

[EN]

Development of Plasma Betatron for Advanced X-ray Spectroscopy

Field of Study: Physical Engineering

Supervisor: Jaroslav Nejdí (jaroslav.nejdi@fjfi.cvut.cz)

Supervisor specialist: Marcel Lamač (marcel.lamac@eli-beams.eu)

Abstract:

Laser wakefield acceleration (LWFA) has emerged as a compact and versatile method for generating ultrashort, high-energy electron beams over centimeter-scale distances. When a high-power femtosecond laser pulse is focused into an underdense plasma, it drives a plasma wave (wakefield), within which electrons can be trapped and accelerated to relativistic energies. Simultaneously, the accelerated electrons undergo transverse oscillations in the plasma wave's electric fields, producing bright, broadband X-ray radiation – known as betatron radiation – with characteristics similar to synchrotron light sources.

This PhD project aims to develop and optimize a plasma betatron X-ray source based on LWFA driven by PW-class laser, with a specific focus on achieving high flux and spectral tunability suitable for spectroscopic techniques. A key objective is to establish control over the source parameters (e.g., photon energy range, bandwidth, and stability) through tailored laser-plasma interaction regimes and injection techniques.

In the second phase of the project, the developed source will be applied in X-ray absorption spectroscopy (XAS) or X-ray emission spectroscopy (XES), particularly for probing matter under extreme conditions or materials with complex electronic structure. This involves designing and implementing experimental setups to exploit the unique temporal and spectral features of the betatron radiation.

The candidate will gain hands-on experience in high-power laser-plasma experiments, electron and photon diagnostics, as well as X-ray spectroscopy techniques.

[CZ]

Vývoj plazmového betatronu pro pokročilou rentgenovou spektroskopii

Obor: Fyzikální inženýrství

Školitel: Jaroslav Nejdí (jaroslav.nejdi@fjfi.cvut.cz)

Školitel specialista: Marcel Lamač (marcel.lamac@eli-beams.eu)

Abstrakt:

Urychlování elektronů v laserovém plazmatu je kompaktní a všestranná metoda pro generování ultrakrátkých impulzů, vysoce energetických elektronů na centimetrových vzdálenostech. Když je intenzivní femtosekundový laserový impulz zafokusován do podkritického plazmatu, vytvoří se plazmová vlna (wakefield), ve které mohou být elektrony zachyceny a urychleny na relativistické energie. Současně

procházejí urychlené elektrony transversálními oscilacemi v elektrických polích plazmové vlny, čímž vzniká jasné, širokopásmové rentgenové záření – známé jako betatronové záření – s vlastnostmi podobnými synchrotronovým zdrojům.

Cílem této disertační práce je vyvinout a optimalizovat plazmový betatronový rentgenový zdroj buzený PW laserem, se zvláštním důrazem na dosažení vysoké spektrální zářivosti a spektrální laditelnosti vhodné pro spektroskopické aplikace. Klíčovým cílem je řízení parametrů zdroje (např. rozsah energie fotonů, šířka spektra a stabilita) pomocí cílených režimů interakce laseru s plazmatem a vhodných injekčních technik.

Ve druhé fázi projektu bude vyvinutý zdroj použit pro rentgenovou absorpční spektroskopii (XAS) a rentgenovou emisní spektroskopii (XES), zejména pro studium látek v extrémních podmínkách nebo materiálů s komplexní elektronovou strukturou. To zahrnuje návrh a realizaci experimentálních sestav využívajících jedinečné časové a spektrální vlastnosti betatronového záření.

Kandidát získá praktické zkušenosti s experimenty, diagnostikou elektronů, i rentgenového záření, stejně jako s rentgenovými spektroskopickými technikami.