

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	Měření radiačního stínění z uhlíkových kompozitů pro ochranu elektroniky na nízké oběžné dráze Země
Jméno autora:	Dominika Labudová
Typ práce:	diplomová
Fakulta/ústav:	Fakulta elektrotechnická (FEL)
Katedra/ústav:	Katedra fyziky
Oponent práce:	Ondřej Ploc
Pracoviště oponenta práce:	Ústav jaderné fyziky AVČR, v.v.i.

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

Zadání	náročnější
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
<p>Zadání pokládám za náročnější zejména vzhledem ke komplexnosti radiačního pole na nízké orbitě Země. Jedná se totiž o směsné pole záření složené z celé řady nabitých (elektrony, protony, těžké ionty) a nenabitých částic (gamma a neutrony) ve velkém rozsahu energií a s proměnlivou intenzitou v čase a prostoru. Složitě je zejména nalezení vhodného radiačního zdroje v pozemních podmínkách, musí se kombinovat několik zdrojů záření, zajistit ozařovací čas na urychlovačích apod. Nicméně zadání umožňuje určitou volnost ve výběru zdrojů záření pro testování stínění, je formulováno jasně, návodně a svou náročností odpovídá předpokládaným znalostem a možnostem studentky. Menší výhradu mám k názvu, ve kterém schází, že se jedná o měření účinnosti radiačního stínění, protože měřit lze celou řadu parametrů. Velmi oceňuji výběr tohoto zadání pro jeho aktuálnost.</p>	

Splnění zadání	splněno
<i>Posuďte, zda předložená závěrečná práce splňuje zadání. V komentáři případně uveďte body zadání, které nebyly zcela splněny, nebo zda je práce oproti zadání rozšířena. Nebylo-li zadání zcela splněno, pokuste se posoudit závažnost, dopady a případně i příčiny jednotlivých nedostatků.</i>	
<p>Odevzdaná práce svědčí o tom, že studentka k vypracování zadání přistoupila svědomitě. V kapitole 5 popsala stínící vlastnosti materiálů pro různé druhy kosmického záření. Zmíněny jsou i těžké nabitě částice, které jsou součástí primárního galaktického kosmického záření sice v malém množství, jak je správně uvedeno, ale jejich ničivý účinek (TID) je vzhledem ke způsobené ionizaci veliký a zasloužil by více pozornosti. Nicméně chápu, že by to bylo už nad rozsahem diplomové práce a zabezpečení na konci, že se tomu chystá dále věnovat, mi stačí. Rešerše radiačních účinků na elektroniku je zpracována v kapitole 4 a i když přesně neodpovídá zadání (odolnost zmíněných jednotlivých elektronických součástek přehledně zpracována není), domnívám se, že pro účely radiačního testování stínění smysl rešerše splňuje. Vlastnosti uhlíkových kompozitů jsou popsány v kapitole 5.6. Kapitoly 6 až 9 popisují praktickou část provedených měření vlastností testovaných uhlíkových kompozitů pro různé druhy záření s využitím senzoru Timepix, návrh experimentů, jejich provedení, zpracování dat a výsledky, čím jsou splněny body 4 a 5 pokynů pro vypracování. Vzhledem k tomu, že zadání nepožaduje širší pokrytí druhů záření vyskytujícího se na LEO, předložená práce celkově zadání splňuje.</p>	

Zvolený postup řešení	vynikající
<i>Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i>	
<p>Zvolený postup řešení je vhodný a považuji jej za vynikající. Cílem práce bylo zjistit účinnost stínících materiálů (s důrazem na uhlíkové kompozitní materiály) pro různé druhy záření na LEO. Pro každý z prvků geometrie zdroj – stínění – detektor je zásadní výběr vhodného prvku, posouzení vhodnosti a možnosti jej pro experiment využít a experiment realizovat. To vše se studentce podařilo. Jako zdroje použila postupně 2 rentgenové zdroje s rozdílnými energiemi fotonového záření, dále elektrony z mikrotronu a nakonec zpracovala data z experimentu na protonovém cyklotronovém urychlovači. Celkově bylo testováno 41 různých stínících</p>	

materiálů, z nichž všechny byly ozářeny na mikrotronu, většina na rentgenových zdrojích a velká část také na cyklotronu. Jako detektor byl zvolen Timepix umožňující stanovit nejen celkový tok částic (pro srovnání toku s a bez stínění), ale také „kvalitu“ záření prostřednictvím měřené deponované energie, generování množství a typu sekundárních částic v materiálu prostřednictvím tvaru detekovaných stop v pixelovém detektoru. S výhodou také bylo využito částečného zakrytí detektoru stíněním, což považuji za dobrý nápad, neboť se tak nejlépe zajistí shodné podmínky ozařování.

Odborná úroveň

A - výborně

Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.

Studentka prokázala výbornou schopnost odborné práce. Přehledně zpracovala zadaná rešeršní témata, provedla výběr stínících materiálů včetně referenčních, navrhla vhodnou metodu měření účinnosti radiačního stínění, použila několik zdrojů záření na testování, zvolila též vhodný detektor záření se schopností zobrazovat depozice energie (Timepix), analyzovala data a provedla diskuzi a učinila ze svých měření závěr – definovala vhodné stínící materiály. Podporuji, aby výsledky byly publikovány.

Formální a jazyková úroveň, rozsah práce

B - velmi dobře

Posuďte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posuďte typografickou a jazykovou stránku.

Grafická úroveň je vynikající, angličtina je na dobré úrovni a práce se dobře čte. Přesto mám výtka ke struktuře práce, domnívám se, že už z osnovy by mělo být zřejmé, které kapitoly jsou teoretické (rešeršní) a které popisují samotnou výzkumnou práci studentky. Toho lze docílit dvěma způsoby: A. sdružením rešeršních kapitol do jednoho bloku (např. do úvodu, kde kapitoly v práci označené 2-5 by byly podkapitolami označené 1.2 – 1.5) a výzkumných kapitol do druhého bloku, nebo B. jasným názvem kapitol zvoleným tak, aby z něj bylo zřejmé, jedná-li se o rešerši nebo o výzkumnou část. Takto se v osnově vyskytují dva téměř shodné názvy kapitoly 3 (Radiation environment in LEO) a 9 (LEO radiation environment), což snižuje přehlednost práce. Nicméně popis obsahu kapitol je uveden na konci úvodní kapitoly, což tento problém částečně řeší.

Obrázky vhodně prezentují naměřená data, mám jen dvě připomínky: (1) velikost písma textu (hodnoty na osách, popisky os, nadpis, legenda) v obrázcích 8.10, 8.13, 8.14, 8.17, 8.18, 8.23, 8.24, 8.29, 8.30 jsou příliš malé, (2) boční popisky, jsou-li na obou stranách obrázku (např. Na Obr. 8.27 a 8.28) je lepší psát ve stejném směru.

S jazykovou úrovní nemám problém, myslím, že je velmi dobrá, až na několik drobných výjimek (např. na str. 16 jsou dva překlepy v nadpisu, chybné použití určitého a neurčitého členu na str. 17 dole)

Výběr zdrojů, korektnost citací

A - výborně

Vyjáďte se k aktivitě studenta při získávání a využívání studijních materiálů k řešení závěrečné práce. Charakterizujte výběr pramenů. Posuďte, zda student využil všechny relevantní zdroje. Ověřte, zda jsou všechny převzaté prvky řádně odlišeny od vlastních výsledků a úvah, zda nedošlo k porušení citační etiky a zda jsou bibliografické citace úplné a v souladu s citačními zvyklostmi a normami.

Ačkoliv v práci studentka nepoužila většinu doporučené literatury (1-3) uvedenou školitelem v Údajích k diplomové práci, celkově se s tématem dokázala výborně popasovat. Výběr pramenů považuji za vhodný a dostatečný. Převzaté obrázky jsou řádně ocitované, bibliografické citace jsou úplné a v souladu s citačními zvyklostmi. Odkazy na citovanou literaturu, je-li jich potřeba uvést více než jeden, by se formálně správně měly oddělovat čárkou a vyskytovat se v pořadí od nejnižšího čísla. V několika případech tak tomu není (např. str. 17 první odstavec [14] [12], str. 17 část 4.1 [23] [14], str. 22 nahoře [37] [14], str. 23 dole [14] [17], ...). Jedná se ovšem jen o estetickou vadu jinak pěkné práce.

Další komentáře a hodnocení

Vyjádřete se k úrovni dosažených hlavních výsledků závěrečné práce, např. k úrovni teoretických výsledků, nebo k úrovni a funkčnosti technického nebo programového vytvořeného řešení, publikačním výstupům, experimentální zručnosti apod.

Práce se zabývá aktuálním tématem, líbí se mi a budu se na ni rád odkazovat a citovat ji (pokud se ji podaří úspěšně obhájit). Aktuálně na Ústavu jaderné fyziky pomáháme řešit úkol americké firmy CSC (Cosmic Shielding Corporation) s projektem Multifunctional Shielding Polymer Demo, řešící zakázku Axiom Space pro vývoj nových skafandrů, testujeme polymerní materiály na jejich stínící vlastnosti a vyrobili jsme detektor záření pro tyto účely, který poletí na ISS v květnu. Výsledky této práce jsou proto i pro nás důležité. Budu vděčný za možnou spolupráci.

III. CELKOVÉ HODNOCENÍ, OTÁZKY K OBHAJOBĚ, NÁVRH KLASIFIKACE

Shrňte aspekty závěrečné práce, které nejvíce ovlivnily Vaše celkové hodnocení. Uveďte případné otázky, které by měl student zodpovědět při obhajobě závěrečné práce před komisí.

Předložená práce svým rozsahem, aktuálností, úrovní obsahu a zpracováním zadaných pokynů překonává většinu diplomových prací, které jsem měl možnost během své odborné kariéry vidět. Z mého pohledu se tak řadí k nadprůměrným pracím.

Otázky k obhajobě:

1. V kapitole 9 je v posledním odstavci jen velmi stručně konstatováno, že z uvedené simulace vyplývá, že přizpůsobené uhlíkové kompozity jsou nejlepšími materiály pro radiační stínění. Prosím objasněte, z čeho přesně to vyplývá a proč tím nejlepším materiálem není třeba hliník.
2. V jakých dalších zdrojích záření byste stínící materiály testovala, aby bylo směsné pole záření na LEO ještě lépe pokryto? Jmenujte druhy záření a vhodná zařízení, která je poskytují. Zaměřte se na neutrony a těžké nabitě částice a to, jakým způsobem se chovají při průchodu hmotou, jaké prvky by měl obsahovat stínící materiál pro efektivní zeslabení jejich účinku.
3. Jsou vybrané stínící materiály, které byly vyhodnoceny jako nejlepší pro stínění elektroniky, vhodné také pro stínění posádek kosmických lodí, např. jako doplnění povrchu/vnitřku kabiny nebo jejich použití při výrobě skafandru?
4. Podporuji publikování dat z diplomové práce. Máte vybraný vhodný časopis a konferenci?

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **A - výborně**.

Datum: 30.1.2023

Podpis: