



Kraków, 24 czerwca 2026

Impulsy laserowe chwytają niezbadane stany polaronowe

W międzynarodowym eksperymencie zaobserwowano polarony Jahna-Tellera – kwazicząstki mogące odegrać istotną rolę w przyszłych ultraszybkich urządzeniach spintronicznych. Polarony pojawiły się w sieci krystalicznej tlenku kobaltu, wcześniej aktywowanego za pomocą odpowiednio dobranych impulsów laserowych.

Gdy na kryształ tlenku kobaltu padają odpowiednio dobrane impulsy laserowe, aktywują specyficzne, lokalne modyfikacje sieci krystalicznej, co silnie wpływa na właściwości strukturalne, elektryczne i magnetyczne materiału. Wyrafinowane technicznie eksperymenty i analizy materiałowe, które ujawniły nieoczekiwane właściwości tlenku kobaltu, przeprowadził kilkudziesięcioosobowy zespół naukowców z Uniwersytetu w Pawii (Włochy), Szwajcarskiego Federalnego Instytutu Technologii w Lozannie i Instytutu Paula Scherrera (Szwajcaria) oraz Uniwersytetu Teksańskiego w Austin, Massachusetts Institute of Technology i Northeastern University (USA). Opis teoretyczny zjawiska, pozwalający odsłonić naturę zaobserwowanych oscylacji, opracowali fizycy z Instytutu Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk (IFJ PAN) w Krakowie, przy finansowym wsparciu Narodowego Centrum Nauki.

Katalizatory chemiczne, elektrody akumulatorowe, ogniwa fotowoltaiczne, półprzewodnikowe czujniki gazów – to tylko niektóre ze współczesnych zastosowań tlenku kobaltu Co_3O_4 . Mimo prostego wzoru chemicznego, komórka elementarna jego sieci krystalicznej składa się z aż 56 atomów: 24 kobaltu i 32 tlenu, przy czym w zależności od położenia w komórce atomy kobaltu występują w dwóch stopniach utlenienia. Dla fizyków szczególnie interesujący jest fakt, że tam, gdzie jon kobaltu jest otoczony przez cztery jony tlenu, traci dwa elektrony (zatem ma ładunek elektryczny $2+$), natomiast w sąsiedztwie sześciu jonów tlenu – trzy (jego ładunek wynosi wówczas $3+$). Cecha ta powoduje, że tlenek kobaltu charakteryzuje się bardzo bogatą strukturą zarówno elektronową, jak i magnetyczną, co czyni go interesującym materiałem do zastosowań w spintronice, zgodnie uznawanej za następczynię elektroniki.

„W naszym instytucie już wcześniej zajmowaliśmy się modelowaniem właściwości fizycznych magnetytu, czyli najstarszego materiału magnetycznego znanego ludzkości. Pod względem budowy krystalicznej badany tlenek kobaltu różni się od magnetytu tylko tym, że zamiast atomów żelaza mamy atomy kobaltu. Byliśmy więc doskonale przygotowani do zadania, jakie postawili przed nami koledzy-eksperymentatorzy, polegającego na określeniu natury zarejestrowanych przez nich dziwnych drgań sieci krystalicznej tlenku kobaltu”, mówi dr hab. Przemysław Piekarczyk, prof. IFJ PAN.

Dla zrozumienia istoty odkrycia, opisanego na łamach prestiżowego czasopisma naukowego „Journal of the American Chemical Society”, niezbędne jest wyjaśnienie pojęcia fononu. Tak jak foton jest kwantem pola elektromagnetycznego, tak fonon jest kwantem drgań sieci krystalicznej. Jako fonon należy rozumieć falę vibracji zdolną do propagowania się w sieci krystalicznej materiału, charakteryzującą się dokładnie określoną długością – a więc i określoną energią.

W opisywanych badaniach cienką warstwę tlenku kobaltu, grubości zaledwie 27 nanometrów, oświetlano najpierw impulsem lasera pompującego, a następnie, z kontrolowanym opóźnieniem, wiązką próbkującą. Eksperyment powtarzano wielokrotnie, stopniowo zmieniając opóźnienie między impulsami pompującymi i sondującymi. Pomiaru przeprowadzono przy dwóch różnych

energiach impulsów pompujących, odpowiadających światłu czerwonemu i niebieskiemu. Obie ujawniły istotnie różne zachowania materiału.

Przy czerwonym świetle pompującym, o mniejszej energii, w odbitym od próbki sygnale pojawiały się oscylacje natężenia, które fizykom z IFJ PAN udało się jednoznacznie powiązać z obecnością fononów o najniższej energii dopuszczalnej w tlenku kobaltu (konkretnie: z fononami aktywnymi w widmie Ramana). Jeszcze ciekawsze okazały się spójne oscylacje obserwowane przy niebieskim świetle pompującym, ponieważ są one całkowicie nieobecne w czystym tlenku kobaltu. Analiza teoretyczna pozwoliła ustalić następującą sekwencję zdarzeń.

Gdy foton z niebieskiej wiązki pompującej uderza w materiał, elektron może przeskoczyć z jonu tlenu na jon kobaltu $3+$, który w ten sposób staje się jonom o ładunku $2+$. Sieć krystaliczna reaguje natychmiast zmianą strukturalną wokół jonu kobaltu, asymetryczną, z dominującym przesunięciem dwóch z sześciu sąsiednich jonów tlenu. Pojawia się wówczas nadmiar ładunku elektrycznego oraz charakterystyczna deformacja sieci, przyjmująca postać polaronu znanego fizykom jako polaron Jahna-Tellera.

„Od strony praktycznej mamy tu do czynienia ze swoistą inżynierią elektronową, polegającą na tworzeniu w materiale potrzebnej struktury elektronowej za pomocą impulsów laserowych wpływających na drgania sieci krystalicznej”, stwierdza prof. Piekarz.

Aktywacja polaronów Jahna-Tellera w tlenku kobaltu za pomocą światła laserowego jest możliwa dzięki silnemu powiązaniu ładunku, spinu i właściwości strukturalnych w materiale, co czyni tlenek kobaltu szczególnie atrakcyjną platformą dla przyszłych badań spintronicznych. W dłuższej perspektywie opisane odkrycie może przyczynić się do rozwoju metod precyzyjnego sterowania właściwościami funkcjonalnymi materiałów w układach logicznych i pamięciach nowej generacji, działających wielokrotnie szybciej niż dzisiejsze półprzewodnikowe układy elektroniczne.

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:

dr hab. **Przemysław Piekarz**, prof. IFJ PAN
Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk
tel.: +48 12 6628209
email: przemyslaw.piekarz@ifj.edu.pl

PUBLIKACJE NAUKOWE:

„Ultrafast Formation of Jahn–Teller Polarons Revealed by State-Selective Excitation in Correlated Spinel Co_3O_4 ”
S. Restelli, O. Cannelli, N. Colonna, C. Grova, P. Usai, M. Puppin, M. Mensi, F. Barantani, Y. Meng, J. Teyssier, M. Oppermann, F. Pennacchio, C. Bacellar, J. R. Rouxel, L. D. Leroy, O. Dogadov, N. Ohannessian, D. Pergolesi, P. Galinetto, P. Piekarz, A. Ptok, S. Chaudhary, G. A. Fiete, M. Chergui, E. Baldini, G. F. Mancini
Journal of the American Chemical Society, 2026, 148, 18, 18839-18848
DOI: [10.1021/jacs.5c23346](https://doi.org/10.1021/jacs.5c23346)

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:**IFJ260624b_fot01s.jpg****HR:** http://press.ifj.edu.pl/news/2026/06/24/IFJ260624b_fot01.jpg

Wzbudzony laserem tlenek kobaltu po oświetleniu wiązką próbkującą o odpowiedniej energii (w kolorze pomarańczowym) emituje promieniowanie (kolor błękitny) świadczące o pojawieniu się drgań sieci krystalicznej. Na wizualizacji przedstawiono komórkę elementarną z widocznymi dwiema konfiguracjami atomów tlenu wokół atomów kobaltu. (Źródło: Balázs Órley)