Contrib. Astron. Obs. Skalnaté Pleso **40**, 205 – 209, (2010)

Využitie výkonnej výpočtovej techniky v kozmofyzikálnom výskume

P. Bobík a I. Strhárský

Ústav experimentálnej fyziky Slovenskej akadémie vied, Watsonova 47, 040 01 Košice, Slovenská republika
(E-mail: bobik@saske.sk, strharsk@saske.sk)

Doručené: October 28, 2010; Akceptované: November 26, 2010

Abstrakt. Oddelenie kozmickej fyziky ÚEF SAV využíva vysokovýkonnú výpočtovú techniku pri kozmofyzikálnych simuláciách vo viacerých oblastiach zaoberajúcich sa časticami v okolí Zeme, v Heliosfére a v Galaxii. Spomedzi hlavných problematík možno uviesť výpočty trajektórií častíc v geomagnetickom poli Zeme, distribúcie a modulácie energetického spektra častíc v Heliosfére, urýchľovania častíc na rázových vlnách a pre simulácie interakcií častíc kozmického žiarenia s atmosférou Zeme vykonávané v rámci JEM-EUSO experimentu.

Kľúčové slová: kozmické žiarenie – kozmofyzikálne simulácie – supercomputing

1. Úvod

Mnohoročná tradícia Oddelenia kozmickej fyziky ÚEF SAV v kozmofyzikálnych simuláciách vo výsledku viedla k sériám publikácií v rámci viacerých oblastí zaoberajúcich sa časticami v okolí Zeme, v Heliosfére a v Galaxii. Spomedzi hlavných problematík má najdlhšiu tradíciu oblasť výpočtov trajektórií častíc v geomagnetickom poli Zeme. Distribúcia a modulácia energetického spektra častíc v Heliosfére a urýchľovania častíc na rázových vlnách sú ďalšie oblasti v ktorých oddelenie aktívne pôsobí. Simulácie interakcií častíc kozmického žiarenia s atmosférou Zeme vykonávané v rámci JEM-EUSO experimentu sú novou v posledných rokoch rozvíjanou problematikou.

2. Výpočty trajektórii v geomagnetickom poli

V prípade výpočtov trajektórií častíc v geomagnetickom poli Zeme ide o simulácie založené na tzv. backtracing metóde (Shea et. al., 1968) výpočtu trajektórií v modeloch geomagnetického poľa Zeme.

V článku (Kudela, Bobik, 2004) bolo určené ako sa menila priepustnosť geomagnetického poľa pre nabité častice v priebehu posledných 2000 rokov. Priepustnosť bola skúmaná pre sieť bodov rovnomerne pokrývajúcich celý povrch Zeme. Článok ukazuje zvyšovanie priepustnosti geomagnetického poľa v skúmanom období na väčšine zemského povrchu.

V článku (Bobik et. al., 2006) a v kapitole v monografii (Bobik et al., 2005) je prezentovaná simulácia rekonštruujúca merania AMS-01 experimentu. AMS-01 experiment priniesol merania veľmi presných energetických spektier kozmického žiarenia v júni 1998 (misia STS-91 ku kozmickej stanici MIR) (Alcaraz et. al, 2000). Výpočtami trajektórii častíc pre všetky polohy merania AMS-01 a všetky smery príchodov častíc registrovaných detektorom je možné rozdeliť merané spektrum kozmického žiarenia na primárnu a sekundárnu zložku. Výpočty zároveň poukazujú na vysokú presnosť modelov geomagnetického poľa (IGRF `http://www.ngdc.noaa.gov/IAGA/vmod/igrf.html` a Tsyganenko a Stern, 1996) pre nenarušenú magnetosféru.

Podobné výpočty sú mimoriadne náročné na výpočtový výkon. Výsledky prezentované v (Bobik et. al., 2006) zahŕňali rekonštrukciu 10^9 trajektórii, pričom výpočet jednej trajektórie trvá približne 1 sekundu (na 1 jadre QuadCore Intel procesora), čo súhrnne znamená približne 30 rokov výpočtového času.

3. Heliosféra

Moduláciu energetického spektra častíc a ich distribúciu v Heliosfére popisuje Fokker-Planckova rovnica (Parker, 1965). Na jej riešenie využívame stochastické metódy na báze ekvivalencie sústavy parciálnych diferenciálnych rovníc a stochastických diferenciálnych rovníc (Zhang, 1999). V článkoch (Bobik et. al., 2008) a (Bobik et. al, 2008) skúmame možný výskyt nového typu turbulencie v procese modulácie častíc kozmického žiarenia v Heliosfére pri tzv. reentrant časticiach. Reentrant častice sú častice, ktoré boli modulované v Heliosfére, unikli z nej, vrátili sa a opatovne sú modulované pôsobením iregularít magnetického poľa heliosféry a adiabatickými stratami energie v heliosfére. Príspevok týchto častíc k energetickému spektru závisí od vlastností difúzneho tenzora magnetického poľa Galaxie.

4. Experiment JEM-EUSO

JEM-EUSO experiment je zameraný na skúmanie pôvodu kozmického žiarenia ultravysokých energií (>4.1019eV). V súčasnosti je ich pôvod otvorenou otázkou, pričom, súčasná teória vylučuje ich existenciu (Greisen, 1966)(Zatsepin, 1966). JEM-EUSO detektor bude umiestnený na Medzinárodnej kozmickej stanici (ďalej ISS), na jej experimentálnom module Kibo Japonskej kozmickej agentúry JAXA od roku 2015. Detekované je žiarenie v ultrafialovej oblasti spektra produkované pri interakcii častíc ultravysokých energií s atmosférou Zeme. Umiestnenie detektora na ISS umožňuje sledovanie väčšej oblasti než monitorujú súčasné pozemné experimenty (Pierre AUGER Collaboration, 2008) a tým aj získanie dostatočnej štatistiky na určenie ich pôvodu.

Pre simulácie interakcie častíc kozmického žiarenia ultravysokých energií s atmosférou sú využívané modely Corsika (Heck, 1998) a Conex (Bergmann, 2007). Príkladom výsledku spočítaného v rámci OKF ÚEF SAV je distribúcia elektrónovej zložky sekundárneho kozmického žiarenia v hĺbke 200 g/cm2 pre oblasti pokryté letovou trajektóriou ISS. Podobné výpočty sú využité na odhad UV žiarenia produkovaného sekundárnym kozmickým žiarením stredných a vysokých energií a jeho príspevok do ÚV pozadia meraného experimentom.

5. Technická realizácia výpočtového clustera

Pri výbere technického riešenia budúceho výpočtového clustera Oddelenia kozmickej fyziky sa zvažovalo niekoľko konceptov, pričom sa posudzoval pomer cena/výkon ale aj pomer výkon/spotreba elektrickej energie. Predpokladala sa realizácia clustera s 50 procesormi s RAM 4GB na procesor a diskovým priestorom 16TB. Cluster tejto veľkosti sa dá realizovať niekoľkými spôsobmi:

– realizácia pomocou štandardných **desktop PC**:
  + dobrý pomer cena/výkon
  + bezproblémový servis
  — vysoká spotreba
  — náročné na priestor
  — komplikovaná správa

– **Blade systémy**:
  + nízka spotreba
  + kompaktné riešenie nenáročné na priestor
  + jednoduchá správa
  — pomer cena/výkon
  — drahý servis

– **Rack mount systems**:
  + dobrý pomer cena/výkon
  + kompaktné riešenie nenáročné na priestor
  + jednoduchá škálovatelnosť a budúci upgrade
  — pomer cena/výkon horší, ako pri štandardných PC

Po zvážení pozitív a negatív jednotlivých riešení bola vybraný rack mount systém.

Ďalším krokom bol výber procesora vhodného pre naše aplikácie. Súčasný trend v supercomputingu s využitím vysokého výpočtového výkonu grafických kariet (napr. CUDA systém od firmy Nvidia) nebol pre nás vhodný kvôli zložitej úprave už existujúcich knižníc a modelov, z ktorých ešte mnohé boli písané v jazyku Fortran. Na výber teda ostali len platformy firiem Intel a AMD. V dobe technického návrhu (február 2010) z hľadiska pomeru cena/výkon a samozrejme so zvážením spotreby, vyšiel najlepšie procesor AMD série Opteron 61xx. Ide o 8 a 12 jadrové procesory, pričom v jednom systéme môžu byť zapojené až 4. To znamená hustotu až 32 alebo 48 jadier v 1U rack skrinke.

Pri výbere výrobcu bola zohľadňovaná najmä cena ale aj renomovanosť. Na základe toho bola vybraná americká firma Supermicro, ktorá má vo svojom programe aj rackové systémy založené na procesoroch AMD Opteron 61xx. Výhodou je aj integrácia IPMI a remote KVM cez osobitný sieťový port už v základnej zostave. Toto umožňuje kompletnú dialkovú správu (monitorovanie prevádzkových parametrov-najmä interných teplôt a otáčok ventilátorov, zapnutie/vypnutie/reštart systému, vzdialený terminál bez externého KVM prepínača).

Výsledná vybraná a už dodaná (november 2010) konfigurácia malého výpočtového clustera pre potreby kozmofyzikálnych simulácii je nasledovná:

1. 2 výpočtových nódov Supermicro® SuperServer AS-1042G-MTF v konfigurácii:
   - 4x Opteron 6134 (2,3GHz)
   - 16GB RAM
   - 600GB SATAII HDD (WD VelociRaptor)
2. 1.2x master/disk server Supermicro® SuperServer AS-1042G-MTF v konfigurácii:
   - 1x Opteron 6134 (2,3GHz)
   - 16GB RAM
   - 4x 2TB SATAII HDD (WD RE4)
3. Sieťové komponenty:
   - 48 portový L2 manažovatelný 1GB switch s optickým uplinkom
   - 2x spínané PDU (Power Distribution Unit) s meraním spotreby každého výstupu s možnosťou vzdialeného odpojenia od napájacej siete
4. Záložné zdroje:
   - 1x 8000VA so vzdialeným managementom
   - 1x 5000VA so vzdialeným managementom
5. 1.2x 19" racková skriňa, výška 42U, hĺbka 100cm

Zhrnutie výpočtového výkonu clustera:

- Počet CPU: 48 + 2 @ 2.3GHz
- Počet jadier: 384 + 16

– RAM: 224 GB (4GB na procesor)

– Diskový priestor: 12x600GB + 8x2TB = 23,2TB

Poďakovanie. Táto publikácia bola vytvorená realizáciou projektu ITMS číslo 26220-120009, na základe podpory operačného programu Výskum a vývoj financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

Viď zoznam literatúry (References) v anglickej verzii článku.