



Kraków, 24 kwietnia 2019

Ciekłe kryształy w nanoporach wytwarzają zaskakująco duże ujemne ciśnienie

Ujemne ciśnienie rządzi nie tylko Wszechświatem czy kwantową próżnią. Zjawisko to, choć odmiennej natury, pojawia się między innymi w ciekłych kryształach wypełniających nanopory. W Instytucie Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie zaprezentowano metodę, która po raz pierwszy pozwoliła oszacować wielkość ujemnego ciśnienia w przestrzennie ograniczonych układach ciekłokrystalicznych.

Na pierwszy rzut oka ujemne ciśnienie wydaje się zjawiskiem egzotycznym. W rzeczywistości jest powszechne w przyrodzie, na dodatek w wielu skalach. W skali Wszechświata stała kosmologiczna odpowiada za przyspieszanie ekspansji czasoprzestrzeni. W świecie roślin przyciągające siły międzycząsteczkowe (a nie: rozpychające ruchy termiczne) gwarantują dopływ wody w szczytowe partie każdego drzewa wyższego niż dziesięć metrów. W skali kwantów ciśnienie wirtualnych cząstek fałszywej próżni prowadzi do powstania siły przyciągającej, pojawiającej się na przykład między dwiema równoległymi, metalowymi płytami (słynny efekt Casimira).

„Fakt, że w ciekłych kryształach wypełniających nanopory pojawia się ujemne ciśnienie, był znany już wcześniej. Jednak nie było wiadomo, jak zmierzyć wartość tego ciśnienia. My co prawda także nie potrafimy tego zrobić bezpośrednio, ale zaproponowaliśmy metodę, która pozwala to ciśnienie wiarygodnie oszacować”, mówi dr Tomasz Rozwadowski z Instytutu Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk (IFJ PAN) w Krakowie, pierwszy autor publikacji w czasopiśmie „Journal of Molecular Liquids”.

Krakowscy fizycy przyglądali się ciekłemu kryształowi znanemu jako 4CFPB, zbudowanemu z cząsteczek długości 1,67 nm przy średnicy molekularnej 0,46 nm. Doświadczenia bez nanoporów, w warunkach normalnego i podwyższonego ciśnienia (do około 3000 atmosfer), przeprowadzono na Uniwersytecie Śląskim w Katowicach. Z kolei układy w krzemowych membranach o nieprzecinających się nanoporach o średnicy 6 oraz 8 nanometrów zbadano na uniwersytecie w Lipsku (Niemcy). Geometria nanoporów powodowała, że mieściło się w nich obok siebie zaledwie kilka molekuł ciekłego kryształu, z długimi osiami ustawionymi wzdłuż ścianek kanalika.

W eksperymentach przyglądano się zmianom różnych parametrów ciekłego kryształu (m.in. dyspersji i absorpcji dielektrycznej). Pomiarzy pozwoliły stwierdzić, że zwiększaniu ciśnienia towarzyszyło spowolnienie ruchów molekularnych. Cząsteczki ciekłego kryształu umieszczone w nanoporach poruszały się jednak tym szybciej, w im węższych kanalikach się znajdowały. Z danych wynikało także, że gęstość cząsteczek ciekłego kryształu rośnie wraz ze zwiększaniem ciśnienia, podczas gdy w nanoporach maleje. Zmieniały się także temperatury, w których ciekły

kryształ przechodził z ciekłej fazy izotropowej (z cząsteczkami rozmieszczonymi chaotycznie w przestrzeni) do najprostszej fazy ciekłokrystalicznej (nematycznej; cząsteczki są nadal rozmieszczone chaotycznie, jednak ustawiają się już swoimi długimi osiami w tym samym kierunku), a następnie do szklistej fazy stałej. Gdy ciśnienie rośnie, temperatury przejść fazowych wzrastają. W nanoporach – ulegały obniżeniu.

„Przy zwiększaniu ciśnienia wszystkie badane przez nas parametry ciekłego kryształu zmieniały się odwrotnie niż w nanoporach o malejących średnicach. Sugeruje to, że warunki panujące w nanoporach odpowiadają ciśnieniu obniżonemu. A ponieważ cząsteczki ciekłego kryształu w kanałkach próbują rozpychać ich ścianki, tak jakby się rozprężyły, możemy mówić o ciśnieniu ujemnym w stosunku do ciśnienia atmosferycznego, które ścianki ściska”, mówi dr Rozwadowski.

Zaobserwowane zmiany parametrów fizycznych pozwoliły po raz pierwszy oszacować wartość ujemnego ciśnienia pojawiającego się w ciekłym kryształcie wypełniającym nanopory. Liniowy charakter tych zmian sugeruje, że ujemne ciśnienie w nanoporach może sięgać niemal -200 atmosfer. Wartość ta jest o rząd wielkości większa od ujemnego ciśnienia odpowiedzialnego za transport wody w drzewach.

„Nasze prace mają charakter podstawowy, dostarczają informacji o samej fizyce zjawisk zachodzących w ciekłych kryształach znajdujących się wewnątrz nanoporów o różnych średnicach. Ciekłe kryształy znajdują jednak wiele zastosowań, na przykład w wyświetlaczach, optoelektronice i medycynie, zatem każdy nowy opis, jak substancje te zachowują się w nanoskali w tak specyficznych warunkach przestrzennych może nieść praktyczną informację”, zaznacza dr Rozwadowski.

Badania nad ciekłymi kryształami w warunkach ograniczenia przestrzennego sfinansowano z grantu SONATA Narodowego Centrum Nauki.

Instytut Fizyki Jądrowej PAN (IFJ PAN) w Krakowie zajmuje się strukturą materii i własnościami oddziaływań fundamentalnych od skali kosmicznej po wnętrza cząstek elementarnych. Wyniki badań – obejmujących fizykę i astrofizykę cząstek, fizykę jądrową i oddziaływań silnych, 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 czasopiśmie naukowych. Częścią Instytutu jest nowoczesne Centrum Cyklotronowe Bronowice, unikalny w skali europejskiej ośrodek obok badań naukowych zajmujący się terapią protonową nowotworów. IFJ PAN jest członkiem Krakowskiego Konsorcjum Naukowego „Materia-Energia-Przyszłość” o statusie Krajowego Naukowego Ośrodka Wiodącego (KNOW) na lata 2012-2017. Instytut zatrudnia ponad pół tysiąca pracowników. W klasyfikacji MNiSW Instytut został zaliczony do kategorii naukowej A+ w grupie nauk ścisłych i inżynierskich.

KONTAKT:

dr **Tomasz Rozwadowski**
Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk
tel: +48 12 6628481
email: tomasz.rozwadowski@ifj.edu.pl

PUBLIKACJE NAUKOWE:

1. „Negative pressure effects on molecular dynamics and phase diagram of glass-forming nematic liquid crystal 4-cyano-3-fluorophenyl 4-butylbenzoate (4CFPB) confined in nanopores”
T. Rozwadowski, M. Massalska-Arodz, M. Jasiurkowska-Delaporte
Journal of Molecular Liquids 279 (2019) 127–132
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.01.106>

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:

IFJ190424b_fot01s.jpg

HR: http://press.ifj.edu.pl/news/2019/04/24/IFJ190424b_fot01.jpg

Ujemne ciśnienie wytwarzane w nanoporach przez ciekłe kryształy może znacznie przekraczać 100 atmosfer. Na zdjęciu szkło fazy nematycznej ciekłego kryształu badanego przez naukowców z Instytutu Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk w Krakowie. (Źródło: IFJ PAN)