Posudek školitele diplomové práce Bc. Sergeia Kulkova na téma

Runaway electrons in tokamaks and their detection using segmented silicon detectors

Vedoucí práce: Ing. Michal Marčišovský Ph.D., FJFI ČVUT
Oponent: prof. RNDr. Petr Kulhánek, CSc., FEL ČVUT

Předložená diplomová práce se zabývá aplikací křemíkových pixelových detektorů s vyčítacím čipem Timepix3 pro nepřímé zkoumání vlastností runaway elektronů (RE), které představují potenciální nebezpečí pro provoz velkých fúzních experimentů. Hlavní náplní práce bylo experimentální měření na tokamaku COMPASS, které se uskutečnilo na začátku tohoto roku.

Téma práce je vysoce aktuální, nové detekční metody mohou poskytnout experimentální data ke studiu vzniku, evoluce svazku RE a případně k jeho potlačení. Použitý hybridní křemíkový detektor s vyčítacím čipem Timepix3 disponuje řadou výhod oproti existujícím detekčním a diagnostickým metodám. Tyto výhody spočívají primárně v jeho vysoké účinnosti detekce rentgenových fotonů, ve vysokém prostorovém rozlišení daném jemnou granularitou pixelového senzoru, schopnosti měřit energie jednotlivých detekovaných fotonů a zejména možnosti měřit dobu příletu jednotlivých částic s rozlišením lepším než 10 ns, což umožní studovat strukturu a časový vývoj populace RE. Pro realizaci měření byla zahájena spolupráce s laboratoří Nikhef (Holandsko), kde byl zapůjčen vlastní detektor na bázi Timepix3 s 200 mikronovým Si senzorem a vyčítacím systémem SPIDR, který umožňuje zpracovat až 80 Mhits/s, což v současnosti není možné dosáhnout žádným jiným dostupným vyčítacím systémem. Tyto parametry jsou nutné z důvodu saturace vyčítacího systému při intenzivní produkci RE ve výbojích, jak bylo zjištěno při předchozích měřeních. Sergei tuto spolupráci s laboratoří Nikhef rozvíjel, což vyústilo v zájem o jejích účast na další experimentální kampani na tokamaku COMPASS.

Vlastní práce se skládá z úvodu, pěti kapitol a závěru. V rešeršní části práce autor představuje problematiku termojaderné fuze a tokamaků s důrazem na fyziku RE, mechanismy jejich vzniku, diagnostiky a potlačení. Student také popisuje mechanismy interakce ionizujícího záření s látkou a podrobně se věnuje fyzikálním principům detekce v polovodičových detektorech a jejich konstrukci, což představuje teoretický úvod pro vlastní práci. Ta je obsažena v kapitole 5 a zahrnuje popis vyvinutého detekčního systému, včetně jeho aplikace v 11. experimentální kampani tokamaku COMPASS věnované RE. V detailu jsou zde popsané problémy, se kterými se autor při konstrukci aparatury a měření setkal a je nastíněno jejich technické řešení.

Student zkonstruoval a úspěšně provozoval detekční diagnostický systém na radiálním diagnostickém portu tokamaku COMPASS, čímž ověřil jeho funkčnost a otevřel možnost operačního nasazení takového detektoru a jeho integraci do existujících i budoucích diagnostických systémů experimentů. Jádro práce tvoří měření časového průběhu výbojů a korelace s průběhy signálu SXR, HXR a neutronových detektorů.

Autor se aktivně zapojil do vývoje detekčních systémů v detektorovém centru na FJFI, pracoval samostatně a efektivně řešil problémy fyzikálního, technického a softwarového rázu. Úspěšně se zhostil pionýrské práce instalace, provozu a analýzy dat z nového typu diagnostiky na tokamaku.

V průběhu studia prezentoval některé své výsledky na 46th EPS Conference on Plasma Physics v roce 2019, nicméně prezentace nových výsledků uvedených v této diplomové práci byla odsunuta až na rok 2021 z důvodu neuskutečnění oborových konferencí v letošním roce.

Obecně se dá konstatovat, že předložená diplomová práce je nadstandardní a studentem vykonávaná práce na vývoji instrumentace a analýze dat originální. Práce je zpracována na excelentní odborné úrovni, je napsána čtivě v anglickém jazyce na velmi dobré úrovni. Při vývoji detekční aparatury a vytváření přidruženého software pro analýzu dat z měření si Sergei osvojil širokou odbornou tematiku křemíkových detektorů a bez problému zvládl originální a náročná témata i v nelehkých podmínkách. Autorovy výsledky se stanou základem pro publikaci v relevantních impaktovaných žurnálech a budou sloužit jako vstup pro další vývoj detektorů pro diagnostiku RE. Na základě uvedeného konstatuji, že Sergei Kulkov úspěšně zpracoval zadané téma. Předložená práce splňuje požadavky kladené na diplomovou práci a hodnotím známkou **A** „**výborně**“.

V Praze 24/08/2020

Ing. Michal Marčišovský Ph.D.