



Kraków, 9 maja 2022

## Nowe okno na świat zjawisk trwających attosekundy

*Są obecne wszędzie, wokół nas i w nas samych. Zjawiska zachodzące w trylionowych częściach sekundy tworzą rdzeń chemii i biologii. Dopiero od niedawna zaczynamy próbować dokładnie rejestrować ich rzeczywisty przebieg, na razie z umiarkowanymi sukcesami. Teraz krakowscy fizycy udowadniają, że na świat attofizyki można otworzyć kolejne okno, z jeszcze ciekawszym widokiem.*

Czy w głębi komórki, czy tylko w probówce, reakcje chemiczne związane ze zmianami konfiguracji elektronów w atomach i cząsteczkach zachodzą z nadzwyczajną szybkością. Ich powszechność i znaczenie budzą zrozumiałą ciekawość naukowców, którzy od dłuższego czasu próbują zarejestrować ich przebieg. Dotychczasowe metody z użyciem promieniowania rentgenowskiego, opracowane z myślą o obserwowaniu zjawisk trwających attosekundy (czyli trylionowe części sekundy), borykają się z wysokimi wymaganiami odnośnie do parametrów używanej wiązki promieniowania. Sytuacja ma szansę się poprawić w najbliższych latach, dzięki nowej metodzie pomiarowej zaproponowanej przez grupę naukowców z Instytutu Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk (IFJ PAN) w Krakowie.

Śledzenie przebiegu tak szybkich zjawisk jak wiązanie się atomów w cząsteczki staje się obecnie możliwe głównie dzięki rentgenowskim laserom na swobodnych elektronach (X-Ray Free-Electron Laser, XFEL). Urządzenia te, z uwagi na rozmiary i koszty budowy działające w zaledwie kilku miejscach na świecie, wytwarzają ultrakrótkie impulsy promieniowania rentgenowskiego o czasach trwania dochodzących do zaledwie kilku femtosekund (czyli biliardowych części sekundy).

Ośrodki wyposażone w lasery XFEL stosują dwie podstawowe techniki pomiarowe, znane jako spektroskopia rentgenowska i dyfrakcja rentgenowska. Pierwsza koncentruje się na analizie zmian widma promieniowania wskutek oddziaływania z próbką, druga bada, jak promieniowanie rentgenowskie na próbce się rozprasza. Obie metody mają to samo ograniczenie: nie pozwalają 'zobaczyć' procesów krótszych niż czas trwania impulsu. Właśnie dlatego najszybsze zjawiska, jakie dotychczas udało się zaobserwować na przykład w europejskim laserze European XFEL pod Hamburgiem, trwały pięć femtosekund.

*„Kilka femtosekund to bardzo mało, ale to nadal nie jest świat attofizyki. Aby tam dotrzeć, sięgnęliśmy po chronoskopię, czyli technikę, w której analizuje się zmiany kształtu impulsów w czasie. Na drodze teoretycznej pokazaliśmy, że metodę tę można z powodzeniem wykorzystać właśnie w odniesieniu do ultrakrótkich impulsów rentgenowskich, by zdobyć informację o zmianie kształtu impulsów przed i po interakcji z próbką”,* mówi dr Wojciech Błachucki (IFJ PAN), pierwszy autor artykułu w czasopiśmie „Applied Sciences”.

W omawianej publikacji wykazano, że w przypadku ultrakrótkich impulsów laserowych możliwe jest zmierzenie ich struktury czasowej, czyli uzyskanie informacji o kształcie impulsu. Zaprezentowane podejście potencjalnie pozwala wnioskować o zjawiskach ze świata attofizyki nawet przy obecnym stanie rozwoju technicznego laserów XFEL. Gdyby bowiem impuls laserowy trwał nawet 20 femto-

sekund, za to informację o jego strukturze czasowej udało się odtworzyć powiedzmy w 100 punktach, to możliwe byłoby zauważenie zjawisk zachodzących w czasie  $20 / 100 = 1/5$  femtosekundy, czyli 200 attosekund.

Niezwykle istotny jest przy tym fakt, że obecnie rozdzielczość czasową poniżej 1 femtosekundy udawało się niekiedy osiągać, jednak należało w tym celu znacząco zredukować intensywność wiązki laserowej. Zabieg ten niesie potężne skutki uboczne. Czas naświetlania próbek wydłuża się bowiem do wielu godzin, co w praktyce uniemożliwia prowadzenie pomiarów o charakterze użytkowym. Chronoskopia rentgenowska jest pozbawiona tego ograniczenia i redukuje wymagania dotyczące impulsów promieniowania poprzez zastosowanie czułej metody pomiaru ich struktury czasowej. Po jej zaimplementowaniu obecne ośrodki laserowe mogłyby przeznaczać część czasu pracy na attosekundowe pomiary realizowane na zlecenie podmiotów zewnętrznych, na przykład związanych z przemysłem.

Zanim chronoskopia rentgenowska stanie się standardową techniką badawczą, musi jednak upłynąć kilka lat. Pierwszym krokiem ku jej wdrożeniu będzie wykazanie, że średnie czasy trwania impulsu laserowego przed i po oddziaływaniu z próbką są różne. Byłoby to doświadczalne potwierdzenie poprawności metody opisanej przez krakowskich fizyków. Dopiero na kolejnym etapie badacze skoncentrowaliby się na precyzyjniejszym odtworzeniu struktur czasowych impulsów przed i po kontakcie z próbką.

*„Zaproponowana przez nas technika pomiarowa nie jest ograniczona wyłącznie do laserów na swobodnych elektronach, lecz ma charakter uniwersalny. Z powodzeniem może więc być użyta także w przypadku innych źródeł generujących ultrakrótkie impulsy promieniowania rentgenowskiego, takich jak ośrodek Extreme Light Infrastructure, znajdujący się niedaleko Pragi”*, podkreśla dr hab. Jakub Szlachetko (IFJ PAN).

Badania grupy z IFJ PAN wspomagali naukowcy z ośrodków w Sztokholmie (KTH Royal Institute of Technology), Uppsali (Uppsala University), Villigen (Paul Scherrer Institute), Schenefeld (European XFEL GmbH) i Warszawy (Instytut Chemii Fizycznej PAN). Projekt sfinansowano dzięki grantowi 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 kategoryzacji MNiSW Instytut został zaliczony do najwyższej kategorii naukowej A+ w grupie nauk ścisłych i inżynierskich.*

#### **KONTAKT:**

dr **Wojciech Błachucki**  
Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk  
tel.: +48 12 6628169  
email: [wojciech.blachucki@ifj.edu.pl](mailto:wojciech.blachucki@ifj.edu.pl)

dr hab. **Jakub Szlachetko**  
Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk  
tel.: +48 12 6628223  
email: [jakub.szlachetko@ifj.edu.pl](mailto:jakub.szlachetko@ifj.edu.pl)

#### **PUBLIKACJE NAUKOWE:**

*„Approaching the Attosecond Frontier of Dynamics in Matter with the Concept of X-ray Chronoscopy”*  
W. Błachucki, A. Wach, J. Czapla-Masztafiak, M. Delcey, Ch. Arrell, R. Fanselow, P. Juranić, M. Lundberg, Ch. Milne, J. Sá, J. Szlachetko

**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:**

**IFJ220509b\_fot01s.jpg**

**HR:** [http://press.ifj.edu.pl/news/2022/05/09/IFJ220509b\\_fot01.jpg](http://press.ifj.edu.pl/news/2022/05/09/IFJ220509b_fot01.jpg)

Zjawiska attosekundowe można badać za pomocą laserów na swobodnych elektronach, takich jak SwissFEL (na zdjęciu: stacja badawcza Alvra). Najdokładniejszy widok ma szansę zapewnić chronoskopia rentgenowska, analizująca kształt impulsów laserowych przed i po interakcji z próbką. (Źródło: IFJ PAN / Paul Scherrer Institut / SwissFEL Alvra)