

Hinode – důležité poznatky ve výzkumu Slunce

Jana Žďárská

Fyzikální ústav AV ČR, Na Slovance 2, 182 21 Praha 8; zdarskaj@fzu.cz

Ve dnech 19. až 23. září 2022 proběhla v Praze mezinárodní konference o výzkumu Slunce Hinode-15 / IRIS-12. Toto setkání poskytlo živé fórum pro diskusi o nejnovějších pokrocích a nových vědeckých poznatcích ve zkoumání Slunce prostřednictvím vesmírných družic Hinode¹, IRIS² a také dalších přístrojů. Český výzkum na této konferenci byl široce reprezentován zejména zástupci Slunečního oddělení Astronomického ústavu AV ČR, ale i zástupci univerzit.

Slunce je jako naše nejbližší hvězda v hledáčku astronomů a astrofyziků již více než čtyři staletí. Jedním z prvních Evropanů, kteří Slunce pozorovali, byl toskánský astronom, filosof a fyzik Galileo Galilei, který dalekohledem pozoroval a zakreslil sluneční skvrny na jeho povrchu. V současné době se do výzkumu Slunce významnou měrou zapojují také čeští vědečtí pracovníci Slunečního oddělení Astronomického ústavu AV, kteří studují Slunce jak z hlediska aktivních, tak i relativně klidných procesů v jeho atmosféře. Na observatoři v Ondřejově tak probíhá pozorování Slunce v optickém i rádiovém oboru elektromagnetického záření a tato pozorování jsou doplněna v rámci mezinárodní spolupráce daty z družic, které poskytují informace o slunečním záření v ultrafialové, rentgenové a gama oblasti spektra. Profesor Petr Heinzl, sluneční astrofyzik ze Skupiny fyziky slunečních erupcí a protuberancí z Astronomického ústavu AV, který se zabývá studiem sluneční atmosféry, k tomu dodává: „Jeden náš americký kolega kdysi řekl, že ve skutečnosti toho na Slunci mnoho nového není, avšak je tam mnoho věcí známých, které ignorujeme. Chtěl tím prostě říci, že desetiletí pozorujeme na Slun-



Obr. 2 Konference Hinode-15 / IRIS-12 byla primárně věnována čtyřem zásadním tématům, týkajícím se výzkumu Slunce.

ci stejné struktury a jevy, kterým však stále dost dobře nerozumíme. Situace se ještě dále komplikuje tím, že v posledních desetiletích se výrazně zvýšilo prostorové i časové rozlišení jak pozemních, tak i kosmických pozorování, což bylo na konferenci jasně dokumento-



Obr. 1 Konference Hinode-15 / IRIS-12 byla již sedmá společná konference v pořadí, zaměřená na tyto satelity.

váno. Pozorované struktury vidíme ve velkém detailu, na úrovni několika desítek km a jejich vývoj jsme schopni detekovat na subsekundových časových škálách. Ke Slunci se přiblížila sonda ESA Solar Orbiter a hned prvá pozorování v EUV oblasti ukázala na velmi malé, ale jasné záblesky v koróně, které vědci nazvali „táborové ohně“. Je to jako když na velké ploše zapálíte mnoho ohniček. Nyní se diskutuje o jejich významu pro ohřev koróny, což je stále jeden z těch nepochopitelných problémů. Kromě prezentace nových pozorování s velmi vysokým rozlišením jsme však na konferenci slyšeli i řadu přednášek, kde autoři buď využívali moderní metody počítačového učení (machine learning), nebo prostě významně pokročili v analýze nových dat použitím sofistikovaných inverzních metod. Máme-li pozorované spektrum (včetně polarizace), vhodné inverzní metody nám umožní získat informaci, jak se s hloubkou v atmosféře mění fyzikální parametry



Obr. 3 Informace, které se vědci průběžně dozvídají z těchto sond zkoumajících Slunce – tedy sondy Hinode a IRIS –, byly zásadním tématem odborných přednášek této konference.

plazmatu a také třeba magnetického pole. Mě osobně zaujala prezentace výsledků inverze spekter erupce, což vzbudilo velkou diskusi. Nakonec jsme se také dozvěděli o nových přístrojích na pozorování Slunce, zejména o japonském satelitu Solar-C, kde bude širokopásmový spektrograf od UV až do infra oboru, dále satelit NASA nazvaný MUSE, což bude mnohošetrbinový UV spektrograf. Největší pozemní sluneční dalekohled DKIST o průměru 4 m již začíná na Havaji pravidelně pozorovat. A tak ten shora uvedený citát již tolik neplatí – na Slunci vidíme stále více a více nových detailů, i když je pravda, že třeba sluneční skvrny známe již velmi dlouho. A pokud jde o druhou část citátu, konference ukázala neustálou snahu o lepší pochopení jevů na Slunci, a to s využitím zcela nových numerických metod.“

Naši předkové uctívali Slunce často i jako boha. Fascinovalo je a bylo pro ně nejen základním zdrojem světla a tepla, ale vlastně i zdrojem života jako takového. Od té doby již víme o Slunci mnohem víc a jeho intenzivní výzkum neustále probíhá. Jsme si vědomi nebezpečí, která může přinést našemu zdraví, ale i energetické a telekomunikační soustavě naší Země, a rádi bychom je dokázali předvídat. Mnoho nových poznatků vědcům přinesly sluneční kosmické sondy tím, že poskytly pohledy na Slunce v zemskou atmosférou zapovězených oblastech elektromagnetického záření, s nečekaným rozlišením a dlouhodobým



Obr. 4 Při plánování této konference se uvažovalo o dvou lokacích a rozhodovalo se mezi Českem a Švýcarskem. Finální výběr jistě potěšil všechny milovníky dobrého piva.

pokrytím v nezměněných pozorovacích podmínkách. Dr. Jan Jurčák, hlavní organizátor konference Hinode-15 / IRIS-12 vysvětluje: „Výzkum Slunce je velmi důležitý. Fyzikální projevy sluneční aktivity – tedy především sluneční erupce – způsobují vyvržení slunečního plazmatu. Kvůli tomu by mohlo dojít k poškození důležité infrastruktury na Zemi, jako jsou vysokonapěťové rozvody, letecká doprava nebo GPS satelity. Vědci v současné době dokážou tyto projevy sledovat, ale bohužel je nedokážeme předpovídat a ani nedokážeme určit, kudy se plazma bude v meziplanetárním prostoru pohybovat. Víme, že nejintenzivnější erupce a následný oblak plazmatu dosáhne Zemi za jeden den, ty méně intenzivní za 2 až 3 dny. Oblak plazmatu vyvržený při erupci ze Slunce a letící směrem k Zemi dokážeme poměrně dobře sledovat, ale až později rozpoznáme, jak je magnetické pole v mraku orientované a zda nám na Zemi uškodí, nebo ne.“

Předpovídat aktivní oblasti na Slunci i ostatní efekty jeho aktivity je velmi důležité. Na portálu Evropské kosmické agentury jsou průběžně zveřejňována data a důležité informace, týkající se tzv. kosmického počasí¹, které jsou určeny pro ochranu před jeho

¹ Termín, jímž se označují různé jevy ve vesmíru (polární záře, sluneční erupce atd.), které ovlivňují dění na Zemi nebo ve Sluneční soustavě.



Obr. 5 Mnoho nových poznatků vědcům přinesly sluneční kosmické sondy tím, že poskytly pohledy na Slunce v zemskou atmosférou zapovězených oblastech.



Obr. 6 Konferenci zorganizoval Astronomický ústav AV ČR spolu s Jihočeskou univerzitou, Univerzitou Jana Evangelisty Purkyně, Vratislavskou univerzitou, Strategií AV21 – Vesmír pro lidstvo, hvězdárnou Planetum a také agenturami ESA, NASA a JAXA.

vlivy. Na přípravě těchto dat se podílí i sluneční patrola Astronomického ústavu AV ČR v rámci projektu SWESNET. Díky tomu mohou například energetické závody rozpojit rozvody elektrické sítě či řízení letového provozu může změnit dráhy letadel. Tyto informace si na webu ESA může najít kdokoli: <https://swe.ssa.esa.int/current-space-weather>.

Konferenci Hinode-15 / IRIS-12 (v pořadí již sedmou společnou konferenci zaměřenou na tyto satelity) zorganizoval Astronomický ústav AV ČR spolu s Jihočeskou univerzitou, Univerzitou Jana Evangelisty Purkyně, Vratislavskou univerzitou, Strategií AV21 – Vesmír pro lidstvo, hvězdárnou Planetum a také agenturami ESA, NASA a JAXA. Konference byla prioritně zaměřena na představení vědeckých cílů misí Hinode a IRIS. Hlavním organizátorem konference byl sluneční astrofyzik a vedoucí Slunečního oddělení Astronomického ústavu AV dr. Jan Jurčák. Při plánování této konference se uvažovalo o dvou lokacích a rozhodovalo se mezi Českem a Švýcarskem. Nakonec vědecká komise vybrala v prosinci 2021 jako místo konání konference Prahu, a tím bylo odstartováno devět měsíců příprav a intenzivní práce při její organizaci. „Za důležitý výsledek konference považuji mimo jiné i možnost dostat vědce po covidové pauze na jedno místo a umožnit jim opětovnou osobní dis-



Obr. 7 Netradiční pohled na ruch konference přes okénka raketoplánu Atlantis, instalovaného v Planetum Praha.

kusi, která nám tolik chyběla. Konference byla několikadenní a každý den probíhaly přibližně tři hodiny intenzivních diskusí nad společnými tématy. Zorganizování této konference, a navíc v Praze, umožnilo vysokou účast českých vědců a zúčastnit se mohli i studenti. Došlo také ke zviditelnění a ocenění české vědecké komunity a navázání nových, důležitých kontaktů,“ připomíná Jan Jurčák.

Konference Hinode-15 / IRIS-12 byla primárně věnována čtyřem zásadním tématům, a to výzkumu povrchového magnetického pole a jeho interakce s konvekcí, otázkám (ne)stability magnetizované atmosféry a zdrojům a vývoji energetických nebo eruptivních událostí, třetím nosným tématem bylo sledování toku hmoty a energie mezi fotosférou, chromosférou a korónou Slunce a zaostřeno bylo i na základní procesy probíhající na Slunci – tedy na vlny a turbulence, magnetické přepojování, urychlování částic a iontové neutrální interakce.

Informace, které se vědci průběžně dozvídají z těchto sond zkoumajících Slunce – tedy sondy Hinode a IRIS, byly zásadním tématem odborných přednášek



Obr. 8 Hlavním organizátorem konference byl sluneční astrofyzik a vedoucí Slunečního oddělení Astronomického ústavu AV ČR dr. Jan Jurčák.

této konference. Sonda Hinode měří především sílu a směr magnetického pole Slunce na slunečním povrchu a ve fotosféře. Se svou hmotností cca 900 kilogramů nese tři vědecké přístroje. Prvním z nich je Solar Optical Telescope, první velký optický dalekohled ve vesmíru určený k pozorování Slunce. Dalším přístrojem na palubě Hinode je rentgenový dalekohled, který poskytuje koronální snímky při různých teplotách. A dalším přístrojem je EUV Imaging Spectrometer (zobrazovací spektrometr pro extrémní UV oblast spektra) – tedy přístroj určený k měření toků horkého plynu až na úroveň jednoho kilometru za sekundu. Hinode zkoumá magnetická pole Slunce, aby nám pomohla pochopit, co pohání sluneční atmosféru a sluneční erupce. V kombinaci se dvěma dalšími přístroji je mise navržena tak, aby prozkoumala příčiny erupcí ve sluneční atmosféře a vědecky propojila informace o erupcích s intenzivním ohřevem koróny a mechanismy, které řídí neustálý odliv sluneční hmoty – tzv. sluneční vítr.

IRIS je malá průzkumná mise NASA, která využívá UV zobrazovací spektrograf s vysokým rozlišením k výzkumu zdrojů ohřevu sluneční atmosféry. Pozoro-

vání IRIS se zaměřují na chromosféru a přechodovou oblast Slunce, komplexní oblast rozhraní mezi fotosférou a korónou. IRIS vyplňuje zásadní mezeru v naší schopnosti pokročit ve studiích spojení Slunce–Země sledováním toku energie a plazmatu těmito vrstvami sluneční atmosféry.

Do slunečního výzkumu se od roku 2017 – také díky příspěvku ondřejovských astronomů k jejímu rozvoji a provozu – zapojuje i observatoř ALMA². „*Jak napovídá i podtitulek této konference – „Multi-messenger physics of the solar atmosphere“ – moderní přístup ve sluneční fyzice využívá data z několika spektrálních oborů pořízená díky simultánnímu pozorování více přístroji, protože jediné tak jsme schopni dosáhnout co nejkompaktnějšího obrazu a tím i pochopení daných jevů. Interferometrická observatoř ALMA pracující v oboru milimetrových vln do této mozaiky přispívá především svojí unikátní schopností určit ví-*

ceměně přímou metodou teplotní strukturu objektu pozorovaného na Slunci, a to s poměrně vysokým prostorovým rozlišením. Ve spolupráci s kolegy jsme toho využili pro získání detailní teplotní mapy protuberance, která byla koordinovaně pozorována současně observatoří ALMA, palubními přístroji na družici IRIS a pozemními dalekohledy v čáře Ha. Určení teplotní mapy protuberance je totiž jinak obtížný úkol s nejednoznačným výsledkem. Na konferenci jsem prezentoval obecnou použitelnost této nové nezávislé metodiky a zejména technická úskalí při zpracování kombinovaných dat z observatoře ALMA,“ uvedl ke svému příspěvku dr. Miroslav Bárta.

Výzkum Slunce je z hlediska celkového poznávání vesmíru velmi důležitý. A to nejenom proto, že my lidé jsme na Slunci z hlediska života naprosto závislí. Tento výzkum by nám mohl přinést také odpovědi na zásadní otázky v oblasti výzkumu exoplanet a zatím neznámých planetárních systémů – a tím i odpovědi na otázky, zdali a kde by mohl ve vesmíru existovat život.

2 M. Bárta, J. Žďárská: Čeští vědci v observatoři ALMA. Čs. čas. fyz. 69, 458–461 (2019).



Mgr. Jan Jurčák, Ph.D., (*1978) je v současnosti vedoucím Slunečního oddělení Astronomického ústavu Akademie věd ČR v Ondřejově. S astronomií začínal v Planetáriu Ostrava, kde před studiem fyziky na MFF Univerzity Karlovy v Praze krátce působil jako demonstrátor (průvodce noční oblohou). Po ukončení doktorského studia odjel na dvouletý pracovní pobyt do Národní astronomické observatoře v Japonsku (2006–2008). Jeho pobyt v Japonsku korespondoval s vypuštěním nové družice Hinode. Analýzou dat pozorovaných spektropolarimetrem slunečního optického dalekohledu umístěného na palubě sondy Hinode se dlouhodobě zabývá. Využívá je zejména ke zkoumání vlastností magnetického pole ve slunečních skvrnách v nejnižších vrstvách sluneční atmosféry. Jan Jurčák je také zodpovědný za účast České republiky v projektu Evropského slunečního dalekohledu (EST). EST je projekt čtyřmetrového slunečního dalekohledu, který bude postaven na Kanárských ostrovech a česká účast v projektu je podporována Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy ČR v rámci cestovní mapy velkých výzkumných infrastruktur ČR.



Prof. RNDr. Petr Heinzl, DrSc., (*1950) je astrofyzik se specializací na výzkum atmosfér Slunce a hvězd a aktivních procesů, které v nich probíhají. Jako absolvent Matematicko-fyzikální fakulty Karlovy univerzity (MFF UK) pracuje od roku 1976 v Astronomickém ústavu AV ČR (ASU). Zpočátku se zabýval spolu s prof. I. Hubeným teorií rozptylu záření ve spektrálních čarách, což vedlo ke vzniku řady významných prací. Jeho zájem se dále orientoval na výzkum slunečních erupcí, protuberancí a obecně na nerovnovážnou teorii přenosu záření a zářivou (magneto) hydrodynamiku. V poslední době se věnuje i výzkumu erupcí na hvězdách. Je autorem několika set vědeckých prací, které dosáhly velkého množství citací. Prof. P. Heinzl přednáší teorii hvězdných atmosfér na MFF UK, kde také vyškolil několik doktorandů. Působil i na mnoha ústavech a univerzitách v zahraničí, v současnosti je zapojen do projektu centra excelence na univerzitě ve Vratislavi. Byl dlouholetým vedoucím oddělení sluneční fyziky na ASU a v letech 2004 až 2012 byl ředitelem ústavu. V současné době je předsedou České astronomické společnosti.



RNDr. Miroslav Bárta, Ph.D., (*1973), astrofyzik pracující v Astronomickém ústavu AV ČR v Ondřejově, momentálně na pozici zástupce ředitele pro vědeckou činnost. Vystudoval MFF UK v Praze, kde nyní i externě přednáší kurzy zaměřené na radioastronomii a pokročilé partie sluneční fyziky. Postdoktorský pobyt strávil v Ústavu Maxe Plancka pro výzkum Sluneční soustavy v Lindau v Německu (2008–2011). Zabývá se výzkumem sluneční aktivity – zejména milimetrovou interferometrií s observatoří ALMA a numerickým modelováním plazmových procesů ve slunečních erupcích a jejich diagnostikou s pomocí radiových pozorování. V rámci evropského ALMA Regional Center (EU ARC, jeden ze sedmi uzlů této sítě funguje jako Výzkumná infrastruktura EU ARC.CZ na ASU v Ondřejově) působí jako celoevropský koordinátor vědeckého využití observatoře ALMA pro výzkum Slunce. V letech 2014–2017 se v rámci mezinárodního Solar ALMA Development Teamu podílel na vývoji specifického režimu pozorování pro výzkum Slunce a od roku 2022 vede návazný mezinárodní projekt, jehož cílem je podstatně zvýšení prostorového rozlišení u slunečních interferometrických pozorování s observatoří ALMA.