

## Posudek vedoucího na doktorskou disertaci Ing. Vasilu Mikhaylova

### *Radiation hardness and performance of the hadron calorimeter designed for Projectile Spectator Detection in the framework of international collaboration CBM@FAIR*

Disertační práce byla vypracována na oddělení jaderné spektroskopie Ústavu jaderné fyziky AV ČR v rámci účasti naší skupiny v mezinárodní kolaboraci CBM na vývoji dopředného hadronového kalorimetru PSD pro experimenty v současné době dokončované mezinárodní výzkumné infrastruktuře FAIR u GSI Darmstadt, Německo. Tyto experimenty v rámci pilíře CBM budou zaměřené na studium velmi husté baryonové hmoty formované v srážkách relativistických těžkých jader s energií až 10 A.GeV a s velmi vysokou unikátní intenzitou svazků. Proto je budoucí experiment CBM navrhován na studium srážek s intenzitou registrace cca 10 Mhz, což by mělo umožnit získat dostatečnou statistiku pro detailní studium unikátních sond, například podivných částic nebo dileptonů, které neinteragují se chladnou baryonovou hmotou obklopující kolizní zónu a jejichž produkce a vlastnosti tak odráží vlastnosti husté a horké baryonové hmoty vznikající v kolizní zóně. Tyto sondy jsou však produkovány s velmi malým účinným průřezem. Proto kalorimetr PSD obklopující iontovod ve vzdálenosti cca 10 metrů za terčem se bude nacházet v poli silné radiace vyvolané rozptýleným svazkem, a tudíž pro všechny jeho součásti je velmi podstatná jejich radiační odolnost. PhD student Vasily Mikhaylov se proto na začátku studia zaměřil na simulační studie registrace dopředných fragmentů z jadro-jaderných srážek s použitím dostupných teoretických modelů v různých navrhovaných konfiguracích PSD detektoru. Srovnáním předpovědí modelů s dostupnými experimentálními daty o flow pak vybral model, který dává nejlepší souhlas s experimentem a s tímto modelem byly pak provedeny příslušné simulace, které byly součástí Technical design reportu o PSD. Tyto dosažené výsledky a metoda jsou popsány v deváté kapitole disertace. V těchto simulacích pak pokračovali další PhD studenti v rámci CBM a PhD student Vasily Mikhaylov se soustředil na podrobné studium radiační odolnosti komponent detektoru PSD, a to především na takzvané křemíkové fotonásobiče SiPM, nazývané také APD, které slouží k vyčítání světelného signálu s plastických scintilátorů tvořících aktivní část „compensating lead/scintillator kalorimetru“ PSD. Tato podrobná studie vlastností a radiační odolnosti SiPM tvoří jádro jeho disertace doplněné o studium radiační odolnosti samotných scintilátorů. Student provedl důkladnou studii změn vlastností SiPM od různých dodavatelů po jejich ozáření různými dávkami na neutronovém zdroji instalovaném na cyklotronu UJF a vybral jako nejvhodnější typ vyrobený výrobcem Hamamatsu. Tyto SiPM ozářené různými dávkami pak instaloval na modulu kalorimetru experimentu NA61 v CERN a také na modulu prototypu PSD instalovaném tamtéž. Základním zjištěním bylo, že navrhovaný typ SiPM dává uspokojivé výsledky až do dávky cca  $10^{11}$  neutronů předpokládané na základě výše zmíněných simulací za dva měsíce provozu experimentu CBM v kalendářním roce. Energetické rozlišení modulu se změnilo jen málo avšak nárůst šumu způsobil nemožnost detekce mionů, které se plánovalo využít při energetické kalibraci detektoru. Bude tedy nutné v budoucnu použít jiné metody kalibrace a měnit SiPM umístěné na vnitřních modulech PSD poblíž otvoru pro iontovod cca po roce. Pod vedením PhD studenta Vasilu Mikhaylova proběhla studie radiační odolnosti samotných scintilátorů využitých v PSD během studijního pobytu studentů – bakalářů z Tomské univerzity v UJF. Výsledky uvedené v disertaci včetně postupu ukazují, že světelný výtěžek scintilátorů během dvouměsíčního experimentu CBM poklesne jen málo, významný pokles o cca 20% se projeví až po deseti letech. Výsledky dosažené doktorandem a popsané v disertaci byly podstatné při vývoji a výstavbě modulů budoucího detektoru PSD a byly využity i při návrhu obdobných kalorimetrů například pro experiment BM@N v SUJV Dubna. Byly publikovány skupinou PSD@CBM v řadě publikací v referovaných časopisech, přičemž doktorand Vasily Mikhaylov je v řadě z nich hlavním a korespondujícím autorem, a jím předneseny na řadě konferencí, například iWoRiD2019 (Kolymbari, Greece), ISHEPP2018 (Dubna, Rusko), NDIP2017 (Tours, Francie), FAIRNESS2016 (Garmisch-Partenkirchen, Německo), EPS HEP2015 (Viedeň, Rakousko) a 18th Conference of Czech and Slovak Physicists (Olomouc, 2014). Disertace dále obsahuje podrobný přehled dostupných dat o radiační odolnosti SiPM a podrobnou studii o jejich použití v jaderné fyzice a ve fyzice vysokých energií. Celkově je práce a výsledky kolegy Vasilu Mikhaylova v kolaboraci CBM vysoce ceněna a další studenti na něho navazují.

K obsahu disertační práce a způsobu řešení zadané tematiky panem Ing. Vasilem Mikhaylovem nemám podstatných výhrad. Dílčí výsledky uvedené v práci byly úspěšně obhájeny na pravidelných kolaboračních pracovních setkáních v letech 2013-2020. Student je také úspěšně prezentoval jménem CBM formou ústního příspěvku na konferencích. Prokázal schopnost pracovat na skutečném experimentu a bez problémů se začlenil do mezinárodního týmu CBM. Jeho výsledků obsažených v disertační práci si velmi cení kolegové z CBM. K průběhu vypracování práce nemám větších výhrad. S výsledky dosaženými při vypracování práce jsem spokojen, a jelikož dle mého názoru práce splňuje veškeré zásadní požadavky kladené na disertační práce, navrhuji ji přijat k obhajobě.

V Řeži dne 29. března 2021

RNDr. Andrej Kugler, CSc. 