

## Przestrzenne obrazy atomowe z Krakowa i z Japonii

Pierwszy ostry holograficzny obraz przestrzennej struktury atomowej uzyskany za pomocą promieniowania gamma udało się otrzymać w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie [1,2]. Autorzy sukcesu, P. Korecki, J. Korecki oraz G. Materlik (DESY), użyli modyfikacji metody „holografii z wykorzystaniem źródła wewnętrznego” (ISH: *internal source holography*).

ISH wykorzystuje fakt, że wzór interferencyjny utworzony przez promieniowanie emitowane przez zlokalizowane źródło wewnątrz próbki może być zinterpretowane jako hologram najbliższej źródłu struktury atomowej. Zastosowanie promieniowania gamma powoduje, że wzbudzone są nie atomy, tylko ich jądra. W tym przypadku używa się tzw. odwróconej w czasie (*time-reversed*) wersji ISH, tzn. rejestruje się pochłanianie, a nie emisję promieniowania. Metoda ISH opiera się na tym, że każde jądro może zostać wzbudzone albo bezpośrednio przez padającą wiązkę kwantów gamma (fala odniesienia), albo po rezonansowym rozproszeniu na jednym z otaczających jąder (fala przedmiotowa).

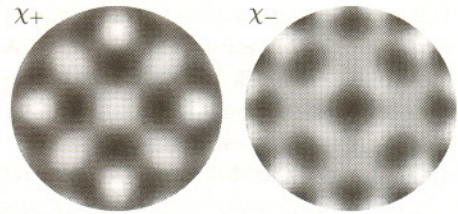
Dla porządku dodajmy, że intensywność powstającego pola interferencji mierzona jest za pomocą pomiaru intensywności deaktywacji jąder przez emisję elektronów konwersji wewnętrznej w zależności od kąta padania promieniowania gamma.

Do tej pory problemem było jednak nakładanie się tzw. sprzężonych obrazów powstających przy odczytywaniu hologramu. Naukowcy z Krakowa dokonali przełomu, rejestrując pełną informację o polu interferencji w postaci tzw. hologramu zespolonego. Przedstawiona metoda wykorzystuje możliwość zmiany fazy fali rozproszonej przez odstrojenie od rezonansu mössbauerowskiego.

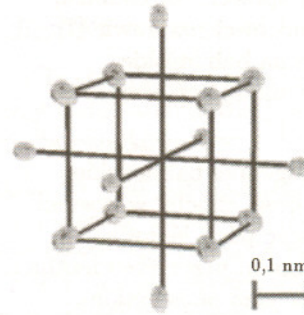
Tu należy się przypomnienie zjawiska Mössbauera, polegającego na rezonansowej emisji lub absorpcji kwantów gamma przez jądra atomów tworzących sieć krystaliczną, bez zmiany energii wewnętrznej kryształu. Inaczej mówiąc, jądro nie doznaje odrzutu, który jest przejmowany przez kryształ jako całość. Rezonansowe linie mössbauerowskie mają bardzo małą szerokość (szerokość względna jest rzędu  $10^{-10}$ – $10^{-15}$ ). Dlatego badanie struktury rezonansowej przeprowadza się, zmieniając względną prędkość źródła promieniowania gamma i badanej próbki w zakresie centymetrów na sekundę! Wtedy dopplerowska zmiana energii kwantów  $\gamma$  jest rzędu szerokości linii rezonansowej.

Do praktycznej realizacji  $\gamma$ -holografii użyto materiału zawierającego izotop żelaza  $^{57}\text{Fe}$  oświetlanego promieniowaniem z radioaktywnego kobaltu  $^{57}\text{Co}$ . Autorzy w pracy [2] pokazali, że wystarczy zarejestrować dwa  $\gamma$ -hologramy, jeden dla energii rezonansowej powiększonej, a drugi pomniejszonej o dowolną wartość  $\Delta E$ , aby następnie z ich sumy i różnicy otrzymać odpowiednio część urojoną  $\chi_+$

i część rzeczywistą  $\chi_-$  pola interferencyjnego. Dysponując tą pełną informacją autorzy odtworzyli przestrzenny obraz badanej struktury z rozdzielczością nie gorszą niż  $0,5 \text{ \AA}$ .



Metoda ta może zostać użyta do badania przestrzennej, a zwłaszcza magnetycznej struktury atomowej cienkich błon i warstw zawierających  $^{57}\text{Fe}$ . W dodatku badane próbki nie muszą mieć ani dalekozasięgowego, ani chemicznego uporządkowania.



Okazuje się, że różne odmiany holografii to nie jedyne sposoby otrzymania obrazu przestrzennej struktury atomowej. Japoński fizyk H. Daimon proponuje [3] zastosowanie w tym celu techniki stereoskopowej, analogicznej do używanej przy produkcji

trójwymiarowych filmów czy anaglifów. W odróżnieniu od innych metod, które wymagają skomplikowanych obliczeń, proponowany sposób jest szybki i bezpośredni. W niedługiej przyszłości może nawet umożliwić trójwymiarowe rejestrowanie procesów atomowych w czasie rzeczywistym!

Widzenie przestrzenne wykorzystuje fakt, że obrazy widziane lewym i prawym okiem różnią się o pewien kąt. Aby uzyskać stereoskopową iluzję, wystarczy dostarczyć do lewego i prawego oka obrazy uzyskane z odpowiednio rozsuniętych kamer. Podobnie obrócone obrazy wytwarza fotoelektryczna dyfrakcja kołowo spolaryzowanego światła. Tak spolaryzowane fotony mają niezerowy moment pędu. Ten moment pędu jest przekazywany fotoelektronom, powodując obrót obrazu dyfrakcyjnego zgodnie lub przeciwnie do ruchu wskazówek zegara.

Parę obrazów struktury atomowej kryształu wolframu wziętą z pracy [3] przedstawiamy na ostatniej stronie okładki. Wystarczy patrzeć lewym okiem na lewy, a prawym na prawy obrazek, żeby ujrzeć stereoskopowy widok badanego kryształu.

Piotr ZALEWSKI

- [1] Physics News Update **528**, 1 marca 2001.
- [2] P. Korecki, G. Materlik, J. Korecki, *Complex  $\gamma$ -Ray Hologram: Solution to Twin Images Problem in Atomic Resolution Imaging*, Phys. Rev. Lett. **86** (2001) 1534.
- [3] H. Daimon, *Stereoscopic Microscopy of Atomic Arrangement by Circularly Polarized-Light Photoelectron Diffraction*, Phys. Rev. Lett. **86** (2001) 2034.