

Měření zeslabení těžkých nabitých částic při průchodu materiálem pomocí detektorů stop

Martin Mrva, Marek Rost, Lukáš Záruba

15.6.2010

Abstract

Cílem našeho miniprojektu bylo se seznámit s charakteristickými rysy chování těžkých nabitých částic při průchodu materiálem. Úlohu jsme řešili pomocí detektorů stop v pevné fázi. V rámci miniprojektu jsme vyhodnotili svazkem iontů neonu ozářené detektory a získali spektra lineárního přenosu energie v závislosti na tloušťce stínění z teflonu.

1 Úvod

Záření těžkých nabitých částic je významnou složkou kosmického záření, proto se zkoumá a měří jeho podíl, a tím i vliv na zařízení a organismy ve vesmíru. Tyto poznatky se uplatňují při výrobě ochranných materiálů. Další užití získává jako nový směr při léčení rakoviny pomocí hadronové terapie, kde u nádoru, v jejichž okolí se vyskytují orgány se sníženou odolností proti zvýšené dávce záření, nahrazují standartní metody radioterapie částicemi x a gamma.

2 Teoretický základ

- Lineární přenos energie

Lokální distribuce ionizace na mikroskopické úrovni - energie, která je při zpomalování nabitě částice předávána elektronům látky:

$$LET = \frac{dE}{dx} ,$$

kde dE je energie přenesená v daném místě nabitou částicí na elektrony při jejím průchodu po dráze dx . [1]

Hodnota LET je charakteristická pro daný materiál, energii a typ procházející částice. Z její hodnoty lze vypočítat absorbovaná dávka, a tím radiační zátěž na organismus.

- Těžké ionty

Nabité částice o velikosti nukleonů, až atomových jader. Způsobují excitaci (zvýšení energetické hladiny atomu, přeskupováním elektronů v obalu na vyšší energetické úrovně) a ionizaci (odtrhávání elektronů z obalu) atomů látky, na kterou působí. Mimo jiné dochází ke srážkám iontů s jádry atomů materiálu a vzniku fragmentů.

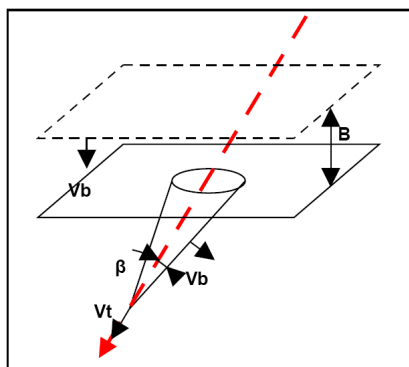
- Detektory stop

Při průchodu iontů detektorem vznikají latentní stopy, které jsou důsledkem narušení vazeb materiálu detektoru v okolí procházející částice. Detektor je po ozáření ponořen do vhodného leptacího činidla. V místech porušení dochází k rychlejšímu odleptávání, stopa se tak stává viditelnou pod optickým mikroskopem a zobrazí se na povrchu detektoru jako elipsa. Poměr rychlostí leptání mezi porušenou (v_t) a neporušenou (v_b) vrstvou je vyjádřen jako:

$$\frac{v_t}{v_b} = \sqrt{1 + \frac{(2\frac{r_{max}}{b})^2}{(1 - (\frac{r_{min}}{b})^2)^2}} ,$$

kde r_{max} je hlavní poloosa stopy, r_{min} je vedlejší poloosa a b je tloušťka odleptané vrstvy detektoru.

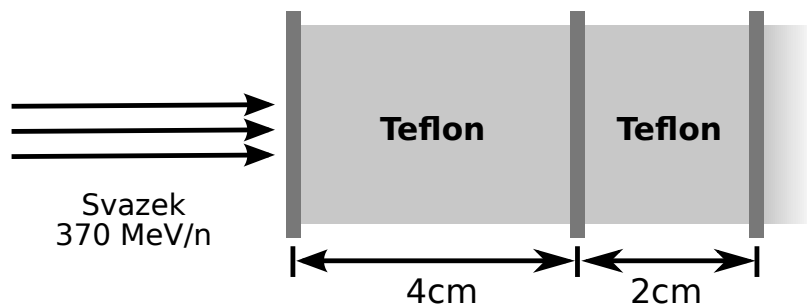
Poměr rychlostí leptání závisí na druhu a energii procházející částice, pomocí kalibrací je z něj možno určit lineární přenos energie (LET).



Obr. 2.1: Znázornění průběhu zviditelňování stopy během leptání

3 Materiály a metody

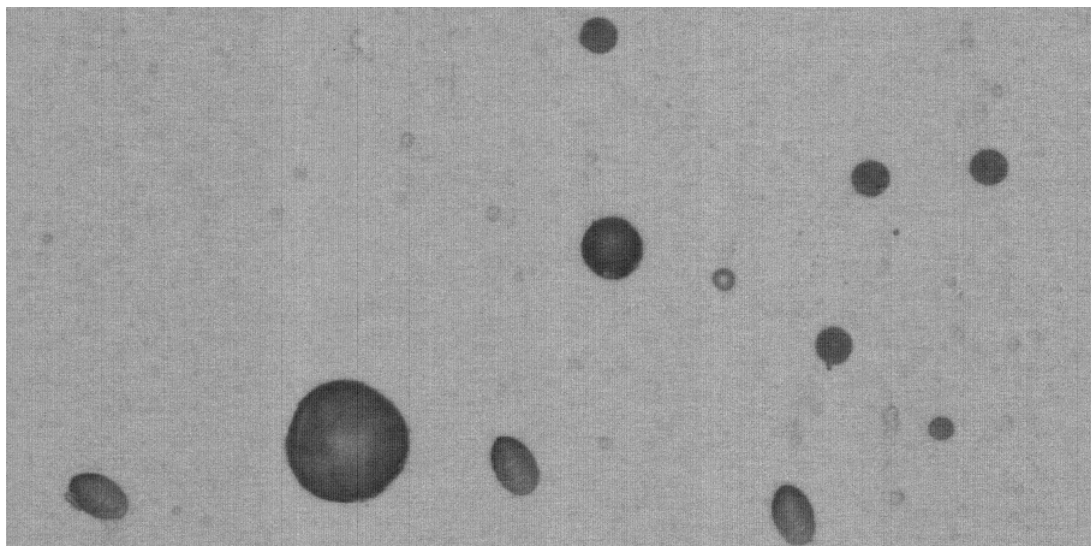
Detektory byly ozářeny na urychlovacím zařízení HIMAC v Chibe (Japonsko) monoenergetickým svazkem iontů Ne o energii 400 MeV/n. Svazek dopadal na vzorek kolmo, energie částic při dopadu byla 370 MeV/n. Ukázka uspořádání experimentu je zobrazena na obrázku 3.1.



Obr. 3.1: Uspořádání detektorů stop a stínění během experimentu.

Při experimentu byly použity detektory stop na bázi PADC (polyallyl di-glykol karbonát) s označením USF-4. Detektory byly po ozáření leptány. Leptání probíhalo 18 hodin v roztoku 5M NaOH při teplotě 70°C. K měření odleptané vrstvy detektoru bylo využito metody štěpných trosek v kombinaci s měřením mikrometrem. Odleptaná vrstva byla na každé straně detektoru 15.37 μm .

Povrch detektorů byl nasnímán optickým mikroskopem, stopy byly analyzovány pomocí programu HspFit. Ukázka povrchu jednoho z detektorů stop je na obrázku 3.2.



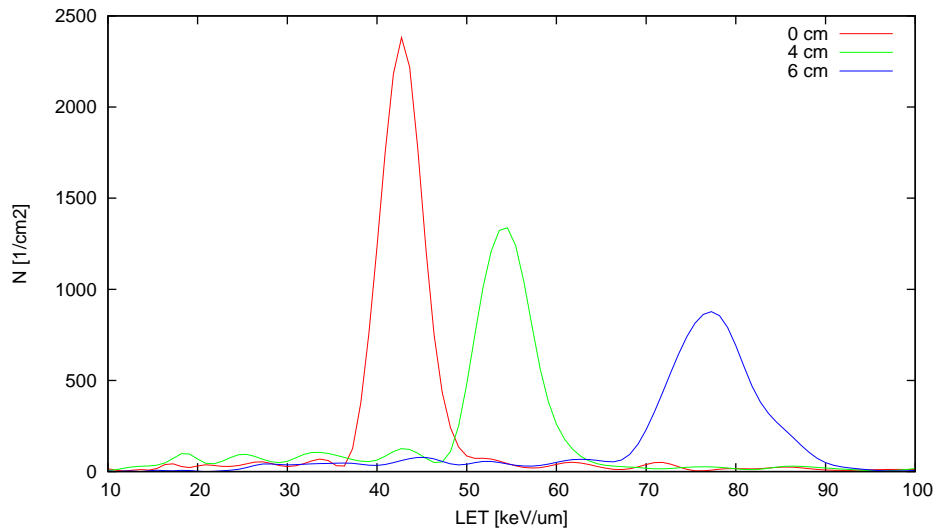
Obr. 3.2.: Stopy částic na snímku z optického mikroskopu v programu HspFit

Z naměřených parametrů stop (hlavní a vedlejší poloosy) jsme vypočetli pomocí rovnice (výše) poměr rychlostí leptání. Ten jsme poté pomocí dříve naměřených kalibračních křivek převedli na veličinu LET.

Zjednodušenou geometrii experimentu jsme se pokusili nasimulovat pomocí volně přístupného programu SRIM. Více o programu [2].

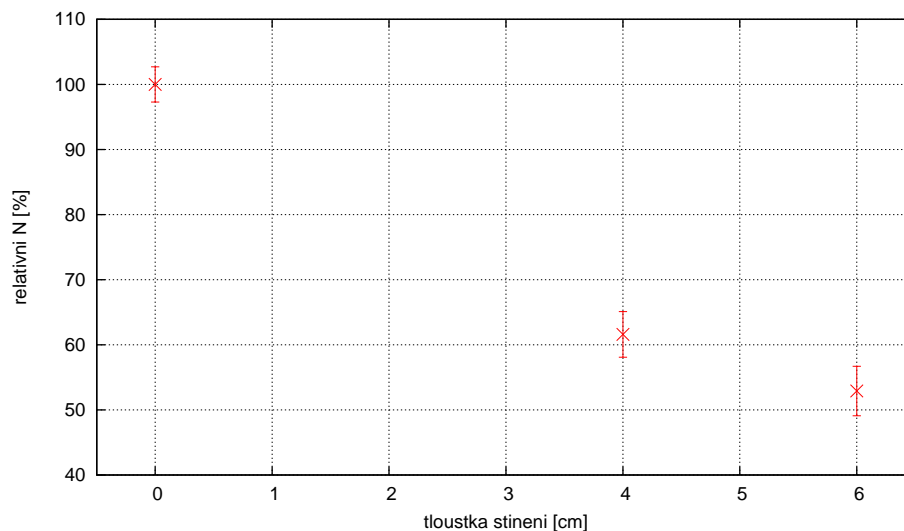
4 Výsledky

Z analýzy ploch detektorů jsme získali spektra LET v daných hloubkách stínícího teflonu. Tyto spektra jsou zobrazena na obrázku 4.1. Menší lokální maxima jsou způsobena fragmenty primárních částic, tedy částicemi s menším počtem nukleonů a tím odlišným LET. Hlavní, největší pík přísluší primárním iontům neonu. Se vzrůstající tloušťkou stínění se pík od primárních iontů Ne rozšiřuje a zároveň je patrné jeho zmenšování. Pík se postupně přesouvá k větším hodnotám lineárního přenosu energie.



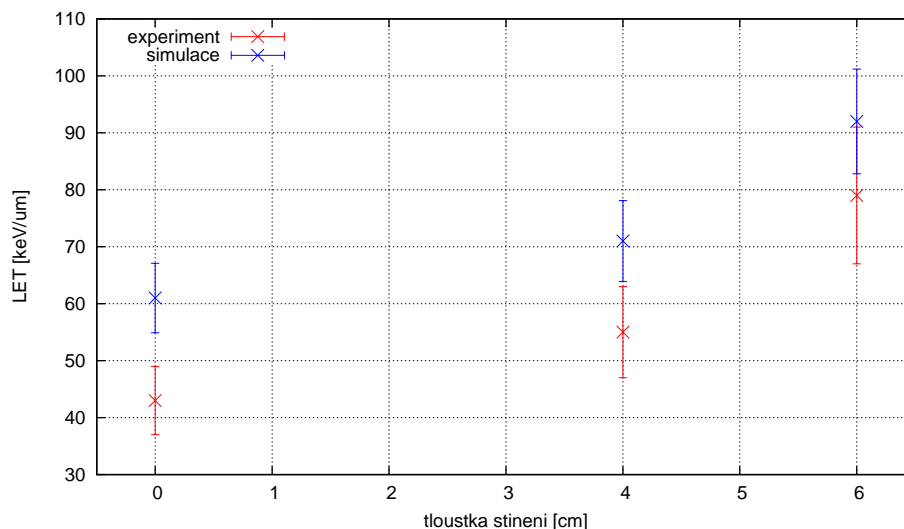
Obr. 4.1.: Naměřená spektra

Z naměřených dat jsme vypočetli plochu jednotlivých píků primárních částic. Z obrázku 4.2. je patrné, že v závislosti na rostoucí tloušťce stínění počet prošlých částic neonu klesá. V hloubce 4 cm teflonu se absorbovalo přibližně 37 % primárních iontů, na dráze 6 cm to bylo 45 % z počtu vstupujících částic. V grafu je znázorněna také statistická odchylka, která byla vypočítána z Gaussova rozdělení.



Obr. 4.2.: Zeslabení iontů Ne v závislosti na tloušťce stínění

Na posledním obrázku 4.3. je vidět závislost LET na hloubce v teflonovém stínění. Ionty se postupně zpomalují a předávají tak více energie okolním částicím materiálu. Je vidět, že zjednodušená simulace je oproti skutečnému měření nadhodnocená, protože jsou zde zanedbány některé podmínky reálného experimentu. Trend vývoje obou závislostí je ale podobný.



Obr. 4.3.: Srovnání simulace a měřených hodnot LET

5 Shrnutí

Pomocí detektorů stop v pevné fázi na bázi PADC jsme sledovali průchod těžkých nabitých částic, konkrétně iontů neonu, materiálem. Analýzou ozářených a vyleptaných detektorů jsme získali spektra lineárního přenosu energie pro tři pozice v teflonovém stínění (0, 4, 6 cm). Ze spekter bylo možné určit, že se vzrůstající tloušťkou stínění dochází k zeslabení svazku primárních iontů. Při průchodu svazku materiálem klesá energie částic a roste jejich LET.

Zjednodušenou geometrii experimentu jsme nasimulovali pomocí programu SRIM. Simulované hodnoty LET jsou oproti experimentálním mírně nadhodnoceny, trend závislosti ale zůstává zachován.

Poděkování

Chtěli bychom poděkovat našemu garantovi miniprojektu Ing. Zlatě Mrázové, Ing. Vojtěchu Svobodovi, CSc., nadačnímu fondu Teoretické fyziky ČVUT FJFI, realizačnímu týmu Týdne vědy a celé fakultě FJFI i ČVUT.

References

- [1] V. Klener a kol. *Principy a praxe radiační ochrany*. 2000.
- [2] J.F. Ziegler. *The Stopping and Range of Ions in Matter*. <http://www.srim.org/>. 2010.
- [3] K. Brabcová *Studium a vývoj použití chemicky leptaných detektorů stop pro dozimetrické účely*. 2009.