

# Reengineering a ďalší rozvoj výpočtových modelov propagácie častíc

## kozmičného žiarenia v heliosfére na platforme CUDA

Ing. Martin Nguyen, Školiteľ: RNDr. Pavol Bobík, PhD.

Fakulta elektrotechniky a informatiky, Katedra počítačov a informatiky, Technická univerzita v Košiciach



### Motivácia

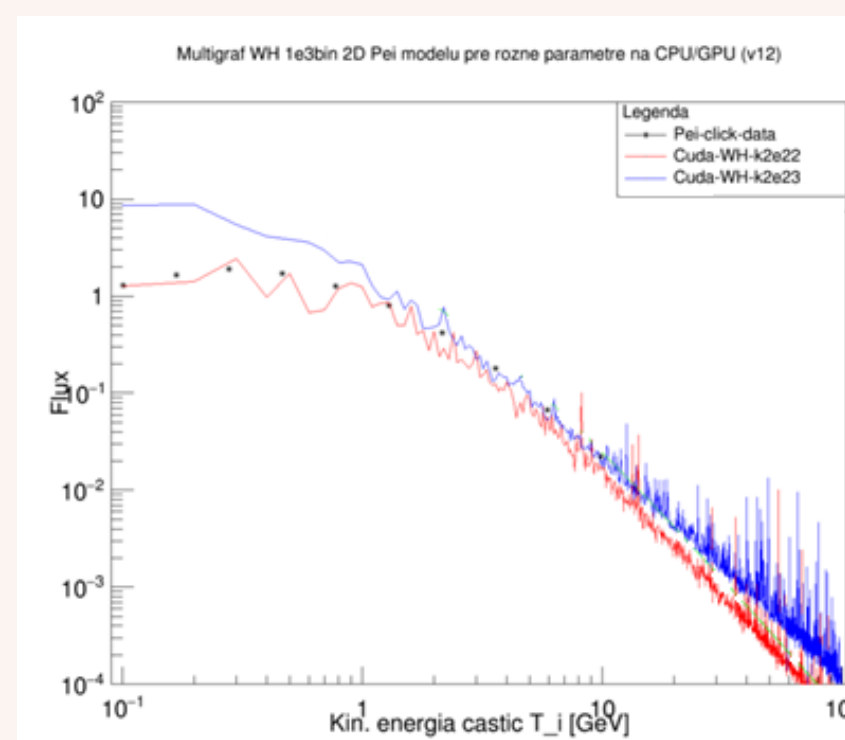
- Výskum pohybu častíc v heliosfére na Ústave experimentálnej fyziky Slovenskej akadémie vied (SAV) spočíva vo vytváraní vlastných matematických **výpočtových modelov**
- Paralelizácia výpočtových modelov v prostredí CUDA na GPU umožňuje niekoľkonásobné **zrýchlenie výpočtu**, čím je možné získať viac výskumných dát za podstatne **kratší čas**
- Existujúce modely nie sú verejne dostupné a našim cieľom je ich **sprístupniť verejnosti**

### Cieľ práce

- Implementácia paralelného 2-dimenzionálneho modelu na základe referenčných matematických výpočtov podľa Pei-ovho článku [1]
  - Správna implementácia potvrdzuje korektnosť modelov vyvíjaných na ÚEF SAV
- Vývoj samooptimalizačných a samoadaptivečných algoritmov v 1-dimenzionálnych paralelných modeloch
- Analýza chýb a ich oprava v 1-dimenzionálnych paralelných modeloch
  - Zachytenie a zadokumentovanie nedostatkov programovacieho rámca CUDA pozitívne ovplyvňuje ďalší výskum v tejto oblasti
- Implementácia pomocného nástroja pre uľahčenie práce výskumníkom a odbornej verejnosti
  - Jednoduchšia analýza výsledkov paralelných modelov

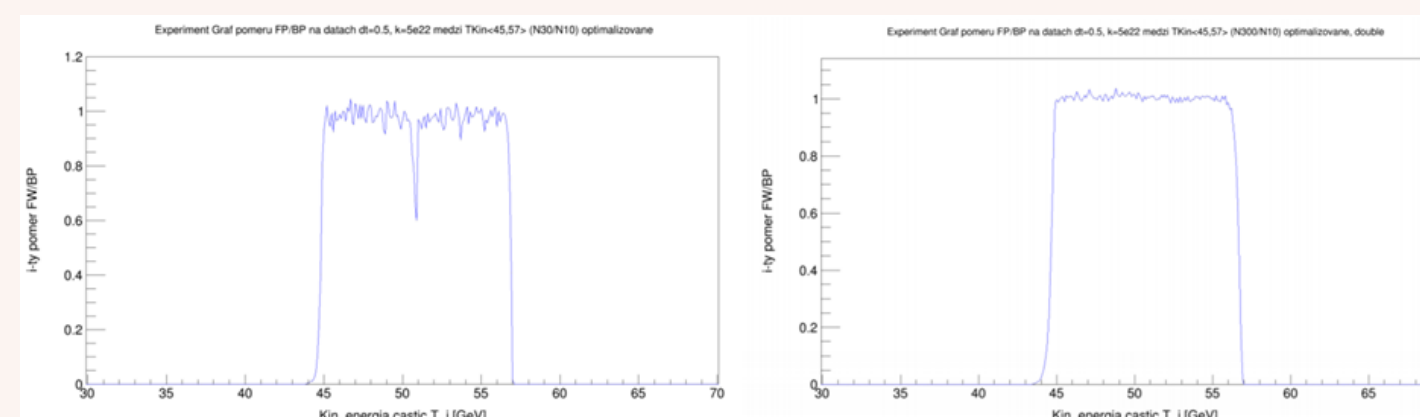
### Realizácia

- 1. časť práce - Model podľa Pei-a
  - **Priebeh:** overenie uniformnosti generovania náhodných čísel na GPU, analýza Pei-ovho článku, implementácia .cpp verzie modelu, prepis do CUDA v iteráciách
  - **Problém:** neúplná špecifikácia použitých parametrov v článku
  - **Výsledok:** CUDA model ekvivalentný CPU verzii, neúspech ekvivalencie s Pei-ovými referenčnými dátami pri použití parametrov z článku, poukázanie na možnú chybu v článku:
    - Uvádzané hodnoty difúzneho koeficientu  $K_0=2e23\text{cm}^2/\text{s}$  (modrá farba) nezodpovedajú dátam v článku
    - pri kontrole s bežne zaužívanými hodnotami difúzneho koeficientu  $K_0=2e22\text{cm}^2/\text{s}$  dostávame ekvivalentné krivky (červená farba)



**Obr. 1:** Vykreslenie hodnôt spektra, čierna - referenčné dáta z článku, modrá - výsledok 2D modelu pri použití  $K_0=2e23\text{cm}^2/\text{s}$ , červená - výsledok 2D modelu pri použití  $K_0=2e22\text{cm}^2/\text{s}$

- 2. časť práce - Spracovanie a spúšťanie výpočtov
  - **Priebeh:** analýza požiadaviek, návrh parseru, implementácia zmien, experimentálne overenie na optimalizačnom vyhodnotení
  - **Výsledok:** CLI podpora samooptimalizácie pre grid-parametre slnečného vetra V a difúzneho koeficientu  $K_0$
- 3. časť práce - Odstránenie chyby pulzácie 1-D modelu
  - **Priebeh:** definovanie 2 hypotéz a ich overovanie v iteráciách
    - Použitie optimalizačných prepínačov pri kompilácii programu - **nepreukázané**
    - Používanie premenných s jednoduchou presnosťou - **preukázané použitím "double" premenných**

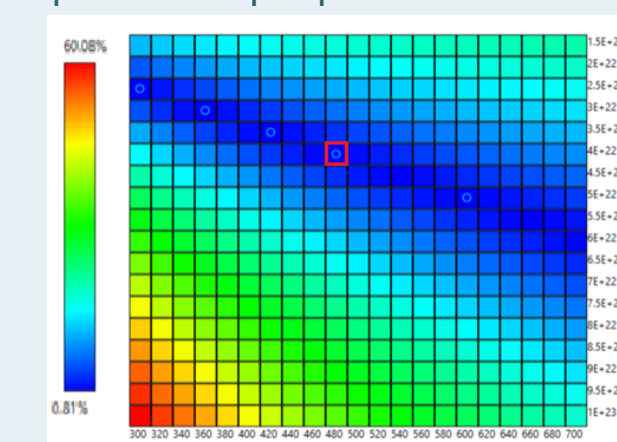


**Obr. 2:** Vľavo - pôvodný jav pulzácie pri použití "float" hodnôt, Vpravo - odstránený pulzáčný jav po použití "double" hodnôt

- 4. časť práce - Vývoj pomocného nástroja
  - **Cieľová skupina:** odborná verejnosť, výskumníci SAV
  - **Platforma:** Desktop, WPF .NET Framework
  - **Základné funkcionality:** Prezeranie online a offline výsledných dát, postprocessing dát - tvorba grafov, výpočet odchýlky, spúšťanie výpočtov z GUI, export dát do vybraného formátu (napr. JSON)

### Experimenty

- Funkčnosť a použiteľnosť jednotlivých častí práce bola experimentálne overená prostredníctvom určenia RMS chyby voči aproximovaným Force field spektrám meraných spektier z vesmírneho experimentu PAMELA [2].
  - Spúšťanie samooptimalizačných výpočtov nových modelov prostredníctvom grafického rozhrania nástroja
  - Automatické spracovanie dát nástrojom a ich vizualizácia
  - Potvrdenie správnosti prepísaného modelu



**Obr. 3:** Vizualizácia RMS chýb prostredníctvom tepelnej mapy a úspešné overenie očakávaného výsledku pre  $K=4e22$ ,  $V=480$

### Záver

- Práca poskytla výskumníkom užitočný nástroj na prácu s výstupnými súbormi výpočtov
- Boli určené príčiny chýb, ktoré zlepšia vývoj nových modelov
- Výpočtový systém bol aktualizovaný o paralelný 2D výpočtový model a ďalšie užitočné funkcionality

### Publikácie

- [1] C. Pei et al. "A general time-dependent stochastic method for solving Parkers transport equation in spherical coordinates"
- [2] Ilya G. Usoskin et al. "Heliospheric modulation of cosmic rays during the neutron monitor era: Calibration using PAMELA"