

[EN]

High-power Laser-plasma X-ray Sources: Advancing Control, Stability, and Brightness for Multidisciplinary Applications

Supervisor: doc. Jan Pšikal (jan.psikal@fjfi.cvut.cz)

Supervisor specialist: Dr. Uddhab Chaulagain (Uddhab.Chaulagain@eli-beams.eu)

Abstract:

One of the major goals of research for laser-plasma accelerators (LPA) is the realization of compact bright sources of femtosecond X-rays that could soon rival conventional facilities such as synchrotrons or XFELs. By focusing multi-terawatt femtosecond laser into underdense plasma we generate a plasma bubble free of electrons just behind the laser pulse. Inside this bubble, space charge separation creates ultra-high electric field (~ 100 GV/m, which is 1,000 times higher than field in conventional RF accelerators), enabling GeV-scale electron acceleration within centimeters providing a compact electron accelerator. Furthermore, ultra-short synchrotron-like X-ray radiation, known as betatron radiation, is produced simultaneously when the accelerated electrons are transversely wiggled by the radial electric field inside the plasma bubble. Additionally, LPA-generated electron beams serve as ideal drivers for generating tunable, quasi-monochromatic, ultra-short, and high-brilliance X-rays and γ -rays through inverse Compton scattering (ICS).

Despite these advancements, the stability of LPA-based X-ray sources remains a major challenge for real-world applications. This thesis explores novel methods to enhance X-ray flux and energy in both betatron and ICS schemes. It further investigates the potential of these sources for high-resolution imaging and tomography of thick samples, as well as their use as backlighters for imaging of laser-driven hydrodynamic shocks relevant to inertial confinement fusion.

[CZ]

Zdroje rentgenového záření z laserového plazmatu: pokrok v řízení, stabilitě a spektrální zářivosti pro multidisciplinární aplikace

Školitel: doc. Jan Pšikal (jan.psikal@fjfi.cvut.cz)

Školitel-specialista: Dr. Uddhab Chaulagain (Uddhab.Chaulagain@eli-beams.eu)

Obor: Fyzikální inženýrství

Abstrakt:

Jedním z hlavních cílů výzkumu urychlovačů v laserovém plazmatu je realizace kompaktních zdrojů

femtosekundového rentgenového záření, které by mohly brzy konkurovat konvenčním zařízením, jako jsou synchrotrony nebo XFELy. Fokusací femtosekundového laseru s výkonem několika TW až PW do podkritického plazmatu vytváříme plazmovou bublinu (bez elektronů) těsně za laserovým impulzem. Uvnitř této bubliny je výrazná separace náboje, která vytváří extrémně silné elektrické pole (~ 100 GV/m, což je $1000\times$ vyšší než pole v konvenčních RF urychlovačích), umožňující urychlení elektronů na GeV úroveň během několika centimetrů – čímž vzniká kompaktní elektronový urychlovač. Zároveň vzniká ultrakrátké synchrotronové rentgenové záření známé jako betatronové záření, když jsou urychlené elektrony transversálně rozkmitány radiálním elektrickým polem uvnitř plazmové bubliny. Kromě toho slouží laserem urychlené elektronové svazky jako ideální zdroje pro vznik laditelných, kvazimonochromatických, ultrakrátkých a velmi jasných rentgenových a gama paprsků pomocí inverzního Comptonova rozptylu (ICS).

Navzdory rychlému pokroku zůstává stabilita rentgenových zdrojů založených na laserovém urychlování hlavní výzvou pro praktické aplikace. Tato disertační práce má za cíl zkoumat nové metody zvyšování jasů rentgenového záření jak v rámci betatronového, tak i ICS schématu. Dále bude zaměřena na zobrazovací metody s vysokým rozlišením a tomografii tlustých vzorků i sondování laserem buzených hydrodynamických rázových vln, které jsou relevantní pro inerciální termojadernou fúzi.