

Súčasný stav problematiky a prínos výsledkov riešeného projektu

Viac ako 60 rokov je všeobecne známe, že slnečná koróna je zohriata na milióny stupňov zatiaľ čo povrch Slnka je skoro 1000 krát chladnejší (Grotrian 1939; Edlen 1942). Okrem toho je známe že magnetické polia hrajú hlavnú úlohu pri ohreve slnečnej koróny a že primárnym zdrojom energie pre tento ohrev sa musí nachádzať v turbulentnej konvektívnej zóne pod slnečnou fotosférou (napr. Bray a kol. 1991; Golub & Pasachoff 1998; Aschwanden 2004).

Až potiaľ existuje medzi slnečnými fyzikmi v posledných desaťročiach všeobecný konsenzus. Tento konsenzus je podporený i z hľadiska energetickej bilancie. Muller a kol. (1994) zistili že množstvo energie prítomnej vo fotosfére vo forme vhodnej pre ohrev pokojnej slnečnej koróny je približne o 2 rády väčšie ako potrebných $\sim 300 \text{ W.m}^{-2}$ (Withbroe & Noyes 1977, Aschwanden 2001). Avšak ďalšie podrobnosti sú stále veľmi nejasné. V skutočnosti nebol doteraz jednoznačne observačne overený žiaden typ fyzikálneho mechanizmu ohrevu zodpovedného za horúcu slnečnú koronálnu plazmu v jednotlivých slnečných štruktúrach.

Teoreticky bolo zistené, že interakcia magnetického poľa s konvektívnymi tokmi v/pod slnečnou fotosférou môže produkovať dva typy magnetických vzruchov v slnečných koronálnych štruktúrach (napr. Priest 1982, Walsh & Ireland 2003). Po prvé, posuny koncentrácií magnetického toku vo fotosfére granulárnym tokom generujú magnetohydrodynamické (MHD) vlnenie, ktoré sa môže šíriť smerom nahor pozdĺž magnetických silotrubíc a uvoľňovať svoju energiu v chromosfére a koróne (napr. Ofman a kol. 1998). Okrem toho, náhodné pohyby ukotvení koronálnych slučiek môže spôsobovať v koronálnych slučkách skrúcanie a zapletanie magnetických siločiar v koróne, ktoré spôsobuje pozdĺž nich elektrické toky s možnosťou ich rezistentného útlmu (napr. Parker 1972, 1983; Heyvaerts & Priest 1983; van Ballegoijen 1990). Hlavným rozdielom medzi týmito procesmi je to, že zotrvačnosť plazmy hrá rozhodujúcu úlohu pri šírení vlnenia, ale táto nie je významná pre dynamiku elektrických tokov orientovaných pozdĺž koronálnych slučiek. Preto je možné opísané typy magnetických mechanizmov ohrevu v prvom priblížení klasifikovať ako ohrev vlnením a ohrev elektrickými prúdmi.

Táto jednoduchá celková schéma bola rozšírená výsledkami viacerých teoretických snáh identifikovať jednotlivých možných kandidátov mechanizmov ohrevu (pre prehľad teórií ohrevu koróny pozri Narain & Ulmschneider 1990, 1996; Zirker 1993; Roberts 2000; Walsh & Ireland 2003; Aschwanden 2004). Doteraz bolo teoreticky navrhnutých niekoľko desiatok jednotlivých mechanizmov ohrevu.

Ako jeden z najpreferovanejších mechanizmov môžeme spomenúť zásadnú myšlienku Parkera (Parker 1983, 1988, 1994) o nanoerupciách vznikajúcich v spletených koronálnych magnetických poliach, ktorá bola nedávno rozpracovaná Priestom a kol. (2002) do komplikovanejšieho (a realistickejšieho) "tektonického" mechanizmu ohrevu. Naopak ohrev vlnením sa zdá byť preferovaný v prípade slnečných koronálnych "otvorených" magnetických štruktúr ako napr. koronálne stĺpy či koronálne diery (Ofman 2005). Niektoré ďalšie nádejné mechanizmy boli zrozumiteľne vysvetlené Walshom a Irelandom (2003) and zhrnuté Klimchukom (2006). Kvôli overeniu ktorý z nich vyhovujúco pracuje v jednotlivých koronálnych štruktúrach (aktívne oblasti, pokojná slnečná atmosféra, otvorené/uzavreté konfigurácie

poľa, supergranulárna sieť/vnútro) sú nanajvýš potrebné ďalšie porovnania predpovedí teoretických modelov a najnovších pozorovaní. Toto bolo zdôraznené i počas poslednej celosvetovej konferencie, ktorá sa uskutočnila kvôli diskusií problému ohrevu koróny (pracovné stretnutie SOHO15 “Coronal Heating”, St. Andrews, Škótsko, September 2004, pozri Cargill 2004).

Kvôli dôvodom, ktoré sú už pochopené (Judge 1999) vieme je jedinou bezpečnou cestou ako postúpiť vpred v tejto oblasti výskumu je tzv. “priame” modelovanie tohoto problému. Toto priame modelovanie obsahuje predpis zdroja energie a mechanizmu pre konverziu tejto energie na teplo spolu s odvodeným opisom odozvy koronálnej plazmy a výslednou predpoveďou emitovaného spektra s prejavami v pozorovateľných veličinách (Klimchuk 2006).

Počas posledného desaťročia bolo prezentovaných veľa nových výsledkov v tvare podrobného opisu priebehu pozorovateľných veličín ako sú čiarová emisia, dopplerovské posuny, či rozšírenie spektrálnych čiar koróny a prechodovej vrstvy (napr. Hansteen 1993, Wikstol a kol. 1997, 2000, Muller a kol. 2003, Bogdan a kol. 2003, Taroyan a kol., 2006). Tieto skupiny autorov použili rôzne 1D alebo 2D numerické (magneto) -hydrodynamické programy s rôznymi okrajovými podmienkami. Ich výsledky ukázali že je naozaj možné odlíšiť rôzne mechanizmy ohrevu keďže pozorovateľné veličiny (ich súvis) sa správajú rozdielne či dokonca opačne. Nedávno Gudiksen a Nordlund (2005) modelovali malý objem pokojnej slnečnej koróny v plnej 3D reprezentácii využívajúc potenciálovú extrapoláciu magnetického toku meraného vo fotosfére. Peter a kol. (2004) rozšírili tento prístup o syntézu emisného spektra z dát výpočtovej domény Gudiksena a Nordlunda. Všeobecné štatistické výsledky takéhoto numerického experimentu kopírujú adekvátne priestorovo priemerované pozorovateľné veličiny vznikajúce v koróne a prechodovej vrstve medzi chromosférou a korónou, napr. výsledný červený posun emisných čiar prechodovej vrstvy a dolnej koróny. Doteraz však nebolo urobené žiadne porovnanie modelovaní s vysokým priestorovým rozlíšením. Avšak takéto porovnanie predpovedí niektorých modelov s pozorovanými veličinami je možné. To je dnes tou pravou, nanajvýš potrebnou úlohou, ktorá by mala byť urobená (Cargill 2004, Klimchuk 2006).

Vesmírne projekty SoHO¹ (Domingo a kol. 1995) a TRACE² (Handy a kol. 1999) začali novú éru výskumu slnečnej koróny odhaliac nové impulzívne a vysoko dynamické javy. Predtým akceptovaná predstava, vytvorená v čase družice Skylab (Orall 1981), s korónou pozostávajúcou z koronálnych slučiek namiesto klasickej sféricky symetrickej atmosféry preloženej koronálnymi prilbicami, sa znova zmenila. Slučky ako stavebné kamene koróny zostali ale dynamické a impulzívne javy, vznikajúce na rôznych časových a priestorových škálach, dominujú nášmu dnešnému konceptu slnečnej koróny (Aschwanden 2004, Cargill 2004).

Táto zmena konceptu bola spôsobená hlavne zlepšeným priestorovým a časovým rozlíšením zobrazovacích a spektroskopických zariadení umiestnených na palube družice SoHO a na družici TRACE. V súčasnosti sme schopní pozorovať topológiu a zmeny štruktúr slnečnej koróny s priestorovým rozlíšením až 0,5 oblúkovej sekundy a

¹SoHO – Solar and Heliospheric Observatory

²TRACE – Transition Region and Coronal Explorer

časovým rozlíšením ~10 sekúnd. Okrem toho je možné zaznamenať s dostatočným pomerom signálu k šumu a spektrálnym rozlíšením i spektrálne profily mnohých emisných čiar v spektrálnej UV oblasti vznikajúcich v chromosfére, prechodovej vrstve a koróne. Tieto možnosti boli využité na riešenie problému ohrevu slnečnej koróny v prácach zaoberajúcich sa “blinkermi”, koronálnymi röntgenovými jasnými bodmi, explozívnymi javmi, dynamikou koronálnych slučiek (napr. Harrison 1997; Brkovic a Peter 2004; Doyle a kol. 2004; Teriaca a kol. 2004; Marsh a Walsh 2006; a mnoho ďalších). Nanešťastie, väčšina týchto prác sa zaoberá samostatne vonkajšou atmosférou bez jej vzťahu k dynamike fotosféry.

Významná zmena sa tiež stala na elitných pozemských slnečných ďalekohľadoch. V posledných rokoch bolo viacero technicky vyspelých slnečných ďalekohľadov vybavených adaptívnou optikou, resp. post-facto úpravou pozorovaní. Tieto zariadenia sú k dispozícii i externým pozorovateľom vďaka zabezpečeniu prostredníctvom programu OPTICON³ alebo medzinárodného času na observatóriu ENO⁴.

Tieto zariadenia boli použité i na pozorovania súvisiace s témou ohrevu koróny. Väčšina kolegov sa doteraz zaujímala hlavne o dynamiku fotosférických jasných bodov v G-páse spektra ako značkovačov koncentrácií magnetického toku vo fotosfére (Berger a kol. 1998, Nisenson a kol. 2003, de Wijn a kol. 2005) nasledujúc tak priekopnícku prácu Mullera a kol. (1994).

Avšak doteraz neboli (podľa našich vedomostí) prezentované žiadne výsledky z priameho porovnania meraní dynamiky fotosférických magnetických koncentrácií pomocou pozemských pozorovaní s vysokým priestorovým rozlíšením s variabilitou a dynamikou plazmy prechodovej vrstvy a koróny. Podobne merania vysokofrekvenčných oscilácií slučiek v aktívnych oblastiach, robené pomocou koronagrafov alebo počas úplných zatmení, boli doteraz bez podpory iných, družicových prístrojov (pozri napr. Rudawy a kol. 2004, a referencie tam uvedené). Navyše sú výsledky takýchto meraní doteraz veľmi rozporuplné.

Preto je tento návrh projektu zacielený na vyplnenie medzery medzi zvyčajne nekoordinovanými pozorovaniami prevádzanými väčšinou izolovane, raz zamerané na emisie koróny (a prechodovej oblasti) a inokedy zas zaoberajúce sa len slnečnou fotosférou. Oba typy zariadení – prístroje umiestnené na družiciach i pozemské ďalekohľady – budú použité pre koordinované pozorovacie kampane. Pre skúmanie problému ohrevu koróny predpokladáme využitie dát, ktoré sme už získali skôr, ako i napozorovanie nového komplexného, časovo i priestorovo súčasného pozorovacieho materiálu. Konkrétne, chceme sa zaoberať vzájomným súvisom medzi emisiou koróny a dynamikou fotosférických koncentrácií magnetického toku, ako i overiť observačné dôkazy existencie vysokofrekvenčných MHD vln v koronálnych slučkách.

Ciele projektu

Všeobecným cieľom projektu je potvrdiť či vylúčiť jednotlivé navrhované teoretické mechanizmy ohrevu slnečnej koróny porovnávajúc predpovede týchto mechanizmov,

³OPTICON Trans-national access programme: www.otri.iac.es/opticon/

⁴ENO – European Northern Observatory: www.iac.es/eno

získané pomocou numerického modelovania, s najlepšimi možnými pozorovaniami vykonanými súčasne pomocou družíc a pozemských ďalekohľadov. Pozorovania budú vykonané pomocou už testovaných spoločných pozorovacích programov pre prístroje na družiciach SoHO, TRACE, RHESSI⁵ spolu s pozemskými ďalekohľadmi ENO (Kanárske ostrovy, Španielsko) a na koronálne stanici Lomnický Štít (Slovensko). Merania budú koordinované tak aby bol získaný čo najlepší profit z týchto multispektrálnych pozorovaní. Niektoré zaujímavé dáta už získané pomocou iných zariadení (napr. VLA⁶) budú taktiež využité. Naša práca bude zameraná na rôzne štruktúry slnečnej koróny keďže v týchto štruktúrach môžu pracovať dominantne rôzne mechanizmy.

Projekt bude pozostávať zo štyroch rôznych častí vzhľadom na rôzne ciele záujmu. Konkrétne, plánujeme pozorovať a analyzovať dáta získané z : hraníc supergranulačnej siete v pokojnej slnečnej atmosfére, mikroerupcií v slnečných aktívnych oblastiach, zjasnení v pokojnej slnečnej koróne, a dlhých koronálnych slučiek v slnečných aktívnych oblastiach. Všetky štyri časti sú zamerané na celkový cieľ a predpokladáme i možný synergický efekt, menovite:

Slnečná supergranulačná sieť: výsledky rôznych prác ukazujú protichodné výsledky o variabilite, vlneniach a prenose energie nad hranicami supergranulačnej siete (napr. Curdt a kol. 1998, 1999; Berghmans & Clette 1999; Banerjee a kol. 2001; De Moortel a kol. 2002; Gómory a kol. 2006). Či je smer šírenia sa pozorovaných vlnení smerom hore alebo dolu bude skúmané pomocou meraní emisných spektrálnych čiar, vznikajúcich v chromosfére (napr. He I 58.4 nm), prechodovej oblasti (napr. O V 62.9 nm), a koróne (napr. Si XII 52.0 nm)⁷ pomocou meraní spektrometra CDS⁸ družice SoHO. Okrem toho budeme skúmať ktoré javy určujú smer šírenia vlnenia (napr. vývoj magnetického toku, topológia magnetického poľa, dynamika fotosférických jasných bodov) pomocou pozemských meraní v G-páse spektra. Táto otázka úzko súvisí s preferovaným mechanizmom ohrevu v takýchto štruktúrach ako ukázali Wikstol a kol. (1997, 2001). SoHO spoločný pozorovací program JOP171⁹ bude prevedený viackrát pre získanie väčšieho objemu dát na overenie predošlých rozporných výsledkov. Prístup použitý v práci Gómoryho a kol. (2006) bude rozšírený pre dlhé časové série. Smer šírenia vlnení bude urobený s využitím viacerých radov dát¹⁰.

Slnečné mikroerupcie: budeme analyzovať pozorovania družice RHESSI zamerané na dynamiku a evolúciu plazmy počas mikroerupcií v slnečných aktívnych oblastiach študujúc odozvu chromosféry na ohrev zväzkom urýchlených elektrónov alebo vedením tepla. Táto odozva bude pozorovaná pomocou pozemských pozorovaní (čiara Ca II H, čiara H alfa) a družicových pozorovaní (čiara Lyman alfa, UV kontinuum 160nm). Porovnanie pozorovacích dát s teoretickými predpoveďami pre chromosférickú evaporáciu spôsobovanú buď elektrónovým zväzkom alebo vedením pre jednotlivé mikroerupcie nám môže pomôcť lepšie porozumieť: či sú netermálne elektróny prítomné v mikroerupciách

⁵RHESSI - Reuven Ramaty High Energy Solar Spectroscopic Imager

⁶ VLA - Very Large Array

⁷Úplny zoznam UV čiar: http://www.astro.sk/~choc/open/apvv_vv2006/apvv_vv2006.html

⁸CDS - Coronal Diagnostic Spectrometer

⁹SoHO JOP 171: <http://sohowww.nascom.nasa.gov/soc/JOPs/jop171/>

¹⁰Príklad radu dát: http://www.astro.sk/~choc/open/apvv_vv2006/apvv_vv2006.html

čo by signalizovalo magnetickú rekonexiu ako pôsobiaci proces; koľko plazmy je vyvrhnuté do koróny mikroerupciami; ktorý proces (elektrónový zväzok alebo vedenie tepla z horúcej plazmy mikroerupcie) dominuje prenosu hmoty, a koľko energie je uschovanej počas mikroerupcií, ktorá by bola k dispozícii pre ohrev koróny. Plánujeme sa teda zaoberať rovnakými otázkami ako to bolo urobené pre regulárne erupcie (Veronig a Brown 2004, Veronig a kol. 2005). Tento cieľ bude dosiahnutý pomocou koordinovaných pozorovaní ďalekohľadu DOT a prístrojov EIT, CDS a MDI družice SoHO, družice TRACE a teleskopov na observatóriách Kanzelhöhe (Rakúsko) a Hvar (Chorvátsko). Prvá kampaň už bola vykonaná v júni/júli 2006¹¹.

Koronálne zjasnenia: impulzné zvýšenia koronálnej emisie v mäkkých röntgenových lúčoch a vysokoteplotných EUV spektrálnych čiarach sú pozorované už dlhší čas ako takzvané koronálne jasné body (pozri Aschwanden 2004) alebo “blinkery” (Harrison 1997). Sú tieto javy len miniatúrnymi erupciami, vznikajú v chromosfére, prechodovej vrstve alebo koróne? Pre odpoveď o smere šírenia ich energie využijeme unikátny archívny súbor dát. Tento súbor dát, získaný pomocou VLA spolu s prístrojmi CDS, EIT, a SUMER družice SoHO, bude použitý pre veľmi rozsiahly časový úsek až skoro 10 hodín (dáta z 12. júla 1996). Konkrétne, ako nóvum budú použité na určenie smeru toku energie, ktorá zvyšuje koronálnu emisiu v rádiovkej oblasti, dáta spektrometra SUMER. Toto umožní podstatne rozšíriť výsledky dosiahnuté skôr (Krucker a Benz, 2000).

Vysokofrekvenčné oscilácie slučiek: teoretické výskumy ukázali že iba vysokofrekvenčné MHD vlnenia (> 1 Hz) sú schopné významného ohrevu (napr. Porter a kol. 1994, Aschwanden 2004). Hoci bolo podniknutých viacero pokusov detekovať tieto oscilácie pomocou koronálnych zakázaných čiar vo vizuálnej oblasti slnečného spektra, výsledky sú stále protichodné (napr. Pasachoff a Landman 1984; Koutchmy a kol. 1994; Cowsik a kol. 1999; Williams a kol. 2001, 2002; Rudawy a kol. 2004). Nové merania pomocou pozemských ďalekohľadov veľmi žiadané keďže minimálne do roku 2015 nebude vypustená žiadna družica schopná takýchto meraní (Cargill 2004). Predpokladáme umiestniť a prevádzkovať na observatóriu Lomnický štít zariadenie SECIS - prístroj špeciálne zameraný na túto úlohu (Phillips a kol. 2000). Zapožičanie tohoto prístroja a spolupráca na analýze dát sú dohodnuté. Plánuje sa využiť i novú verziu tohto prístroja (Dual Rapid Imager). Koordinované pozorovania s družicovými prístrojmi sa predpokladajú už od roku 2007.

Každá časť projektu bude obsahovať nasledujúce štyri spoločné stupne: (1) pozorovanie - plánovanie, koordinovanie a vykonávanie, (využitie archívu dát); (2) spracovanie dát - redukcia, zosúladenie, a naviazanie dát; (3) analýza a porovnanie observačných výsledkov s teoretickými predpoveďami; a nakoniec (4) interpretácia, formulácia a rozšírenie výsledkov.

Originalita projektu je dvojaká. Najprv, koordinovaná kombinácia dnes dostupných družicových a pozemských pozorovaní pre overovanie mechanizmov ohrevu koróny je veľmi ojedinelá, a tak dáta, ktoré plánujeme získať a analyzovať, sú veľmi novátorské. Okrem toho, nami vypracovaný unikátny postup zosúladenia a naviazania

¹¹Stránka kampane leto 2006: http://www.astro.sk/~choc/open/06_dot/06_dot.html

dát umožňuje veľmi presnú analýzu, ktorá nebola doteraz použitá. Takéto nové dáta a inovatívny prístup k ich analýze sľubuje pokročiť v porovnávaní pozorovaní a teórie mechanizmov ohrevu koróny.

K návrhu projektu bol vypracovaný doplňujúci materiál (obrázky a webové linky) pre ilustráciu návrhu¹².

Metodológia

Metódy na dosiahnutie cieľov projektu sú opísané v skratke podľa štyroch stupňov projektu. Tieto stupne sú spoločné pre všetky štyri časti návrhu projektu:

pozorovania: plánovaný záznam dát môže byť rozdelený na tri úlohy vzhľadom na použité pozorovacie prístroje:

- 1/ družicové pozorovania na družiciach SoHO, TRACE, RHESSI (Solar-B);
- 2/ pozemské pozorovania na rôznych d'alekohľadoch na observatóriu ENO (DOT, SST, VTT, La Palma/Tenerife, Kanárske ostrovy, Španielsko) ale preferenčne na d'alekohľade DOT;
- 3/ pozemské pozorovania koróny na vlastnom zariadení pomocou koronografov s doplnkovými prístrojmi – observatórium Lomnický štít (Slovensko).

Kľúčovým miestom návrhu je koordinácia pozemných pozorovaní so spoločnými pozorovacími programami pre družicové prístroje.

spracovanie dát: najlepšie získané dáta budú redukované pomocou softvéru IDL a špeciálne vyvinutého balíka SolarSoft využívajúc zariadenia ktoré sú k dispozícii na našom ústave. Precízne zosúladenie obrázkov a spektrálnych dát bude urobené pomocou našich vlastných programov a pomocou špeciálne získaných dát zo všetkých použitých prístrojov.

analýza a porovnanie pozorovaní a predpovedí: použité budú nasledujúce postupy: tomografia slnečnej atmosféry, určovanie spektrálnych charakteristík, korelácie, vlnková analýza, inverzia spektrálnych profilov čiar, extrapolácia fotosférických magnetogramov, atď.. Niektoré z týchto postupov už boli použité našou skupinou (napr. Gómory a kol., 2006; Tomasz a kol. 2004; Rybák a kol. 2004a, 2004b, 2004c). Táto práca bude vykonaná v spolupráci s kolegami zo zahraničia z :

- Sterrenkundig Instituut, Universiteit Utrecht, Utrecht, (Holandsko) (SIU);
- IGAM/Institute for Physics, University of Graz, Graz, Rakúsko;
- Max-Planck-Institute for Solar System Research, Katlenburg-Lindau, Nemecko
- School of Mathematics, University of St Andrews, St Andrews, V. Británia;
- Institute of Astronomy, ETH Zentrum, Zurich, Švajčiarsko;
- Hvar Observatory, Faculty of Geodesy, University Zagreb, Zagreb, Chorvátsko;
- Astronomical Institute, University of Wroclaw, Wroclaw, Poľsko.

formulácia a rozšírenie výsledkov: výsledky pozorovaní a porovnaní pozorovaní a predpovedí budú prezentované na celosvetových konferenciách a v referovaných astrofyzikálnych časopisoch v spolupráci s kolegami zo spomínaných ústavov. Verejnosť bude informovaná prostredníctvom populárneho astronomického

¹²Doplňujúci materiál návrhu projektu: www.astro.sk/~choc/open/apvv_vv2006/apvv_vv2006.html

časopisu pre astronómov-amatétov, verejných prednášok a zvláštnej web stránky.

Profesionálna kvalita výskumného tímu, jeho riadenie a infraštruktúra

Výskumný tím projektu zahŕňa dvoch samostatných vedeckých pracovníkov pracujúcich v oblasti slnečnej fyziky viac ako 20 rokov, troch mladších kolegov tesne po/pred onhadjobou PhD, inžiniera-elektronika, a pozorovateľov. Predpokladáme jeho rozšírenie o diplomantov a doktorandov počas doby riešenia projektu.

Profesionálne schopnosti starších členov tímu sú na vysokej medzinárodnej úrovni o čom svedčia i:

- pozemské pozorovania s vysokých rozlíšením (viac ako 15 pozorovacích kampaní na ďalekohľadoch VTT, DOT, SST na observatóriu ENO, La Palma/Tenerife, Kanárske ostrovy, Španielsko);
- plánovanie a prevedenie družicových pozorovacích kampaní na družiciach SoHO a TRACE (viacero opakovaní "SoHO joint operation program" JOP078 a JOP171);
- manažment kooperatívnych pozorovacích kampaní využívajúc ako pozemské tak aj družicové prístroje (napr. JOP 185 SoHO+TRACE kampaň);
- skúsenosti s redukciou a spracovaním dát;
- interpretácia a prezentácia výsledkov (114 a 75 NASA ADS bibliografických záznamov)¹³.

Mladší kolegovia – členovia tímu boli školení v posledných rokoch profitujúc zo získanej podpory EÚ zúčastniac sa:

- 3 medzinárodných škôl o slnečnej fyzike
- 4 pozorovacích kampaní prostredníctvom "Research Training Network" (ESMN-2 projekt)
- pobytov na renomovaných inštitútoch venujúcich sa slnečnej fyzike prostredníctvom "Marie Curie Actions" EÚ (JK - 3 mesiace na IAC, La Laguna, Španielsko, 24 mesiacov na SIU, Utrecht, Holandsko, PG – 10 mesiacov na SIU, Utrecht, Holandsko, a 6 mesiacov na AIP, Potsdam, Nemecko).

Tím už publikoval spolu práce na témy dynamiky fotosféry, vlnení v slnečnej supergranulárnej sieti, ako i pozemských a družicových prístrojov, ktoré sú veľmi blízke zameraniu tohoto projektu.

Inžinier bude mať na starosti technickú podporu pozorovaní observatóriu Lomnický Štít a pozorovatelia zas prevádzkanie týchto pozorovaní. Všetci majú viac ako 10 ročnú prax v týchto činnostiach.

Koordinácia výskumu bude organizovaná vzhľadom na skúsenosti a záujmy jednotlivých členov tímu. Menovite:

- J. Rybák – manažment projektu, plánovanie a koordinácia pozemských a družicových kampaní, zosúladenie získaných dát, interpretácia;
- Kučera – redukcia dát, analýza fotosférických spektier a obrázkov; interpretácia;

¹³NASA ADS biblio záznam J. Rybáka: www.astro.sk/~choc/open/apvv_vv2006/apvv_vv2006.html

- P. Gómory – redukcia a analýza pozorovaní spektrálnych čiar v UV a vizuálnej oblasti spektra;
- J. Koza – slnečná tomografia a inverzia fotosférických spektier;
- O. Štrbák – dynamika fotosférických jasných bodov ;
- J. Ambroz – technická podpora pozorovaní na observatóriu Lomnický Štít.

Keďže tím projektu je orientovaný hlavne na pozorovania bude pokračované v spolupráci na interpretácii pozorovaní s kolegami z vyššie spomínaných ústavov.

Astronomický ústav Slovenskej akadémie vied (AsÚ SAV) vlastní infraštruktúru potrebnú pre dosiahnutie cieľov projektu vrátane počítačov, IDL viacúčelovej licencie, inštalácie balíka SolarSoft, literatúry, internetu. AsÚ SAV má výhradný prístup k observatóriu Lomnický Štít – vysokohorskému observatóriu vybavenému koronografmi s prídavnými prístrojmi. Tím bude aplikovať na získanie verejne dostupného pozorovacieho času na prístrojoch družice SoHO a na satelite TRACE opakujúc svoje pozorovacie kampane JOP171 and JOP185. Pozorovania na observatóriu ENO budú uskutočnené v spolupráci so zahraničnými partnermi. Ako základ plánujeme žiadať o bezplatný pozorovací čas (projekt OPTICON). Okrem toho, predpokladáme zakúpenie 28 pozorovacích dní na ďalekohľade DOT (SIU, Utrecht, Holandsko) za mimoriadne výhodnú cenu na základe doterajšej spolupráce medzi SIU a AsÚ SAV.

Výsledky a dopady projektu

Výsledky a očakávané výstupy projektu môžeme kvantifikovať dvoma spôsobmi. Najprv, môžeme očakávať dáta získané z pozorovacích kampaní s kooperujúcimi pozemskými a družicovými prístrojmi. Ďalekohľady na observatóriu ENO sa nachádzajú na jednom z najlepších miest na svete takže tu je najvyššia pravdepodobnosť pre úspešné spoločné pozorovanie spolu s družicovými prístrojmi. Družicové prístroje na družiciach SoHO, TRACE a RHESSI pracujú pravidelne za nominálnych pomienok počas celého roka bez výraznejších problémov. Zabezpečenie ich ovládanie je plánované počas celej doby trvania projektu. Úspešné pozorovania na na observatóriu Lomnický Štít je možné očakávať taktiež, hlavne v jeseni. Toto zariadenie je úplne k dispozícii projektu. Okrem toho, vďaka veľmi komplexným dátam očakávame, že pozorovacie dáta bude možné použiť pre viacero vedeckých prác na tému ohrevu slnečnej koróny zaslaných do referovaných časopisov (napr. Astronomy & Astrophysics, Solar Physics). Výsledky budú prezentované i na prestížnych konferenciách a pracovných stretnutiach (napr. SoHO prac. stretnutia).

Interakcia medzi výskumom a vzdelávaním

Samostatní vedeckí pracovníci zainteresovaní do projektu prednášajú pravidelne prednášky a praktiká o slnečnej fyzike a astronomických prístrojoch na Fakulte prírodných vied Univerzity P.J. Šafárika v Košiciach a vedú tam diplomové práce. Skúsenosti a dáta, získané počas projektu, budú použité počas týchto prednášok a praktik a pri vedení diplomových prác. Materiál bude taktiež použitý pre program doktorandského štúdia v slnečnej fyzike, ktorý prebieha na AsÚ SAV v spolupráci s Fakultou matematiky, fyziky a informatiky Univerzity Komenského v Bratislave. Pozorovací materiál a výsledky budú prezentované na prednáškach pre verejnosť – návštevníkov AsÚ SAV (desiatky ročne). Samostatná web stránka projektu bude

taktiež vytvorená. Populárne články o projekte budú zaslané do slovenských populárno-vedeckých časopisov Kozmos a Quark.

Literatúra:

- Aschwanden, M., 2004, "Physics of the Solar Corona: An Introduction", Springer, Berlin
- Aschwanden, M., Schrijver, C., Alexander, D., 2001, ApJ 550, 1036
- Banerjee, D., O'Shea, E., Doyle, J. G., & Goossens, M. 2001, A&A 371, 1137
- Berger, T., Loftdahl, M., Shine, R., Title, A., 1998, ApJ 495, 973
- Berghmans D. & Clette F., 1999, Solar Physics 186, 207
- Bogdan, T. J.; Carlsson, M.; Hansteen, V. H.; McMurry, A. a kol., 2003, ApJ599, 626
- Bray, R., Cram, L., Durrant, C., Laoughhead, R., 1991, "Plasma loops in the solar corona", Cambridge University Press, Cambridge
- Brkovic, A., Peter, H., 2004, A&A 422, 709
- Cargill, P., in Proceeding of the SOHO15 workshop – Coronal Heating, eds. R.W.Walsh, J. Ireland, D. Danesy, B. Fleck, ESA SP-575, ESA, ESTEC, Noordwijk
- Cowsik, R. Sigh, J., Saxena A. a kol., 1999, Solar Physics 188, 89
- Curd, W. & Heinzel, P., 1998, ApJ 503, L95
- Curd, W., Heinzel, P., Schmidt, W., a kol., 1999, in Magnetic Fields & Solar Processes, ed. A.Wilson, ESA SP - 448, ESA, ESTEC, Noordwijk, 177
- de Moortel, I, Hood, A., Ireland, J, Walsh, R., 2002, Solar Physics 209, 61
- de Wijn, A., Rutten, R., Haverkamp, E., Sutterlin, P., 2005, A&A 441, 1183
- Domingo, V., Fleck, B., Poland, A., 1995, Solar Physics 162, 1
- Doyle, J., Madjarska, M., Dzifcakova, E., Dammasch, I, 2004, Solar Physics 221, 51
- Edden, B., 1942, Zs. Ap. 22, 30
- Golub, L.; Pasachoff, J., 1997, "The solar corona", Cambridge University Press
- Gomory, P., Rybak, J., Kucera, A., Curdt, W., Wohl, H., 2006, A&A 448, 1169
- Grotian, W., 1939, Naturwissenschaften 27, 214
- Gudiksen, B. & Nordlund, A., 2005, ApJ 618, 1020
- Handy, B. and 47 coauthors, 1999, Solar Physics 187, 229
- Hansteen, V., 1993, ApJ 402, 741
- Harrison R., 1997, Solar Physics 175, 467
- Heyvaerts, J. & Priest, E., 1983, A&A117, 220
- Judge, P., McIntosh, S., 1999, Solar Physics 190, 331
- Klimchuk, J., 2006, Solar Physics 234, 41
- Koutchmy, S., Belmahdi, M., Coulter, R. a kol., 1994, A&A 281, 249
- Krucker, S. & Benz, A., 2000, Solar Physics 191, 341
- Marsh, M. S.; Walsh, R. W., 2006, ApJ 643, 540
- Muller, R., Roudier, T., igneau, J., Auffret, H., 1994, A&A 283, 232
- Muller, D. A. N.; Hansteen, V. H.; Peter, H., 2003, A&A 411, 605
- Narain, U. & Ulmschneider, P., 1990, Space Science Reviews 54, 377
- Narain, U.; Ulmschneider, P., 1996, Space Science Reviews 75, 453
- Nisenson, P., Ballegooijen, A., de Wijn, A., Sutterlin, P., 2003, ApJ 587, 458
- Ofman, L., 2005, Space Science Reviews 120, 67
- Ofman, L., Klimchuk, J., Davila, J, 1998, ApJ 493, 474
- Oral, F.Q., (editor), 1981, 'Solar Active regions', Colorado Associate University Press, Boulder
- Parker, E., 1972, J. Plasma Phys. 9, 49
- Parker, E., 1983, ApJ 264, 642
- Parker, E., 1988, ApJ 330, 474
- Parker, E., 1994, "Spontaneous current sheets in magnetic fields: with applications to stellar x-rays", Oxford University Press, Oxford
- Pasachoff, J. & Landman, D., 1984, Solar Physics 90, 325
- Peter, H., Gudiksen, B. & Nordlund, A., 2004, ApJ 617, L85
- Phillips, K., Read, P., Gallagher, P. a kol., 2000, Solar Physics 193, 259
- Porter, L., Klimchuk, J., Sturrock, P., 1994, ApJ 435, 482
- Priest, 1982, "Solar magnetohydrodynamics", Kluwer, Dordrecht
- Priest, E., Heyvaerts, J., Title, A., 2002, ApJ 576, 533
- Roberts, B., 2000, Solar Physics 193, 139-152

Rudawy, P., Phillips, K., Gallagher, P. a kol., 2004, A&A 416, 1179
 Rybak, J., Kucera, A., Curdt, W., Wohl, H., 2004a, in Proceeding of the SOHO15 workshop – Coronal Heating, eds. R.W. Walsh, J. Ireland, D. Danesy, B. Fleck, ESA SP-575, ESA, ESTEC, Noordwijk, 529-534
 Rybak, J. Kucera, A., Curdt, W., Wohl, H., 2004b, in Proceeding of the SOHO13 workshop, ed. H.Lacoste, ESA SP-547, ESTEC, Noordwijk, 311
 Rybak, J. Wohl, H., Kucera, A., Hanslmeier, A., Steiner, O., 2004c, A&A 420, 1141
 Teriaca, L.; Banerjee, D.; Falchi, A.; Doyle, J. G. a kol., 2004, A&A 427, 1065
 Tomasz, F., Rybak, J., Kucera, A., Curdt, W., Wohl, H., 2004, Hvar Observatory Bulletin 29, 75
 Taroyan, Y., Bradshaw, S., Doyle, J., 2006, A&A 446, 315
 van Ballegooijen, A., 1986, ApJ 311, 101
 Walsh, R. W.; Ireland, J., 2003, Astronomy and Astrophysics Review 12, 1
 Veronig, A. & Brown J., 2004, ApJ 603, L117
 Veronig, A. & Brown J., Dennis, B., Schwartz, B.R., a kol., 2005, ApJ 621, 482
 Wikstol, O., Hansteen, V. H., Carlsson, M., Judge, P. G., 1997, ApJ 531, 1150
 Wikstol, O., Judge, Philip G., Hansteen, V., 2000, ApJ 483, 972
 Williams, D., Phillips, K., Rudawy, P. a kol., 2001, MNRAS 326, 428
 Williams, D., Mathioudakis, M., Gallagher, P. a kol., 2002, MNRAS 336, 747
 Withbroe, G. & Noyes, R., 1977, Annual Review of Astronomy and Astrophysics 15, 363
 Zirker, J., 1993, Solar Physics 148, 43

Zoznam doporučovanych hodnotiteľov:

- Prof. Ing. Karel Kudela, DrSc., Ústav experimentálnej fyziky, Slovenská akadémia vied, Watsonova 47, 04001 Košice, email: kkudela@kosice.upjs.sk
- Prof. RNDr. Marian Karlický, DrSc., Astronomický ústav, Akademie ved ČR, Fričova 298, CZ -25165 Ondřejov, Česká republika, email: karlicky@asu.cas.cz
- Dr. Bojan Vrsnjak, Hvar Observatory, Faculty of Geodesy, Zagreb university, HR-10000 Zagreb, Chorvátsko, email: bvrsnak@geof.hr
- Dr. Janusz Sylvester, Space Research Centre, Polish Academy of Sciences, 51-622, Kopernika 11, Wrocław, Poľsko, email: js@cbk.pan.wroc.pl
- Dr. Reiner Hammer, Kiepenheuer Institute for Solar Physics, Schöneckstr. 6, D-79104 Freiburg, Nemecko, email: hammer@kis.uni-freiburg.de