



Kraków, 16 września 2026

Fotony tworzą złote pudełka, elektrony prowadzą ku pokryciom

Piękno i tajemnica – trudno o bardziej pociągające połączenie, a właśnie z takim mamy do czynienia, gdy patrzymy na zjawiska nanoświata. Czy jednak obserwacje za pomocą współczesnych technik mikroskopowych na pewno nie wpływają na to, co się w nanoświecie dzieje? Odpowiedzi dostarczają badania naukowców z Instytutu Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie. Porównanie obrazów nanocząstek tlenku miedzi reagujących z kwasem chlorozłotowym, otrzymanych za pomocą wiązek elektronów oraz fotonów, doprowadziło do nieoczekiwanych rezultatów.

Przyzwyczajiliśmy się do przekonania, że zdarzenia zachodzące w świecie wokół nas nie zależą od sposobu, w jaki na nie patrzymy. Czy jednak podobna zasada obowiązuje, gdy za pomocą współczesnych technik mikroskopowych, operujących wiązkami elektronów bądź fotonów, próbujemy podglądać przebieg reakcji chemicznych w świecie obiektów o rozmiarach nano- i mikrometro- wych?

„Na trop prowadzący do naszego odkrycia wpadliśmy podczas badań reakcji wymiany galwanicznej między nanokostkami tlenku miedzi a kwasem chlorozłotowym. Przyglądaliśmy się temu zjawisku w dość niecodzienny sposób, bo za pomocą dwóch wysublimowanych technik mikroskopowych: LC-TEM, czyli transmisyjnej mikroskopii elektronowej z komórką cieczową, oraz EL-STXM, czyli skaningowej transmisyjnej mikroskopii rentgenowskiej z cieczową komórką elektrochemiczną. Mówiąc prościej, raz zerkaliśmy elektronami, raz fotonami o energiach z zakresu rentgenowskiego i choć w obu przypadkach patrzyliśmy na reagujące ze sobą te same substancje, widzieliśmy coś innego”, wprowadza w zagadnienie prof. dr hab. inż. Magdalena Parlińska z Instytutu Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk (IFJ PAN) w Krakowie, jedna z głównych autorek artykułu opublikowanego na łamach prestiżowego czasopisma naukowego „Nano Micro Small”.

W transmisyjnej mikroskopii elektronowej (Transmission Electron Microscopy, TEM) znajdująca się w próżni wiązka elektronów przechodzi przez badany materiał o grubości nieprzekraczającej kilkadziesiąt nanometrów. Niestety, próżnia w mikroskopie uniemożliwia badanie próbek zawierających wodę lub zawieszonych w cieczy. Problem rozwiązują uchwyty z komórką cieczową (Liquid Cell, LC) zbudowaną z dwóch chipów z okienkami wyposażonymi w dwie cienkie błonki z azotku krzemu, przez które przechodzi obrazująca wiązka elektronów. W doświadczeniu przeprowadzonym przez krakowskich fizyków nanokostki miedzi osadzono na błonce, a przez kapilary pozwalające na dostarczanie płynów do komórki cieczowej wprowadzano roztwór kwasu chlorozłotowego.

Skaningowa transmisyjna mikroskopia rentgenowska (Scanning Transmission X-ray Microscopy, STXM) działa na zbliżonej zasadzie jak TEM, jednak zamiast elektronów używa się skupionej wiązki miękkiego promieniowania rentgenowskiego, czyli fotonów. Z uwagi na fakt, że energie fotonów są tu znacznie większe niż w zakresie optycznym, STXM również pozwala na duże powiększenia obrazu, aczkolwiek nieco mniejsze niż za pomocą mikroskopii elektronowej. Technika ma jednak ogromną zaletę: przemiatając próbkę wiązkami fotonów o odpowiednio dobranych energiach można wydobyć informację o składzie chemicznym materiału, a nawet o stopniu jego utlenie-

nia w konkretnym punkcie obrazu. W omawianych badaniach źródłem promieniowania rentgenowskiego dla mikroskopii STXM był synchrotron SOLARIS, główne urządzenie działające w Krakowie Narodowego Centrum Promieniowania Synchrotronowego Uniwersytetu Jagiellońskiego.

„W interesującej nas reakcji nanokostek tlenku miedzi z roztworem kwasu chlorozłotowego same kostki pełnią rolę szablonów dla mających się uformować struktur złota”, opisuje dr hab. inż. Joanna Depciuch-Czarny (IFJ PAN), współautorka omawianego odkrycia. „Gdy reakcję obserwowaliśmy za pomocą wiązki fotonów, ostatecznie widzieliśmy materiał zbudowany z bogatych w złoto i pustych w środku nanopudełek. Ale gdy na próbki patrzyliśmy za pomocą wiązki elektronów, złoto tylko osadzało się na ściankach nanokostek miedzi, a te ani myślały zniknąć”.

Dlaczego wydawałoby się dokładnie ta sama reakcja w jednym przypadku skutkowałą powstawaniem pustych, złotych nanopudełek (materiału o rozbudowanej powierzchni, potencjalnie świetnie się nadającego na przykład na katalizator), podczas gdy w drugim złoto jedynie pokrywało nanokostki miedzi cienką warstwą? Winowajcą okazał się sposób, w jaki badacze przyglądali się ulegającym reakcji kostkom.

Zarówno wiązka elektronów, jak i wiązka fotonów, wchodzi w reakcję z wodą. Powstające w wyniku napromieniania reaktywne formy chemiczne zmieniają lokalne środowisko sprzyjające przyjmowaniu elektronów (redukcji) bądź ich oddawaniu (utlenianiu), wpływają także na aktywność jonów wodorowych – a więc na kwasowość/zasadowość roztworu, mierzoną za pomocą szeroko stosowanej skali pH. Z literatury tematu wiadomo, że wiązka elektronów tworzy lokalnie bardziej kwaśne środowisko, które hamuje utlenianie i trawienie tlenku miedzi, a jednocześnie sprzyja redukcji jonów złota i jego osadzaniu. Dla odmiany wiązka fotonów nie powoduje takiego spadku pH roztworu jak w przypadku elektronów, co pomaga zarówno w osadzaniu złota, jak i w utlenianiu/rozpuszczaniu tlenku miedzi i ostatecznie prowadzi do formowania się złotych nanopudełek o pustych wnętrzach.

Wyniki eksperymentalne potwierdzono za pomocą modeli numerycznych opisujących transport jonów, reakcje powierzchniowe i radiolizę wody, zrealizowanych dzięki wykorzystaniu mocy obliczeniowych Akademickiego Centrum Komputerowego Cyfronet AGH.

„Obecny artykuł dotyczy zagadnień o charakterze podstawowym: dowiedliśmy, że wiązka używana do obrazowania mikroskopowego kolejnych faz reakcji chemicznych wcale nie musi być ich biernym świadkiem. Przeciwnie, może stać się jednym z aktorów na chemicznej scenie, potrafiącym aktywnie wpływać na przebieg wydarzeń. Pracujemy już nad kolejnymi publikacjami, z materiałami zawierającymi inne pierwiastki i przedstawiającymi zagadnienie od strony bardziej aplikacyjnej”, podsumowuje prof. Parlińska.

Przedstawione badania sfinansowano ze środków Narodowego Centrum Nauki.

Instytut 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 medyczną, 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 klasyfikacji MEIN Instytut został zaliczony do najwyższej kategorii naukowej A+ w obszarze nauk fizycznych.

KONTAKT:

prof. dr hab. inż. **Magdalena Parlińska**
Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk
tel.: +48 12 6628160
email: magdalena.parlinska@ifj.edu.pl

PUBLIKACJE NAUKOWE:

„Electrons Make Shells, Photons Make Boxes: Unmasking Radiation Chemistry in Liquid-Phase Imaging”
B. Alavi, J. Depciuch, M. S. Shakeri, K. Sobczak, K. Matlak, M. Parlińska
Nano Micro Small 2026, e75209
DOI: [10.1002/sml.75209](https://doi.org/10.1002/sml.75209)

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:

IFJ260916b_fot01s.jpg

HR: http://press.ifj.edu.pl/news/2026/09/16/IFJ260916b_fot01.jpg

Miedziana kostka udekorowana nanoklastrami złota, zsyntezowanymi pod wpływem wiązki elektronów w środowisku zasadowym. Obraz otrzymany za pomocą mapowania spektroskopią rentgenowską z dyspersją energii (EDS). Kolory sztuczne, wskazują rozmieszczenie miedzi (czerwony) i złota (żółty). (Źródło: IFJ PAN)

IFJ260916b_fot02s.jpg

HR: http://press.ifj.edu.pl/news/2026/09/16/IFJ260916b_fot02.jpg

Kostki miedzi pokryte nanocząstkami złota. Obraz z mikroskopii SEM, kolory sztuczne. (Źródło: IFJ PAN)