

## POPULARNONAUKOWE STRESZCZENIE PROJEKTU

Spektroskopia promieniowania X, badająca procesy absorpcji lub emisji promieniowania X, zakłada słabe oddziaływanie promieniowania X z materią. W takim obszarze, intensywność obserwowanych sygnałów promieniowania rentgenowskiego jest związana liniowo z intensywnością promieniowania padającego, a pomiar wykonuje się przy wykorzystaniu tzw. metod “one-photon-in one-photon-out”. Zastosowanie silnych intensywności padającego promieniowania X może prowadzić do efektów nieliniowych, dla których sygnały promieniowania X związane są nieliniowo z intensywnością promieniowania padającego, a pomiary spektroskopowe są oparte na tzw. procesach “mutli-photon-in multi-photon-out”. Przykładem takiego procesu jest absorpcja dwufotonowa (z ang. Two-photon absorption (TPA)) zależna w sposób kwadratowy od intensywności promieniowania padającego. Taki nieliniowy obszar oddziaływania promieniowania z materia, od wielu lat dostępny w częstotliwościach optycznych<sup>1-4</sup>, przy długościach fali w zakresie promieniowania X jest obszarem praktycznie niezbadanym ze względu na brak wystarczająco silnych źródeł promieniowania X. Badanie nieliniowych oddziaływań promieniowania elektromagnetycznego z materią, w zakresie długości fal rentgenowskich stało się możliwe dopiero niedawno dzięki rozwojowi rentgenowskich laserów na swobodnych elektronach (XFELs)<sup>5</sup>. W przeciwieństwie do fal w zakresie optycznym, oddziaływanie foton-atom dla promieniowania X o energii kilku tysięcy elektronowoltów odbywa się z udziałem elektronów rdzenia i prowadzi do wzbudzenia elektronowych stanów pośrednich z femtosekundowymi czasami życia<sup>6-10</sup>. Dlatego też femtosekundowe lasery rentgenowskie pozwalają uzyskać dostęp do niezbadanego obszaru fizyki oraz umożliwiają badanie mechanizmów fizycznych prowadzących do nieliniowego oddziaływania promieniowania X z materią<sup>11-12</sup>.

W zastosowaniu do spektroskopii rentgenowskiej, mechanizm TPA pozwoli na dostęp do nowych stanów wzbudzenia materii. W porównaniu do liniowego reżimu pojedynczej absorpcji fotonów (OPA), dopuszczony przez przejścia dipolowe elektronowe (zmiany momentu pędu elektronów o +/- 1), TPA wymaga zmiany momentu pędu elektronów o +/- 2 lub 0, umożliwiając w ten sposób dostęp do badania kwadrupolowych lub monopolowych przejść elektronowych. Proces TPA może więc prowadzić do tworzenia nowych niedostępnych dotychczas wzbudzonych stanów elektronowych w materii. Warto jednak zaznaczyć, że badanie mechanizmów TPA na źródłach XFEL wymaga uwzględnienia szeregu konkurencyjnych procesów, włączając bardziej prawdopodobne oddziaływania pierwszego i drugiego rzędu. Prezentowany projekt ma na celu połączenie emisyjnej spektroskopii rentgenowskiej oraz obliczeń teoretycznych do badania mechanizmów dwufotonowej absorpcji w zakresie promieniowania rentgenowskiego. Dane doświadczalne z naszych eksperymentów XFEL zostaną wykorzystane do określenia przekrojów czynnych dla procesów TPA w różnych materiałach, a także dla różnych struktur (tj. ciało stałe lub nanocząsteczki). W projekcie chcemy poznać zależność przekrojów czynnych od energii padającego promieniowania X oraz zidentyfikować obszary, w których proces TPA jest procesem dominującym w porównaniu do innych możliwych procesów liniowych oraz nieliniowych. Ponadto, dzięki wysokiej intensywności promieniowania X dostępnej na źródłach XFEL, planujemy rozróżnić dwa możliwe mechanizmy zachodzenia procesu TPA: absorpcję dwufotonową sekwencyjną i absorpcję dwufotonową jednoczesną.

### Referencje:

1. Keller, U. Recent developments in compact ultrafast lasers. *Nature* 424, 831–838 (2003).
2. Schuster, I. et al. Nonlinear spectroscopy of photons bound to one atom. *Nat Phys* 4, 382–385 (2008).
3. Srinivasan, K. & Painter, O. Linear and nonlinear optical spectroscopy of a strongly coupled microdisk-quantum dot system. *Nature* 450, 862–U15 (2007).
4. Hori, M. et al. Two-photon laser spectroscopy of antiprotonic helium and the antiproton-to-electron mass ratio. *Nature* 475, 484–488 (2011).
5. Emma, P. et al. First lasing and operation of an ångstrom-wavelength free-electron laser. *Nature Photon* 4, 641–647 (2010), Amann, J. et al. Demonstration of self-seeding in a hard-X-ray free-electron laser. *Nature Photon* 6, 693–698 (2012).
6. Young, L. et al. Femtosecond electronic response of atoms to ultra-intense X-rays. *Nature* 466, 56–61 (2010).
7. Tamasaku, K. et al. Double Core-Hole Creation by Sequential Attosecond Photoionization. *Phys. Rev. Lett.* 111, (2013).
8. Tamasaku, K., Shigemasa, E., Inubushi, Y. & Katayama, T. X-ray two-photon absorption competing against single and sequential multiphoton processes. *Nature* (2014).
9. Rohringer, N. et al. Atomic inner-shell X-ray laser at 1.46 nanometres pumped by an X-ray free-electron laser. *Nature* 481, 488–491 (2012).
10. Beye, M. et al. Stimulated X-ray emission for materials science. *Nature* (2013). doi:10.1038/nature12449
11. Vinko, S. M. et al. Creation and diagnosis of a solid-density plasma, *Nature* 482, 59–62 (2012).