

Posudek školitele diplomové práce „Směrové a spektrometrické mapování sekundární radiace indukované během hadronové terapie za pomoci miniaturizovaného dráhového detektoru“ vypracované Bc. Lukášem Markem, KF, FJFI ČVUT

Náplní diplomové práce je využití polohově-citlivých pixelových detektorů v medicíně. Hlavní zaměření je především na detekci sekundárních radiačních polí vzniklých při použití energetických iontů uhlíků během hadronové terapie. Práce taktéž obsahuje metodiku pro zpracování měření směsných radiačních polí, a to konkrétně charakterizaci radiačního složení včetně směrové a spektrometrické informace o částicích.

V úvodu práce student shrnuje interakci nabitých částic v látce a poskytuje přehled polovodičových detektorů. Uvádí popis pixelových detektorů se zaměřením na hybridní polovodičové pixelové detektory Medipix, konkrétně Timepix a Timepix3 ASIC čipy. Součástí shrnutí je i akvizice signálu včetně jeho zpracování. To je rozvedeno do sekvence kroků počínaje rozpoznáním pixelových energetických stop náležících jednotlivým částicím, na něž navazuje získání a zpracování spektrální a směrové odezvy detektoru. Součástí práce je taktéž vyhodnocení měření z více synchronizovaných detektorů. V rámci tohoto tématu student popisuje dva základní algoritmy pro nalezení shodných událostí ve více detektorech, založené na časové značce a charakteru zanechaných stop v detektoru, kvalifikovaných pomocí tzv. cluster proměnných.

Práce se dále soustřeďuje na problematiku rozpoznání různých interagujících částic na základě jejich typu (zejména lehké a těžké nabitě částice), případně směru a deponované energie. Student vycházel z dosavadního stavu řešení této problematiky, na které navázal a především ho rozšířil pro přímou implementaci na měřící zařízení. Součástí tohoto úkolu bylo měření a zpracování tzv. referenčních dat (definované různé částice s různými směry a energiemi v rozsahu platném především pro hadronovou terapii), což zahrnovalo podílení se na nových experimentech v těch případech, kdy měření ještě nebylo uskutečněno (cyklotron ÚJF-AV). V rámci této problematiky zlepšil algoritmus pro určení délky stopy částice v pixelovém detektoru Timepix3, zahrnující efekt nábojového sdílení. Pro klasifikaci částic se student zaměřil na využití dráhové a spektrometrické informace a výsledná metodika je paralelou ke kNN algoritmu strojového učení, s důrazem na zjednodušení pro přímou implementaci na zařízení. Důležitým parametrem klasifikace částic je intenzita radiačního pole vyjádřená především tokem částic, která ve vyhodnocených datech zabírá několik řádů. Součástí výsledků je i zhodnocení efektivity a přesnosti vytvořené metodiky.

V práci je dále uveden příslušný stav výzkumu ve vybrané aplikaci (hadronové terapii), a to především v monitorování dosahu svazku v ozařované látce. Je zde taktéž shrnuta motivace pro využití klasifikačního algoritmu částic a pro podrobné zkoumání propagace sekundárních částic skrze ozařovanou látku. V rámci tohoto tématu student spolupracoval s Německým centrem pro výzkum rakoviny sídlící v Heidelbergu. V úvodu do této problematiky jsou zmíněny konkrétní interakce energetických lehkých iontů a vytvořených sekundárních částic v prostředích ekvivalentních pro hadronovou terapii. Pro výsledné zkoumání vlivu prostředí na propagaci částic je využit Monte-Carlo simulační nástroj FLUKA, který je s dostatečnou přesností schopen popsat procesy v hadronové terapii. Student rozebírá především výslednou chybu určování polohy vzniku sekundárních částic v současně využívaných metodách. Dále se zaměřuje na jednotlivé možné příspěvky od různých interakcí částic v látce. Druhá část aplikace v hadronové terapii zahrnuje využití klasifikačního algoritmu pro celkové zlepšení určování dráhy částic. V této části student vyhodnocuje naměřená data pomocí dvou synchronizovaných detektorů v teleskopickém uspořádání během ozařování fantomu (modelu lidské hlavy) a provádí srovnání i se

simulacemi na základě nástroje FLUKA. Na závěr jsou diskutovány výsledky a možná zlepšení, a to především kompletování referenčních dat pro detektory využití heidelberskou výzkumnou skupinou.

Student postupoval podle zadání a vycházel z dosavadního stavu řešení problematiky. Jeho přístup k realizaci práce a řešení úlohy se vyznačuje iniciativností a důsledností. Výpočty a výsledky generoval samostatně. Pravidelně a vhodně konzultoval práci se školitelem. Student použil doporučenou literaturu a dostupné zdroje a materiály (uvedeny v seznamu bibliografie). Výsledky práce budou předmětem odborného článku v mezinárodním recenzovaném časopise, který připraví a podá student jako hlavní a korespondenční autor. Část výsledků (určení délky stopy částice vč. neurčitosti) byla využita v současném článku vytvořeném školitelem (podán do NIM-A) a v článku vytvořeném skupinou v Heidelbergském centru pro výzkum rakoviny (podán do žurnálu Medical Physics).

K diplomové práci nemám připomínky.

Hodnocení práce

Diplomovou práci hodnotím jako výbornou (A). Výsledky jsou významné svou originalitou, odbornou úrovní, rozsahem i svým oborovým přesahem. Doporučuji komisi navrhnout autora k udělení titulu MSc.

V Praze 31. 8. 2020

Doc. Ing. Carlos Granja, Ph.D.
Advacam, Praha