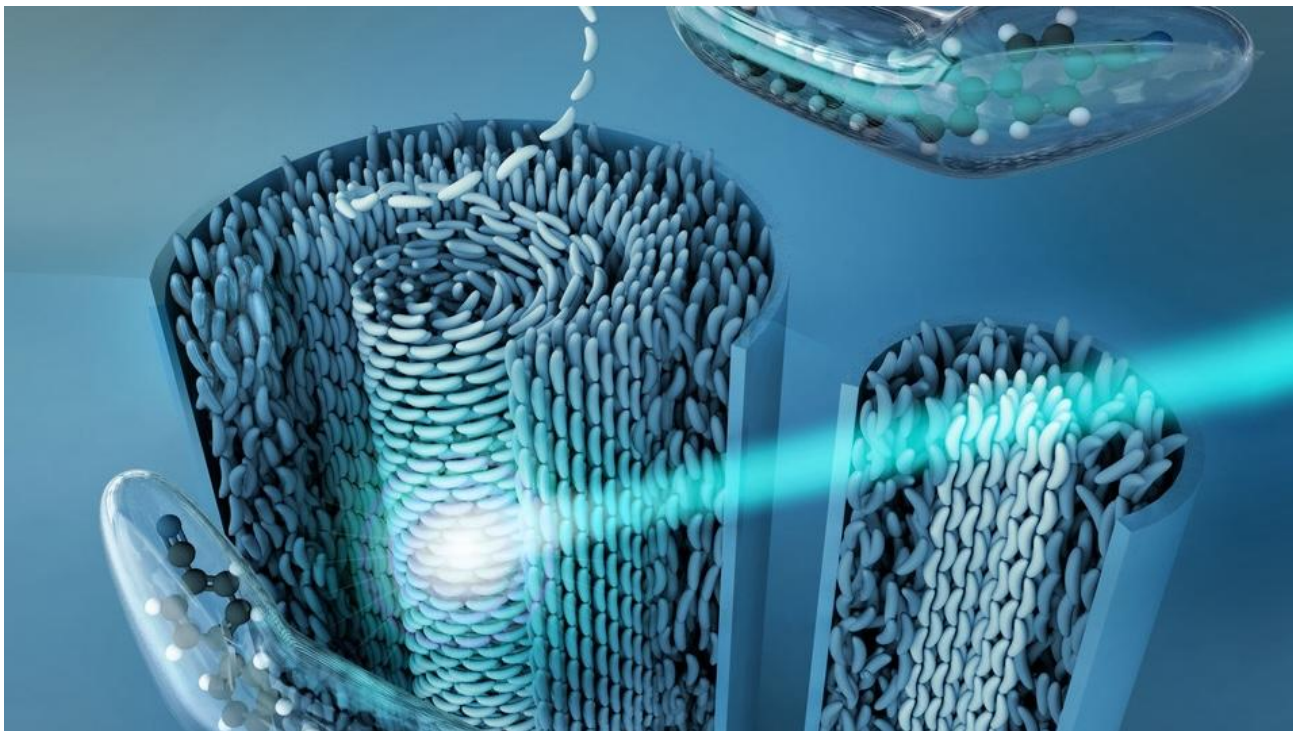


Коли симетрія порушується в крихітних просторах

Нанопори розкривають приховану хіральність в екзотичних рідких кристалах – завдяки спостереженням, зробленим міжнародною дослідницькою групою, вони можуть знайти ще ширше застосування в накопиченні або перетворенні енергії, або в налаштуваних лінзах.

У фізиці деякі з найвражаючих явищ виникають, коли порушується ідеальна симетрія. Цей принцип, відомий як спонтанне порушення симетрії, лежить в основі всього: від механізму Хіггса, який надає частинкам масу, до скручування ДНК та орієнтації морських мушель. Дослідники виявили особливо захопливу стадію цього явища в рідких кристалах — м'яких матеріалах, які течуть як рідини, але зберігають молекулярний порядок, як тверді тіла. Ви, ймовірно, читаете це за допомогою рідких кристалів, оскільки комп'ютерні монітори та смартфони залежать від їхніх властивостей. Завдяки спостереженню, зробленому міжнародною дослідницькою групою, вони можуть знайти ще ширше застосування в накопиченні або перетворенні енергії, або в налаштуваних лінзах.



Хоча самі молекули бананоподібної форми не є «рукоподібними», вони можуть розташовуватися в разючі надструктури, включаючи спіралі, які спонтанно порушують дзеркальну симетрію, роблячи їх «рукоподібними». Цей ефект зникає, коли пори стають меншими. Зображення: Мартін Кюнстинг

Існують різні типи рідких кристалів: «звичайні» з жорстким стрижнеподібним молекулярним ядром і ті, що мають вигнуте ядро. Їхня асиметрична, бананоподібна форма дозволяє їм самоорганізуватися в хіральні надструктури – спіралі з лівосторонніми або правосторонніми поворотами в їхній структурі – навіть якщо самі молекули не є хіральними. Хіральність означає «рукоподібність»: об'єкт є хіральною, якщо його неможливо накласти на своє дзеркальне відображення, подібно до того, як ваші ліва та права руки є дзеркальними відображеннями, але не ідентичними. Ця спонтанна поява рукоподібності, у поєднанні з іншими незвичайними властивостями, такими як гігантська флексоелектрика та сильні електрооптичні відгуки, робить їх перспективними для передових застосувань у перетворенні енергії, адаптивній оптиці та чутливих наносистемах.

Міжнародна команда, до складу якої входили вчені з України, Франції, Польщі та Німеччини, захопила ці екзотичні молекули всередині пор шириною лише мільярдні частки метра та спостерігала за тим, як вони розташовуються. Вони виявили, що цей процес, який називається наноконфайнментом, має величезний вплив на поведінку молекул рідких кристалів. Команда досліджувала димер CB7CB з вигнутим ядром, ув'язнений в анодних мембранах з оксиду алюмінію (ААО) та кремнезему. Їхні точно спроектовані циліндричні наноканали мали розмір від кількох нанометрів до кількох сотень нанометрів. Використовуючи поляриметрию високої роздільної здатності для дослідження їхньої оптичної анізотропії, міри того, як матеріал впливає на світло залежно від напрямку світла та стану його поляризації, команда виявила, як сама лише геометрія може імітувати вплив прикладених електричних полів. Таким чином, матеріал, що містить нанопори, може досягати того ж ефекту, що й електричний заряд: керувати фазовими переходами та змінювати молекулярний порядок. Вони представляють свою роботу в журналі SMALL.

При досягненні певного розміру пор CB7CB збирається у спіраль. Однак, коли пори зменшувалися, здатність формувати такий порядок руйнувалась, залишаючи лише один ахіральний стан. Перехід відстежували за допомогою лазера. «Ми доводимо, що можемо маніпулювати фотонними властивостями рідких кристалів шляхом обмеження», — каже Патрік Хубер з DESY та Гамбурзького технологічного університету, один із авторів роботи. «Зараз це, перш за все, дослідження, засноване на знаннях, але потенціал цієї технології величезний».

«Втискаючи нематичні матеріали з вигнутим ядром у нанорозмірні пори, ми не лише виявили, як обмеження індукує або пригнічує хіральність та порядок, але й виявили потужну паралель з електрооптичним налаштуванням», — каже Губер. «Це відкриває нові шляхи для розробки нанофлюїдних пристроїв, сенсорів та адаптивних оптичних систем, які

використовують порушення симетрії в м'якій матерії», – додає перший автор Андрій Максим, аспірант Львівського технічного університету (Україна).

«Зрештою, це дослідження показує, як наноконфайнмент діє як новий вид «поля», що дозволяє вченим систематично маніпулювати самоскладанням, хіральністю та оптичною поведінкою рідких кристалів», — каже Андрій Кітик з Ченстоховського політехнічного університету в Польщі. «Так само, як спонтанне порушення симетрії породило нову фізику в ранньому Всесвіті, тут воно обіцяє створити функціональні матеріали наступного покоління в нанорівні».

Оригінальна публікація

А. З. Максим, А. С. Андрущак, Ю. Щур та ін. «Самозбірка

A. Z. Maksym, A. S. Andrushchak, Y. Shchur, et al. "Self-Assembly of Bent-Core Nematics in Nanopores." *Small* (2025): e06651e06651

- [DOI 10.1002/smll.202506651](https://doi.org/10.1002/smll.202506651)
- [PUBDB-2025-03955](https://pubdb.org/entry/2025-03955)