

# Měření zeslabení těžkých nabitých částic při průchodu materiálem pomocí detektorů stop

J. Pecina<sup>1</sup>, M. Šimek<sup>2</sup>, M. Zábranský<sup>3</sup>, T. Zahradník<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Gymnázium Jeseník, pecinajan.jes@gmail.com

<sup>2</sup>Gymnázium Otokara Březiny, martinsimek666@seznam.cz

<sup>3</sup>Gymnázium Litoměřická Praha, m.zabransk@seznam.cz

<sup>4</sup>Gymnázium tř. Kpt. Jaroše, tzahradnik@karneval.cz

## Abstrakt

Cílem našeho miniprojektu bylo seznámit se s interakcemi těžkých nabitých částic s materiálem pomocí detektorů stop. Zabývali jsem se vyhodnocením dat z detektorů stop v pevné fázi (na bázi PADC) ozářených svazkem kationtů Ne stíněným teflonem. Tímto jsme ověřovali závislost LET ve vodě pro částice Ne na míře stínění.

## 1 Úvod

K měření zeslabení těžkých nabitých částic při průchodu materiálem jsme v této práci použili detektory stop v pevné fázi. Tyto pasivní detektory jsou spektrometry lineárního přenosu energie a mají široké využití díky nízké pořizovací ceně, hmotnosti a snadné manipulaci při měření. Spektrum lineárního přenosu energie poskytuje informace potřebné k výpočtu dávky a dávkového ekvivalentu, které lze dále využít např. k odhadům radiační zátěže posádek kosmických stanic a pacientů při hadronové terapii.

## 2 Materiály a metody

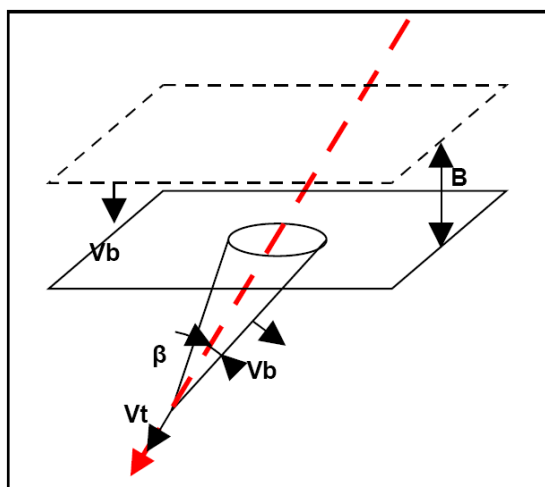
Lineární přenos energie  $L$  (označován též LET z anglického „linear energy transfer“) vyjadřuje energii, která je při zpomalování nabitě částice předávána elektronům látky.

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

kde  $dE$  je energie přenesená v daném místě nabitou částicí na elektrony při jejím průchodu po dráze  $dx$ . [1] Jeho hodnota se liší na základě typu a energie částice a je závislá na materiálu, s kterým částice interaguje. Na základě spektra lineárního přenosu energie lze vypočítat absorbovanou dávku, a tím odhadnout radiační zátěž na lidský organismus.

Při průchodu nabitě částice detektorem stop v pevné fázi dochází v důsledku poškození materiálu excitacemi a ionizacemi ke vzniku latentní stopy, která je pozorovatelná pouze pod

elektronovým mikroskopem. Zvětšením stop, např. leptáním, lze latentní stopu zviditelnit i pro mikroskopy optické. Vhodně zvolené leptací činidlo, většinou roztok NaOH nebo KOH, rozpouští místa latentních stop rychleji než okolního nepoškozeného materiálu. Vzniká tak tmavá stopa kuželovitého tvaru, příklad této stopy je uveden na obrázku 1 [2].



Obr.1: Tvorba stopy leptáním ( $v_b$  rychlost leptání nezasaženého materiálu,  $v_t$  rychlost leptání v latentní stopě)

Okraj těchto zviditelněných stop, který na povrchu detektoru tvoří elipsy nebo kruhy, je dále sledován pomocí optického mikroskopu a pomocí výpočetních programů je vyhodnocena jeho velikost (hlavní -  $r_{\max}$  a vedlejší poloosa -  $r_{\min}$ ). Z těchto údajů je pak vypočítána hlavní charakteristika stopy a to poměr leptacích rychlostí:

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

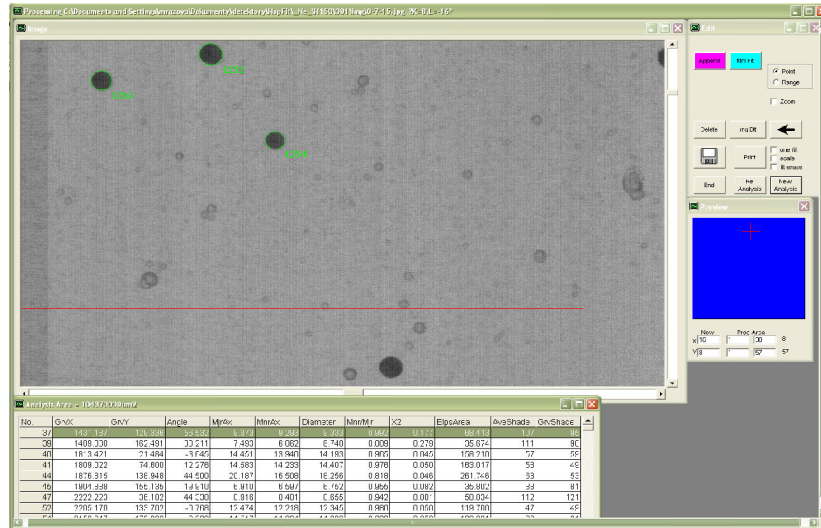
kde  $r_{\min}$  je vedlejší poloosa,  $r_{\max}$  je hlavní poloosa eliptických stop a  $b$  je odleptaná vrstva jedné strany detektoru. Odleptaná vrstva detektoru byla v našem případě zjišťována metodou štěpných trosek, kdy poloměr štěpné trosky je roven odleptané vrstvě na jedné straně detektoru.

Pomocí poměru leptacích rychlostí  $v_t/v_b$  a příslušných kalibračních křivek je možné dopočítat lineární přenos energie pro danou částici ve vodě. Z tvaru stopy na povrchu detektoru je například také možné určit úhel dopadu nabitě částice.

### 3 Výsledek

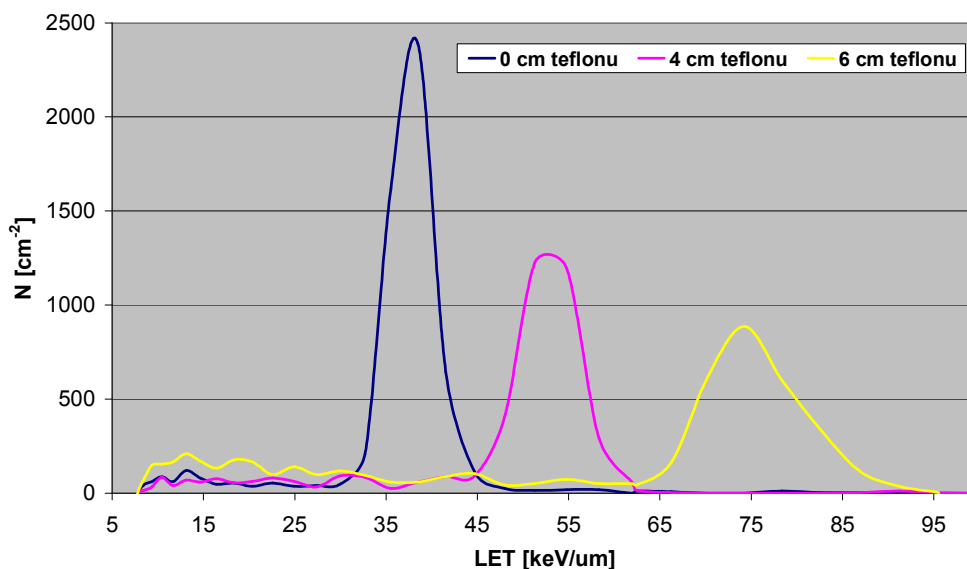
Detektory stop pevné fáze s označením USF-4 byly umístěny postupně za 0, 4 a 6 cm stínící vrstvy teflonu. Na urychlovači těžkých nabitých částic HIMAC v Japonsku byly ozářeny ionty neonu o energii 370 MeV/nukleon a lineárním přenosu energie 31 keV/ $\mu\text{m}$ , svazek primárních iontů dopadal kolmo k povrchu vzorku.

Po ozáření byly detektory leptány 5 molárním hydroxidem sodným za teploty 70°C po dobu 18 h. Povrch detektorů byl naskenován pomocí speciálního mikroskopu a v rámci této práce proběhla analýza povrchu pomocí programu HspFit, vyhodnocená plocha pro každý detektor byla asi 0,25 cm<sup>2</sup>. Na následujícím obrázku 2 je uvedena ukázka povrchu detektoru a vyhodnocovacího okna programu HspFit.



Obr. 2: Ukázka vyhodnocovacího okna programu HspFit

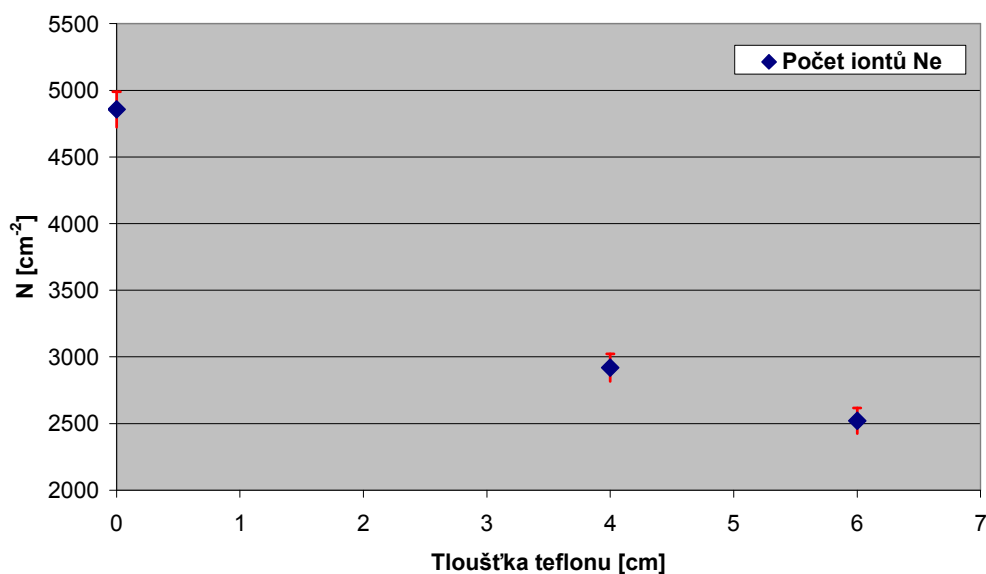
Pomocí naměřených parametrů stop a kalibračních křivek bylo sestrojeno spektrum lineárního přenosu energie pro všechny analyzované detektory. Toto spektrum můžeme pozorovat na obrázku 3.



Obr. 3: Spektrum lineárního přenosu energie v závislosti na tloušťce stínící vrstvy

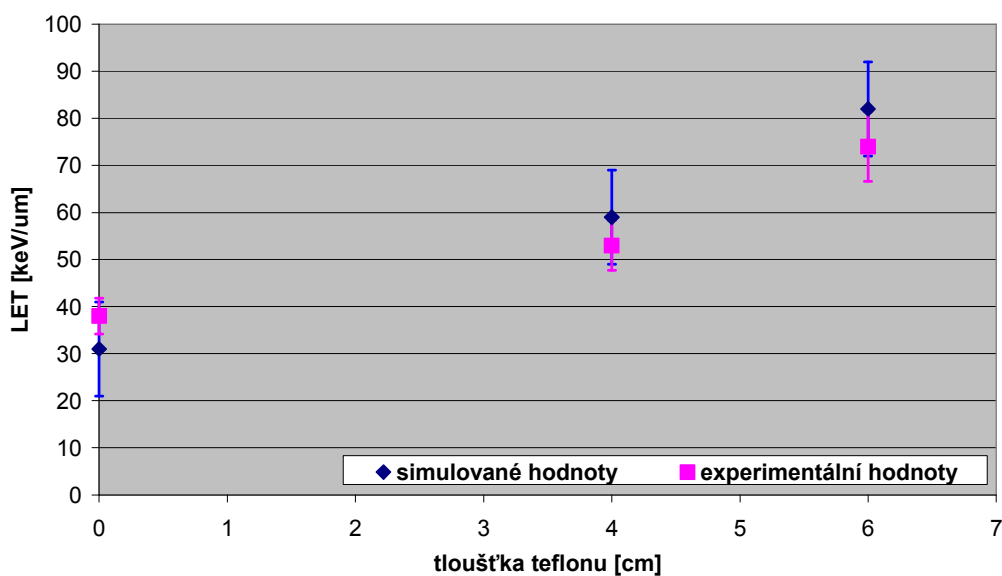
Ze spekter lineárního přenosu energie pro detektory za jednotlivými tloušťkami stínění je patrné, že s přibývajícím tloušťkou stínění dochází ke zmenšování plochy hlavního píku –

snižování počtu detekovaných primárních částic Ne (obr. 4). Dále můžeme pozorovat, že se zvětšující se tloušťkou stínícího materiálu dochází k posunu LET směrem k větším hodnotám.



Obr. 4: Zeslabení primárního svazku iontů Ne v závislosti na hloubce ve stínícím materiálu teflonu

Změna hodnoty LET v závislosti na hloubce částice ve stínění (teflonu) byla pro porovnání s experimentálními hodnotami nasimulována pomocí jednoduchého programu SRIM ([www.srim.org](http://www.srim.org)). Porovnání experimentálních a vypočítaných hodnot je znázorněno na obrázku 5.



Obr. 5: Porovnání naměřených a simulovaných hodnot LET iontů Ne v závislosti na hloubce umístění detektoru ve stínící teflonové vrstvě

Závislosti LET na hloubce Ne ve stínění pro simulované a naměřené hodnoty mají stejný charakter a v rámci nejistot se shodují.

## 4 Závěr

V rámci tohoto projektu jsme se seznámili s interakcemi těžkých nabitých částic při průchodu látkou a veličinami, který tento průchod mohou charakterizovat. Seznámili jsme se také s pasivními detektory stop v pevné fázi, s jejich vlastnostmi, způsobem detekce a vyhodnocování. Výsledky experimentálního měření ukazují, že s rostoucí tloušťkou stínícího materiálu se počet iontů primárního záření Ne snižuje a jejich lineární přenos energie roste, což bylo potvrzeno i simulací.

## Poděkování

Rádi bychom tímto poděkovali FJFI a Ing. V. Svobodovi a organizačnímu týmu za možnost účasti na Fyzikálním týdnu, Ústavu jaderné fyziky AV ČR a garantovi miniprojektu Z. Mrázové.

## Reference

- [1] V. Klener a kol.: *Principy a praxe radiační ochrana* Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2000
- [2] K. Brabcová.: *Studium a vývoj použití chemicky leptaných detektorů stop pro dozimetrické účely*, Minimum k disertační práci, 2009