1000, znana już wcześniej z bardzo szerokiego zakresu występowania fazy smektycznej C_A^* , nie ulega krystalizacji. Jest to ważne z aplikacyjnego punktu widzenia, ponieważ krystalizacja uniemożliwia zastosowanie danego materiału w wyświetlaczu. Mieszanina W-1000 nawet podczas bardzo wolnego ochładzania nie ulega krystalizacji, tylko zeszkleniu, co skutkuje otrzymaniem szkła fazy smektycznej C_A^* . Co więcej, podczas ponownego ogrzewania uprzednio zeszkłonej mieszaniny nie obserwuje się tzw. zimnej krystalizacji, która często zachodzi w przypadku innych szkieł. Ochłodzenie mieszaniny W-1000 nie prowadzi zatem do zniszczenia stanu ciekłokrystalicznego i uporządkowania molekuł w tym stanie. Takie same właściwości odnotowane zostały dla mieszaniny W-356, która jest nową modyfikacją W-1000.*

Ciekłe kryształy to jeden z możliwych pośrednich stanów skupienia między kryształem a cieczą. Cząsteczki w ciekłych kryształach mają zdolność płynięcia przy jednoczesnym zachowaniu pewnego uporządkowania. W smektycznych ciekłych kryształach cząsteczki ułożone są w warstwy, co stanowi uporządkowanie quasi-dalekiego zasięgu w jednym kierunku. W najprostszych smektykach cząsteczki w obrębie warstw smektycznych wykazują wyłącznie uporządkowanie bliskozasięgowe i mogą przemieszczać się jak w cieczy. Substancje ciekłokrystaliczne są czułe na obecność zewnętrznego pola elektrycznego, co pozwala na ich zastosowanie w wyświetlaczach. Jeśli odpowiednio dobrany ciekły kryształ jest umieszczony między dwoma skrzyżowanymi polaryzatorami, możliwe jest sterowanie uporządkowaniem molekuł z użyciem pola elektrycznego, co pozwala na zwiększanie lub zmniejszanie transmisji światła przez polaryzatory. Większość obecnych wyświetlaczy jest oparta na fazach nematycznych. Istnieje jednak pewna faza smektyczna, oznaczana jako SmC_A^* , która w odpowiednich warunkach wykazuje właściwości antyferroelektryczne, tj. trójstabilne przełączanie w polu elektrycznym. Co więcej, jeśli kąt pochylenia molekuł w fazie SmC_A^* jest bliski lub równy 45° (tzw. ortokoniczna faza SmC_A^*), to stan ciemny w wyświetlaczu opartym na tej fazie odznacza się bardzo wysoką jakością.

Materiały używane w wyświetlaczach powinny pozostawać w stanie ciekłokrystalicznym w jak najszerszym zakresie temperatury obejmującym temperaturę pokojową, a to dlatego, że w stanie krystalicznym przełączanie cząsteczek w polu elektrycznym już nie zachodzi. Ciekłe kryształy do zastosowań w wyświetlaczach to zawsze mieszaniny, ponieważ ich temperatura topnienia jest

niższa niż w przypadku czystych składników, co pozwala na uzyskanie szerszego zakresu stabilności fazy ciekłokrystalicznej. Mieszanina W-1000, otrzymana w Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie, jest mieszaniną eutektyczną dwóch chiralnych, fluorowanych związków. W-1000 i jej modyfikacje znane są z wyjątkowo szerokiego zakresu występowania fazy SmC_A^* o wysokim kącie pochylenia.

„Właściwości mieszaniny W-1000 były dokładnie zbadane w poprzednich latach, lecz dotyczyły temperatur powyżej -23°C . Moim celem było sprawdzić, co dzieje się w jeszcze niższych temperaturach, a w szczególności zaobserwować przejście szkliste fazy SmC_A^ . Byłam pewna, że W-1000 tworzy szkło fazy SmC_A^* , ponieważ w swojej pracy doktorskiej wykazałam, że jeden z jej składników wykazuje tę właściwość”,* mówi dr Aleksandra Deptuch z Instytutu Fizyki Jądrowej PAN. *„W badaniach zastosowaliśmy kilka metod komplementarnych. Pomiarów z użyciem mikroskopii polaryzacyjnej, różnicowej kalorymetrii skaningowej i spektroskopii dielektrycznej zostały przeprowadzone w moim instytucie, natomiast pomiary z wykorzystaniem dyfrakcji rentgenowskiej oraz pomiary elektro-optyczne wykonano w Instytucie Fizyki im. Mariana Smoluchowskiego UJ. Dodatkowo zastosowaliśmy obliczenia DFT, przeprowadzone na klastrze Prometheus z Akademickiego Centrum Komputerowego Cyfronet AGH. Wraz z mieszaniną W-1000 zbadaliśmy również jej pochodną oznaczoną jako W-356. Wyniki naszej pracy zostały niedawno opublikowane w czasopiśmie *Physical Review E*.*

Tak jak przypuszczano, W-1000 i W-356 łatwo tworzą szkło fazy SmC_A^* , z temperaturą zeszklenia odpowiednio -44°C and -41°C . W-356 wykazuje nieco inne właściwości elektro-optyczne i strukturalne niż W-1000, lecz ich zachowanie w stanie szklistym jest podobne. Metodą dyfrakcji rentgenowskiej wyznaczono grubość warstw smektycznych oraz zasięg uporządkowania bliskiego zasięgu (tzw. długość korelacji) wewnątrz warstw. Wykazano, że uporządkowanie bliskozasięgowie ulega „zamrożeniu” w zeszkłonej fazie SmC_A^* , co uwidaczniało się w przybliżeniu stałej długości korelacji poniżej temperatury zeszklenia. Inaczej było w przypadku uporządkowania warstwowego, które okazało się ulegać zmianie także w fazie szklistym. Wraz z obniżaniem temperatury stwierdzono powolne zmniejszanie grubości warstw smektycznych i większe odstępstwo rozkładu gęstości elektronowej od zależności sinusoidalnej w kierunku prostopadłym do warstw. Wyniki spektroskopii dielektrycznej pokazały, że procesy relaksacyjne w obu mieszaninach są podobne. Parametr kruchości dla W-1000 i W-356 wynosi odpowiednio 79 i 73, co zalicza je do szkieł o pośredniej kruchości (wartości eksperymentalne są w granicach 16-200). Wspomniany parametr kruchości nie odnosi się do właściwości mechanicznych, ale opisuje zależność temperaturową jednego z czasów relaksacji, powiązanego z przejściem szklistym. Przypuszcza się, że substancje o niższym parametrze kruchości trudniej ulegają krystalizacji.

„Mój początkowy plan zakładał zbadanie kinetyki zimnej krystalizacji mieszanin W-1000 i W-356. Zdarza się często, że substancja ulegająca zeszkleniu podczas ochładzania krystalizuje po ponownym ogrzaniu powyżej temperatury przejścia szklistego. Tymczasem dla badanych mieszanin nie zaobserwowałam żadnych oznak krystalizacji nawet przy powolnym ogrzewaniu”, mówi dr Deptuch. *„Jest to jeszcze lepszy wynik, niż przypuszczałam, ponieważ gdyby te mieszaniny były wykorzystane w wyświetlaczu, to przypadkowe narażenie go na niską temperaturę i ponowne ogrzanie nie zapoczątkowałyby procesu krystalizacji. W zeszkłonej fazie smektycznej przełączanie molekuł jest również zatrzymane, jednak po ponownym ogrzaniu powyżej temperatury przejścia szklistego sytuacja w próbce jest taka sama, jak przed ochłodzeniem, więc wyświetlacz nie ulega uszkodzeniu. Tymczasem w przypadku uformowania się fazy krystalicznej doszłoby do zniszczenia wymaganego uporządkowania molekuł w fazie smektycznej, przez co nawet po stopieniu kryształu wyświetlacz prawdopodobnie nie mógłby już prawidłowo funkcjonować.”*

Aby potwierdzić stabilność fazy SmC_A^* w temperaturze pokojowej po ogrzaniu ze stanu szklistego, próbki W-1000 i W-356 użyte w pomiarze metodą dyfrakcji rentgenowskiej były przechowywane w tej temperaturze przez 10 tygodni. Po tym czasie ponownie zebrano ich dyfraktogramy, które wykazały, że obie mieszaniny pozostały w fazie SmC_A^* bez żadnych oznak krystalizacji, co oznacza, że stanowią one dobry materiał bazowy dla przyszłych mieszanin do wykorzystania w wyświetlaczach. Samo zeszklenie fazy SmC_A^* stanowi otwarty temat. Zmiany strukturalne powyżej i poniżej temperatury zeszklenia powinny zostać przebadane również dla innych

mieszanin i czystych związków, by sprawdzić, czy jest to uniwersalne zachowanie. Szkło fazy SmC_A^* ma anizotropowe właściwości dzięki częściowemu uporządkowaniu cząsteczek i dla jego zastosowań w temperaturze pokojowej potrzebne będą materiały o wyższej temperaturze zeszklenia niż W-1000 i W-356. Stanowi to impuls do testowania innych modyfikacji W-1000 pod kątem zeszklenia.

Institut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk (IFJ PAN) w Krakowie prowadzi badania podstawowe i aplikacyjne w obszarze fizyki oraz nauk pokrewnych. Główna część działalności naukowej Instytutu koncentruje się na badaniu struktury materii, w tym własności oddziaływań fundamentalnych od skali kosmicznej po cząstki elementarne. Częścią Instytutu jest nowoczesne Centrum Cyklotronowe Bronowice, unikalny w skali europejskiej ośrodek, obok badań naukowych zajmujący się terapią protonową nowotworów. IFJ PAN prowadzi też cztery akredytowane laboratoria badawcze i pomiarowe. Wyniki badań – obejmujących fizykę i astrofizykę cząstek, fizykę jądrową i oddziaływań silnych, fizykę fazy skondensowanej materii, fizykę medycyną, inżynierię nanomateriałów, geofizykę, biologię radiacyjną i środowiskową, radiochemię, dozymetrię oraz fizykę i ochronę środowiska – są każdego roku przedstawiane w ponad 600 artykułach publikowanych w recenzowanych wysoko punktowanych czasopismach naukowych. Corocznie Instytut jest organizatorem lub współorganizatorem wielu międzynarodowych i krajowych konferencji naukowych oraz szeregu seminariów i innych spotkań naukowych. IFJ PAN jest członkiem Krakowskiego Konsorcjum Naukowego „Materia-Energia-Przyszłość”, któremu, na lata 2012-2017, nadany został status Krajowego Naukowego Ośrodka Wiodącego (KNOW). Wiele projektów i przedsięwzięć realizowanych przez Instytut jest wpisanych na Polską Mapę Infrastruktury Badawczej (PMIB). Instytut zatrudnia ponad pół tysiąca pracowników. Komisja Europejska przyznała IFJ PAN prestiżowe wyróżnienie „HR Excellence in Research” jako instytucji stosującej zasady „Europejskiej Karty Naukowca” i „Kodeksu Postępowania przy rekrutacji pracowników naukowych”. W kategoryzacji MNiSW Instytut został zaliczony do najwyższej kategorii naukowej A+ w grupie nauk ścisłych i inżynierskich.

KONTAKT:

dr **Aleksandra Deptuch**
Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk
tel.: +48 12 6628169
email: aleksandra.deptuch@ifj.edu.pl

PUBLIKACJE NAUKOWE:

“Comparative study of electrooptic, dielectric, and structural properties of two glassforming antiferroelectric mixtures with a high tilt angle”
A. Deptuch, S. Lalik, M. Jasiurkowska-Delaporte, E. Juszyńska-Gałązka, A. Drzewicz, M. Urbańska, M. Marzec
Physical Review E 2022, 105, 024705
DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.105.024705>

POWIĄZANE STRONY WWW:

<http://www.ifj.edu.pl/>
Strona Instytutu Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk.

<http://press.ifj.edu.pl/>
Serwis prasowy Instytutu Fizyki Jądrowej PAN.

MATERIAŁY GRAFICZNE:

W-1000_XRD_PL.jpg

HR: https://press.ifj.edu.pl/news/2022/06/02/IFJ220602b_fot01_pl.jpg

Wyniki dyfrakcji rentgenowskiej dla mieszaniny W-1000. Górny panel: dyfraktogramy rentgenowskie W-1000 w zeszkłej fazie SmC_A^* w -123°C oraz w fazie SmC_A^* po 10-tygodniowym przechowywaniu w temperaturze pokojowej. Obok dyfraktogramów przedstawiono schemat uporządkowania cząsteczek w fazie SmC_A^* . Kąt pochylenia molekuł ma przeciwny zwrot w sąsiednich warstwach. Uporządkowanie pozycyjne wewnątrz warstw smektycznych jest wyłącznie bliskiego zasięgu, jak w cieczach. Dolny panel: grubość warstw smektycznych oraz długość korelacji uporządkowania bliskiego zasięgu wewnątrz warstw w funkcji temperatury, wyznaczone na podstawie dyfraktogramów rentgenowskich W-1000. Zależność temperaturowa obu parametrów zmienia się poniżej temperatury zeszklenia, zaznaczonej pionową przerywaną linią. (Źródło: IFJ PAN)