

Національний науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут»



**Михайловський
Ігор Михайлович**

Професор, д. ф.-м. н.,
провідний науковий співробітник
ННЦ ХФТИ



60

НАУКОВО-ВИРОБНИЧІ ПІДПРИЄМСТВА

Майбутнє людства пов'язане з розвитком нанотехнологій, які дедалі активніше входять у повсякденне життя разом із новими матеріалами, що мають унікальні властивості, а також із медичними і комп'ютерними технологіями. Але, ще не повністю освоївши нанонішу, наука вже підійшла до нової межі — пікорозмірної.

Учені Національного наукового центру «Харківський фізико-технічний інститут» — одного з найстаріших науково-дослідницьких осередків України — під керівництвом д. ф.-м. н., проф. Ігоря Михайловича Михайловського проводять дослідження особливих за своїми властивостями об'єктів, створених природою вуглецевих моноатомних ланцюжків. Науковці розглядають їх як перспективні елементи для використання у суцільновуглецевій електроніці майбутнього.

Можливість існування ланцюжків визначається електронною структурою карбону, його здатністю утворювати безліч просторових структур. Ця фундаментальна властивість вуглецю є основою самоорганізації і функціонування усіх біологічних систем від мікроскопічного вірусу до великих ссавців.

У 2009 р. уперше в історії фізики методом польової електронної мікроскопії були отримані зображення атомних орбіталей. Ці знімки викликали жвавий інтерес не тільки серед фахівців, а й серед аматорів фізики і хімії, тому що дозволили побачити «портрет» атома і продемонстрували основні принципи квантової механіки.

Зараз тривають роботи з удосконалення високопольових методів дослідження. Нещодавно в авторитетному фізичному журналі «Physical Review» була опублікована стаття, яка містила повідомлення про досягнення рекордного розрізнення на рівні десятків пікометрів. Це стало можливим завдяки використанню вуглецевих ланцюжків та іонного варіанта польового емісійного мікроскопа, який забезпечує, як правило, більш високе розрізнення, ніж електронний.

В основі функціонування обох типів мікроскопів — одна й та сама конструктивна схема, запропонована більше півстоліття тому засновником польових методів дослідження Ервіном Мюллером. Об'єктом вивчення зазвичай є провідний голчастий зразок, що розташовується у вакуумі напроти флуоресцентного екрана, на який подається висока напруга обраної полярності. В електронному режимі зображення формується електронами, які тунелюють із металевого зразка у вакуум, де, радіально рухаючись у просторі, вони створюють на екрані зображення, збільшене в мільйони разів.

Перший великий успіх був досягнутий, коли звичайні голчасті зразки вдалося замінити моноатомними вуглецевими ланцюжками й реалізувати електронну емісію з одного крайнього атома ланцюжка. Перехід до вивчення дуже малих об'єктів суттєво розширив межі можливостей польових методик, а їх дослідження в іонному режимі відкрило нові несподіванки. Співробітники групи Є. В. Саданов, В. О. Ксе-

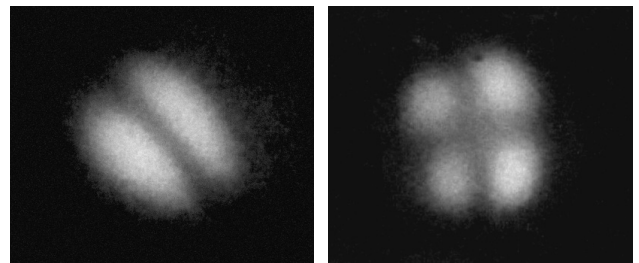
нофонов та Т. І. Мазілова досягли рекордного розрізнення — 25 пікометрів. Спочатку виникло враження, що воно перевищує теоретичну межу можливостей польової методики, обмеженої принципом невизначеності — постулатом квантової механіки. Але під час дослідження з'ясувалося, що інший найважливіший закон квантової механіки, принцип Паулі, дозволяє відкрити шлях до пікосвіту.

В іонному режимі зображення формується іонами інертного газу, спеціально введеного в камеру мікроскопа. У сильному електричному полі атоми газу іонізуються на певній так званій критичній відстані від поверхні досліджуваного об'єкта. Радіально рухаючись у напрямі до екрана, вони несуть інформацію про особливості ефективної електронної поверхні зразка. Існування критичної відстані, що відокремлює поверхню об'єкта від зони іонізації є вирішальним моментом, який забезпечує одержання надзвичайно високого розрізнення під час переходу до предметів надмалих розмірів. Поява просторової ділянки, де напруженість електричного поля особливо висока, але іонізація відбуватися не може, спричинена тим, що атоми зображувального газу, виявившись близько до поверхні, не здатні віддати електрони в зону провідності, тому що їх енергія виявляється нижчою рівня Фермі, де всі стани зайняті. Тобто цей ефект є прямим наслідком фундаментального закону природи — принципу заборони Паулі.

Найбільш виражені наслідки цієї заборони проявляються на зразках атомних розмірів. У цьому випадку геометричні величини об'єкта через існування критичної відстані, що дорівнює приблизно 0,4 нанометра, виявляються набагато меншими, ніж поверхня іонізації, де і відбувається зчитування інформації. Досліджуваний зразок і площина іонізації інформативно пов'язані радіальною конфігурацією електричного поля, що переносить інформацію від об'єкта на досить велику поверхню. Принцип невизначеності, що обмежує розрізнення, застосовується до процесів, які виникають на поверхні іонізації, розміри якої виявляються значно більшими, ніж об'єкт дослідження, а довжина хвилі де Бройля матеріального носія навпаки — меншою, ніж в електронному режимі.

Підвищення розрізнення до пікорівня дає дослідникові інструмент для вивчення тонких процесів, які відбуваються у світі органічних молекул. Вони можуть стосувалися проблем пам'яті, спадковості і розумової діяльності людини. Перші кроки для вивчення цих питань уже зроблені.

Говорячи про пікосвіт, не можна залишатися байдужим і використовувати лише суху мову формул. Науковці, які першими побачили нечіткі контури із «квантового задзеркала», не перестають дивуватися і захоплюватися — з якою надзвичайною добірністю та досконалістю Природа створює свої цеглини світобудови. Минули часи, коли здавалося, що все просто і зрозуміло. Кожен крок уперед є кроком до стрімкого розширення об'єктів, а сучасні знання — лише мізерно мала видима частина незмірно величезного айсберга невідомого.



Польові емісійні зображення крайнього атома вуглецевого ланцюжка у різних квантових станах