

INTEGRAL míří do vesmíru

René Hudec

17. října 2002 vynese ruská raketa Proton z kosmodromu Bajkonur do vesmíru čtyřtunovou družici Evropské kosmické agentury ESA INTEGRAL. Jde o první vědeckou družici ESA s oficiální českou účastí. Jejím cílem je komplexní vědecký výzkum v oblasti astrofyziky vysokých energií.

Dohoda mezi Českou republikou a Evropskou agenturou pro kosmický výzkum ESA (European Space Agency), uzavřená v listopadu 1996, umožnila poprvé v historii oficiální účast českých vědeckých týmů na projektech této organizace. V roce 1999 byla tato účast ještě posílena přistoupením České republiky k programu ESA PRODEX.

INTEGRAL patří mezi první družicové vědecké projekty ESA, na nichž se ČR účastní. Kromě Polska a Ruska (to ale má na starosti pouze vynesení satelitu na oběžnou dráhu) jsme jedinou z postkomunistických zemí, které byly k projektu přizvány a aktivně se ho účastní. INTEGRAL je zkratka International Gamma Ray Laboratory (Mezinárodní laboratoř pro gama astronomii) a jde o klíčový evropský astrofyzikální družicový projekt pro počátek nového tisíciletí, součást dlouhodobého programu HORIZON2000. Podílejí se na něm desítky renomovaných vědeckých pracovišť západní Evropy a jsou do něj vkládány velké naděje a značná očekávání.

Na projektu INTEGRAL se kromě několika dalších oblastí účastníme zejména na palubním experimentu OMC a na práci a přípravě mezinárodního střediska projektu ISDC.

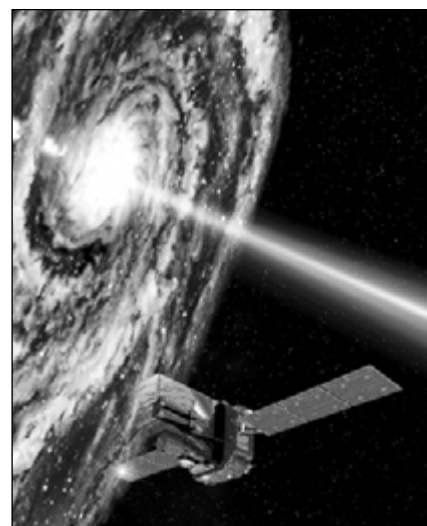


Oběžná dráha družice INTEGRAL

Družice by podle současných plánů měla být vypuštěna na oběžnou dráhu kolem Země 17. října 2002.

Jak jsme se do projektu dostali

V sedmdesátých a osmdesátých letech existovalo na Astronomickém ústavu Akademie věd ČR v Ondřejově velké oddělení pro kosmický výzkum, řešící především úkoly programu INTERKOSMOS. K prioritám této skupiny patřil výzkum kosmických zdrojů – především Slunce – v oblasti vysokých energií, zejména v rentgenovém záření. I když bylo po řadu let těžiště těchto prací v oblasti sluneční astrofyziky, přinesl autor tohoto článku v roce 1975 na pracoviště tehdy teprve poměrně mladou, ale bouřlivě se rozvíjející tematiku astrofyziky vysokých energií neslunečních zdrojů. Po rozpadu programu INTERKOSMOS v roce 1989 a zániku oddělení pokračovala jedna z následnických skupin v pracích právě v tomto oboru. Těžištěm práce skupiny se stala pozorování kosmických zdrojů vysokých energií v optickém oboru spektra v návaznosti na družicové projekty, včetně vývoje některých nových experimentů. Toto zaměření vyšlo zejména z tehdejších podmínek a možností – finanční podmínky a neexistence smluv o spolupráci neumožňovaly přímou účast na západních kosmických experimentech, ale také zkušeností. Tak jsme měli možnost účasti na zahraničních družicových projektech bez potřeby velkých finančních vydání, a přitom jsme dokázali najít oblast, která kosmické experimenty vhodně doplňovala a podporovala. A jak ukázal až další vývoj vědního oboru, předvíдали jsme již tehdy to,



co bylo teprve později prokázáno, konkrétně možnost studia zábleskových zdrojů záření gama též ze zemského povrchu, v optické oblasti spektra. Aktivně jsme se tak zapojili např. do prací a pozorování americké Compton Gamma Ray Observatory i do některých dalších kosmických projektů. Již tehdy šlo o širokou týmovou práci, intenzivní výměnu dat a spolupráci s řadou zahraničních týmů. Získali jsme si přitom dobré jméno a řadu kontaktů, a to vše vedlo k našemu přizvání k projektu INTEGRAL záhy po jeho zahájení a ještě před podepsáním dohody s ESA. To byl první a nezbytný předpoklad naší účasti, a také tu bylo dobré načasování. Je třeba si totiž uvědomit, že rozsáhlé kosmické projekty ESA většinou trvají okolo 15 let – od zahájení studií a vývojových prací až po ukončení aktivní práce družice a archivaci dat – avšak reálně vstoupit do nich lze jen na samém počátku.

Na projektu INTEGRAL se v České republice podílí řada kolegů z několika pracovišť (zejména ASÚ AV ČR v Ondřejově, FEL ČVUT v Praze a PřF MU v Brně) a v poslední době se stále více zapojují i studenti MFF UK v Praze. Koordinátorem prací této České skupiny projektu INTEGRAL je skupina Astrofyziky vysokých energií Astronomického ústavu AV ČR v Ondřejově.

RNDr. René Hudec, CSc. (*1951)

Vystudoval astronomii a astrofyziku na MFF UK v Praze. V Astronomickém ústavu AV ČR v Ondřejově se zabývá otázkami astrofyziky vysokých energií.

(E-mail: rhudec@asu.cas.cz)

INTEGRAL – vědecké cíle

Cíle projektu úzce souvisejí s očekávanou přesnou spektroskopií, zobrazováním a astrometrií zdrojů gama emise. Spektroskopie s vysokým rozlišením přes celý energetický rozsah družice totiž umožní unikátní identifikaci spektrálních jevů a následné studie fyzikálních procesů odehrávající se v oblastech zdrojů. Zejména půjde o analýzy založené na interpretaci naměřených čárových profilů. Zobrazení s vysokým rozlišením přes velké zorné pole zase umožní poměrně přesnou astrometrii zdrojů záření a tedy jejich identifikaci s objekty známými z jiných spektrálních oborů. Usnadní také rozlišení bodových a plošných zdrojů.

V oblasti energií 15 keV až 10 MeV, tedy hlavním oboru práce družice INTEGRAL, se stávají významnými procesy formování spektrálních čar, jako jsou nukleární excitace, radioaktivita, anihilace pozitronů, cyklotronová emise a absorpce. Nasvědčuje tomu řada dosavadních observačních výsledků i teoretických prací.

Unikátní informace je pro astrofyziky zakódována zejména v čárovém posuvu, v šířce a profilu spektrální čáry. Podrobné studie těchto jevů ovšem vyžadují vysoké rozlišení řádu $E/\Delta E$ alespoň 500. To je v dosahu germaniového spektrometru INTEGRALu. V minulosti používané spektrometry s nižším rozlišením (například experimenty OSSE a COMPTEL na americké družici Compton GRO nebo SIGMA na sovětském Granatu) tyto spektrální para-

metry určovat neumožňovaly. Americká družice HEAO pracující v letech 1979–1980 sice měla potřebné spektrální rozlišení, avšak při citlivosti stonásobně nižší než INTEGRAL.

Vědecké oblasti a cíle projektu INTEGRAL zahrnují výzkum kompaktních objektů (bílých trpaslíků, neutronových hvězd, černých děr), výzkum tvorby prvků ve hvězdách (zejména supernovy a novy), dále výzkum Galaktické struktury a centra, studium částicových procesů a akcelerací a výzkum transrelativistické párové plazmy. INTEGRAL nepomine ani řadu oblastí extragalaktické astrofyziky – bude zkoumat i blízké galaxie, aktivní galaktická jádra AGN, kupy galaxií a difuzní pozadí. Cenný by mohl být příspěvek k výzkumu zábleskových zdrojů záření gama, k identifikaci vysokoenergetických zdrojů a ke studiu neidentifikovaných zdrojů gama emise.

Družice a nosná raketa

Družice INTEGRAL sestává ze servisního modulu (takzvaný *bus*), který obsahuje veškeré subsystemy družice, a z nákladového modulu s užitečným zatížením, tedy vědeckými palubními přístroji. Servisní modul je identický pro obě poslední astrofyzikální družice ESA, totiž XMM Newton a INTEGRAL, což zásadním způsobem snížilo finanční nároky na vývoj a stavbu družice. Hlavním požadavkem při vývoji přitom byl i požadavek na maximální jednoduchost rozhraní mezi oběma moduly.



Družice INTEGRAL při vibračních testech

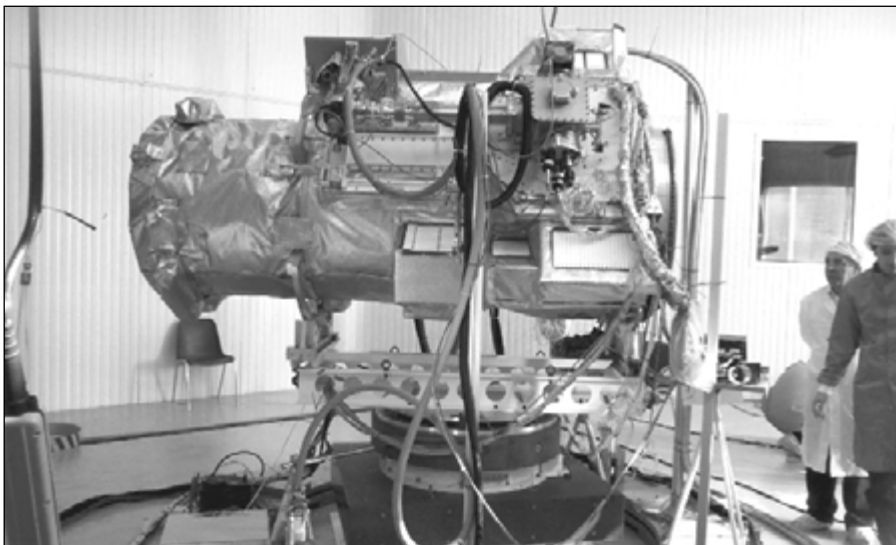
Celková hmota družice při startu bude asi 4 tuny. Start je předpokládán 17. října 2002 na geosynchronní vysoce excentrickou oběžnou dráhu s oběžnou dobou 72 hodin s vysokým perigeem i apogeem (10 000–153 000 km), která je nezbytná k zajištění dlouhých nerušených pozorování nad radiačními pásy. Podle původních předpokladů by družici měla vynést ruská raketa PROTON, což bude představovat ruský příspěvek do projektu. S ohledem na vleklé problémy s ruským partnerem však odborníci ESA vypracovali i alternativní variantu se startem evropským nosičem Ariane 5 na poněkud odlišnou dráhu s periodou 48 hodin a apogeem-perigeem 114 000–7000 km. Tato dráha je poněkud méně výhodná s ohledem na delší přestávky (asi o 5 procent) ve vědeckých měřeních, které se předpokládají při vzdálenostech družice od zemského povrchu převyšujících 40 000 km s ohledem na kontaminaci radiací.

INTEGRAL - palubní přístroje

Spektrometr SPI

Spektrometr SPI (SPectrometer on INTEGRAL) je přístroj pro spektrální analýzu bodových a plošných zdrojů gama emise v oboru 20 keV – 8 MeV s energetickým rozlišením 2 keV na 1 MeV. Jde o soubor 19 hexagonálních velmi čistých germaniových detektorů chlazených Stirlingovým chladicím systémem na teplotu 85 K.

Pro zobrazování velkých oblastí na



Letový exemplář spektrometru SPI

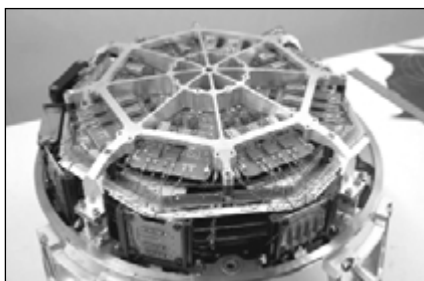


Letový modul přístroje IBIS

obloze (se zorným polem 16 stupňů a rozlišením 2 stupňů) je 1,7 m před detekční rovinou umístěna hexagonální aperturní maska. Antikoincidenční systém chrání zařízení před pozadovým zářením. Na přístroji se podílí 11 ústavů z Francie, Německa, Španělska, Belgie, Velké Británie a USA.

Gama teleskop – Imager IBIS

Imager IBIS (Imager on Board the INTEGRAL Satellite) je zařízení pro zobrazování zdrojů záření gama v oboru 15 keV až 10 MeV s vysokým rozlišením (12 úhlových minut). Je schopný identifikovat zdroje a má spektrální citlivost vůči kontinuu i širokým spektrálním čarám. Technicky jde o detektor se dvěma detekčními rovinami a aperturní maskou. První detekční rovinu představuje soubor CdTe elementů s rozměry každého z nich 4×4×2 mm pokrývající plochu 2600 cm². Druhá rovina obsahuje 3100 cm² pokrytých vrstvou CsI prvků, každého o rozměru 9×9×30 mm. Soubory (CdTe a CsI) jsou od sebe vzdáleny 90 mm. Kódovaná aperturní maska je z tungstenu a je umístěna 3,2 m nad první detekční rovinou. Na vývoji a výrobě přístroje se podílí 10 ústavů z Itálie, Francie, Norska, Německa, Španělska, USA, Polska a Velké Británie.



Detekční část rentgenového monitoru JEM-X

Rentgenový monitor JEM-X

JEM-X (Joint European X-ray Monitor) doplňuje oba hlavní palubní přístroje družice INTEGRAL o rentgenový obor spektra 3–35 keV, v němž poskytne zobrazení s úhlovým rozlišením řádu úhlové minuty, a to simultánně s ostatními experimenty. Přístroj představují dvě identické mikrostripové zobrazující plynové komory naplněné xenonem o tlaku 5 bar. Každý z detektorů je doplněn kódovanou aperturní maskou umístěnou ve vzdálenosti 3,2 m nad detekční rovinou. Na přístroji se podílí 14 ústavů v Dánsku, Finsku, Španělsku, Itálii, USA, Švédsku, Velké Británii, Polsku a Rusku.

Optická Monitorovací Kamera OMC

Experiment OMC (Optical Monitoring Camera) představuje pasivně chlazená CCD kamera s čipem rozměrů 2048×1024 pixelů (aktivně zobrazující plocha 1024×1024 pixelů) umístěná v ohnisku vysoce kvalitního mnohoočkového objektivu o průměru 50 mm. Systém je vybaven fotometrickým V filtrem a pracuje v optické oblasti 500–850 nm. Cílem OMC je především poskytnout simultánní optická data pro objekty pozorované vysokoenergetickými experimenty na palubě družice a doplnit tak kompletní data pro multispektrální analýzu studovaných objektů. Umístěním OMC tak INTEGRAL dosahuje energetické simultánní pokrytí pozorovaných zdrojů v rozsahu plných 7 magnitud. OMC také poskytne dlouhodobé optické monitorování objektů ležících uvnitř zorného pole 5×5 stupňů během jednotlivých pozorování. Na přístroji se podílí 9 ústavů ze Španělska, Irska, Belgie, Velké Británie a České republiky (u nás se podílí zejména Astronomický ústav AV ČR v Ondřejově, Elektrotechnická fakulta ČVUT v Praze a Přírodovědecká fakulta Masarykovy University v Brně).

Na první pohled nejde v případě tohoto experimentu o nic převratného, avšak nejde o běžnou astronomickou kameru. Tak například objektiv teleskopu je velice nákladný mnohaočkový speciálně vyvinutý systém, který bude poskytovat neuvěřitelně ostré – tedy zaostřené do velmi malé plošky – obrázky hvězd a ostatních objektů. Objektiv bude 70 procent světla hvězd

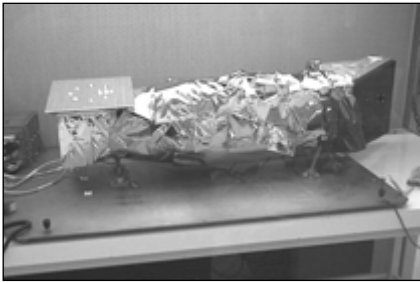
soustřeďovat do rozměru o průměru podstatně menšího než je jeden pixel kamery, což je mnohanásobně méně než dosahují běžně dostupné objektivy na trhu. Tak vysoká přesnost je nutná k tomu, aby měl přístroj co nejvyšší citlivost – očekává se, že OMC by měl detekovat hvězdy až 19. hvězdné velikosti – a určovat jejich pozice s přesností na 18 úhlových sekund a magnitudy s přesností lepší než 0,1 magnitudy (pro objekty jasnější než 18. magnituda). Přístroj má hmotnost 17 kg při elektrickém příkonu 10W.

Jako celek bude INTEGRAL poskytovat několik různých druhů pozorování: cílená pozorování určitých konkrétních objektů v souladu se schválenými návrhy na pozorování, pravidelné přehledky galaktické roviny a takzvané ToO (Target of Opportunity – volně přeloženo příležitostný objekt, zavedené označení pro objekty vyžadující okamžité měření např. z důvodu nečekané a nepředvídané aktivity, novosti, atd.).

Naše účast na OMC

Naše účast na palubním experimentu OMC spočívá v (1) přípravě palubního software, (2) vývoji a provozu technologické testovací kamery, (3) přípravě a provozu simulátoru, (4) přípravě katalogu a extrakčního a pointačního ISOC software OMC PS, (5) vývoji programového vybavení pro vědecké středisko projektu ISDC a podílu na provozu tohoto střediska, (6) přípravě interaktivní vědecké analýzy a (7) vědeckém programu. Na tomto místě je třeba zdůraznit fakt, že veškeré experimenty na palubě INTEGRALu – a stejně tak i naprostá většina kosmických experimentů v přípravě – je tvořena nejen hardwarem, ale i softwarem, tedy programovým vybavením, jehož příprava je v řadě případů neméně pracná a náročná, a často i náročnější než vývoj a příprava hardware. V zemích s vysokými platy vědecké a technické inteligence (západní Evropa) je většinou příprava software velmi nákladnou částí vědeckého kosmického experimentu.

1. Palubní software. Podíleli jsme se na dvou základních programových vybaveních, a to na centračním software a na kompresi dat. Centrační software umožní přesnou identifikaci objektů v zorném poli



Přístroj OMC pro družici INTEGRAL

a určení rozdílu mezi předpokládanou a skutečnou polohou optické osy celého přístrojového panelu. Komprese je zase nezbytná pro zvýšení přenosové kapacity palubní telemetrie.

2. *Technologická kamera.* Skutečná letová kamera čeká na start družice zakonzervovaná ve vakuu a nebude do té doby schopna poskytnout žádné zkušební snímky. Nicméně právě v době před startem je důležitá potřeba ověření zvolené koncepce, jednotlivých parametrů zařízení, a v neposlední řadě existence reálných snímků s identickými parametry jako budou mít skutečné snímky, a to především pro testování řady postupů a software. Technologická kamera pracuje již několik let na ASÚ AV ČR v Ondřejově a poskytuje snímky s rozlišením 18 arcsec na pixel, tedy identickým, jako má letová kamera OMC. Postupně byly vyvinuty dvě kamery, druhá má lepší optiku. Získané snímky jsou softwarově upravovány do podoby přesně imitující snímky z OMC, jak do počtu obrazových bodů, tak co do ostroty obrázků hvězd.

3. *Simulátor.* Simulátor slouží ke generaci simulovaných snímků zorného pole přístroje OMC. K simulaci snímků používáme astronomické katalogy a znalost zobrazovací funkce letové optiky. Simulátor je v provozu na webovské stránce skupiny v Ondřejově (<http://altamira.asu.cas.cz>) a umožňuje rovněž simulovat některé jevy reálného snímku, jako jsou vadné pixely či sloupce CCD matrice nebo nehvězdná zobrazení způsobená dopadem kosmického záření. Jsme takto schopni imitovat snímky reálné letové kamery s limitním dosahem lepším než je 19. hvězdná velikost.

4. *Katalog OMC.* Pro experiment OMC byl vypracován katalog zdrojů, které jsou

vědecky prioritními objekty ke studiu tímto přístrojem. Tento tzv. OMC katalog bude i po startu družice periodicky doplňován o nové a aktuální objekty. Naše účast na katalogu spočívala jednak ve výběru a návrhu vhodných objektů, jednak ve vývoji speciálního programového vybavení pro aplikaci katalogu v operačním středisku ISOC. Jeho těžiště spočívá v extrakci objektů v momentálním zorném poli přístroje, jejich seřazení podle priority a významu a ve vygenerování příslušných telemetrických povelů pro družici potřebných k extrakci a přenosu odpovídajících vědeckých dat. Současná verze katalogu, připraveného našimi kolegy z univerzity v Barceloně za naší spoluúčasti, je na našich počítačích v Ondřejově. Katalog obsahuje například veškeré známé optické protějšky gama a rentgenových zdrojů, kvasary jasnější než limitní magnituda přístroje, aktivní galaktická jádra, blazary, aktivní hvězdy pozdního spektrálního typu, eruptivní a proměnné hvězdy a referenční hvězdy pro poziční a fotometrickou kalibraci. Po startu družice budou přidávány např. nově nalezené supernovy.

5. *Vědecký program.* S ohledem na řešení výše uvedených oblastí budeme mít jako členové konsorcia OMC právo na podíl na získaných datech a jejich další zpracování a analýzu. Rádi bychom přitom soustředili pozornost na tři hlavní kategorie objektů, a to extragalaktické zdroje (zejména AGN, aktivní galaktická jádra), na galaktické zdroje, zejména kompaktní a binární, a na transienty, a to jak optické, tak i vysokoenergetické.

6. *Interaktivní vědecká analýza.* Na základě požadavku zahraničních partnerů přebíráme rovněž přípravu a vývoj programového vybavení pro interaktivní vědeckou analýzu dat z experimentu OMC. Zejména jde o zajištění vědeckých výstupů z přístroje ve formě vhodné pro přímé další fyzikální zpracování a interpretaci.

ISDC – mezinárodní vědecké středisko

Druhou hlavní oblastí, kterou se na projektu INTEGRAL aktivně podílíme, je ISDC, tedy INTEGRAL Science Data Centre (Vědecké středisko projektu INTEGRAL)

umístěné poblíž Ženevské observatoře ve Versoix ve Švýcarsku. Toto důležité centrum je provozováno konsorciem významných evropských vědeckých ústavů, k nimž patří i ASÚ AV ČR v Ondřejově.

ISDC je střediskem, ve kterém budou telemetrická data z družice zpracována až na úroveň umožňující jednotlivým vědeckým pracovníkům – uživatelům jejich vědeckou interpretaci. To znamená například plnou korekci vůči technickým přístrojovým vlivům a efektům a základní standardní vědecké procesy a analýzy. ISDC také zajistí archivaci dat a zabezpečí jejich zpřístupnění vědecké světové komunitě.

K dalším úkolům ISDC patří zejména: předzpracování telemetrie z vědeckých experimentů a vytvoření odpovídajících archivů, kontrola stavu vědeckých přístrojů a jejich výkonu, zajištění rychlé analýzy pro testování kritických parametrů přístrojů, hledání přechodných zdrojů, jejich rychlá analýza a případně klasifikace jako ToO s nahlášením do ISOC (operační středisko projektu umístěné ve středisku ESA ESTEC, Nizozemí), podpora procesu přidělování pozorovacího času v součinnosti s ISOC, zajišťování přístupu k předzpracovaným a archivním datům pro vědeckou komunitu, spolupráce s přístrojovými týmy, účast na kalibraci přístrojů a podpora a asistence světové vědecké komunitě při analýze získaných dat.

Naše dosavadní konkrétní účast na práci ISDC spočívala jednak v přípravě pozemního segmentu (podrobně viz další kapitoly), jednak v účasti na vývoji programů přímo v týmu střediska. Náš pracovník Ing. Dr. Jan Soldán, který působí již čtvrtým rokem přímo v týmu, zatím implementoval pro potřeby ISDC programový balík pro tzv. pipeline analysis OPUS (převzatý z Hubbleova kosmického teleskopu HST) a



OMC Test Device v Ondřejově



Ukázka snímku pořízeného technologickou kamerou OMC v Ondřejově – kometa Ikeya-Zhang a galaxie M31.

pracoval i na programu pro rychlé dekodování informace o zábleskových zdrojích záření gama (Gamma Ray Bursts, GRB) a jejich distribuci pozemním pozorovatelům. Nyní dokončuje především vývoj programového vybavení pro data z experimentu OMC a jejich implementaci do ISDC. Díky naší účasti v konsorciu střediska máme však rovněž podíl na vědecké koncepci, výběru objektů a přípravě vědeckého zpracování dat. Jako členové konsorcia ISDC máme stejná práva jako ostatní ústavy včetně těch, které přímo vyvíjejí nebo financují palubní hardware. Tento podíl se bude postupně zvyšovat tak, jak se blíží vlastní start družice. K zajištění optimálního využití dat z projektu vzniká v České republice vědecký tým, zahrnující vědecké pracovníky, doktorandy a studenty z několika vědeckých pracovišť: Astronomického ústavu Akademie věd České republiky, Elektrotechnické fakulty ČVUT, Astronomického ústavu Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy v Praze a Přírodovědecké fakulty Masarykovy University v Brně. Účast je ovšem otevřená i pro další zájemce.

Pokud jde o konkrétní vědecké zaměření naší účasti a naše práva na data po startu družice, schválil mezinárodní vědecký řídicí výbor projektu přidělení výzkumného oboru Kataklyzmické proměnné a příbuzné objekty do kompe-

tence autorovi tohoto článku (jde jistě o reprezentaci celé české skupiny projektu INTEGRAL). To znamená, že data získaná v rámci garantovaného času pro přístrojové týmy pro tento obor poputují do Ondřejova a je v naší kompetenci, jak s nimi naložíme a jaké vědecké týmy a spolupráce pro jejich vědeckou analýzu budeme zakládat. Oblast je atraktivní tím, že zejména vysokoenergetická emise kataklyzmických proměnných je dosud málo probádána a nelze v ní vyloučit řadu nečekaných překvapení. Rozhodně by data z INTEGRALu měla podstatně přispět k pochopení fyzikálních modelů těchto objektů a fyzikálních procesů v nich probíhajících. Na dalších oborech se budeme podílet jako spoluvýzkumníci – jde o oblasti aktivních galaktických jader a blazarů, zábleskových zdrojů záření gama, akreující pulsary a rentgenové dvojhvězdy. Spolupráce bude většinou probíhat v rámci speciálně založených pracovních skupin. Získali jsme však i práva na data v rámci tzv. volné soutěže, v níž byl přidělen pozorovací čas pro prvních 12 měsíců, a to jako účastníci společného návrhu na výzkum zábleskových zdrojů záření gama.

Předpokládá se, že i po startu družice bude ve vědeckém týmu střediska ISDC fungovat alespoň jeden náš vědecký pracovník, přičemž další naši vědci, doktorandi a studenti se budou podílet na dalším zpracování vědeckých dat získaných přístroji INTEGRALu na domácích pracovištích. Díky zapojení řady univerzitních pracovišť přitom počítáme s rozsáhlou účastí mladých odborníků včetně diplomantů a doktorandů. Možnost přímo zpracovávat data z velkého mezinárodního družicového projektu, navíc vesměs v široké mezinárodní spolupráci, bude pro ně jistě velkým přínosem.

I když je INTEGRAL především družicí ESA, je chápán jako celoevropský kosmický projekt, a tak bude vítána i účast širší vědecké komunity z ČR i zemí střední a východní Evropy. Na ASÚ v Ondřejově by proto mělo v nejbližší době vzniknout sekundární vědecké středisko, umožňující vyhodnocovat data z INTEGRALu vědcům nejen českým, ale i z okolních zemí a východní Evropy.

Pozemní segment

Specifikem české účasti na projektu INTEGRAL je pozemní observační segment. Ten vychází do značné míry z našich zkušeností s analogickými pozemními experimenty z minulých let. Význam je v několika směrech. Zaprvé, řada z objektů, které budou detekovány a pozorovány družicí INTEGRAL, bude vyžadovat podrobné následné – a často bezprostřední – multispektrální pozorování, v němž právě dedikované pozemní přístroje mohou přinést cenná data. Dosavadní zkušenosti s optickým pozorováním eruptivních objektů detekovaných družicemi v minulých letech potvrzují předpokládaný nedostatek homogenních řad optických měření, který je do značné míry zapříčiněn nedostatkem pozorovacího času na větších světových přístrojích.

Zadruhé, cílem INTEGRALU jsou především multispektrální pozorování, avšak omezená palubní telemetrie neumožňuje přenášet na zemský povrch snímky pořízené ohniskovou CCD kamerou optického monitoru OMC jako celek, ale jen okolí maximálně stovky vybraných objektů v zorném poli. Tento nedostatek mohou pozemní data poměrně snadno nahradit.

Zatřetí, pozemní data mohou posloužit k vyhledávání – v kombinaci s družicovými daty – přechodných a eruptivních objektů. Použití jen palubních optických dat pro tento mód je značně omezené především pro omezenou kapacitu palubního počítače.

Začtvrté, přístroje na palubě INTEGRALU budou detekovat podle předpokladů ročně asi 20 zábleskových zdrojů záření gama, pro které je nezbytné zorganizovat rychlá následná pozorování v různých spektrálních oborech včetně optického. Vhodné, k tomu účelu speciálně uzpůsobené pozemní přístroje mohou být k těmto výzkumům klíčové. Dosud byla detekována optická emise doprovázející záblesky záření gama v desítkách případů, dosavadní družice však většinou neumožňovaly takováto pozorování provádět ihned po jevu. Buď byly pozice jevů nepřesné, a tudíž neumožňující kvalitní optická měření, nebo byly sdělovány až 3 a více hodin po jevu.

Slovo závěrem

Projekt INTEGRAL představuje první přímou spoluúčast ČR na vědeckém družicovém projektu ESA. Současně jde o velmi rozsáhlý projekt založený na úzké spolupráci mnoha týmů – na každém z přístrojů se obvykle podílí 10 i více vědeckých ústavů z mnoha zemí. Je nepochybné, že se stane významným přínosem pro integraci naší vědy do západoevropských struktur. Česká republika získá v projektu podobná práva, jako mají ústavy západní Evropy vyvíjející jednotlivé palubní přístroje, a to za zlomek celkových nákladů na projekt – neočekáváme totiž, že náš příspěvek přesáhne 0,08 procenta (a zřejmě bude s ohledem na finanční restrikce ještě nižší) celkových nákladů na projekt bez ceny nosné rakety (ty se odhadují asi na 20 miliard Kč). Uznáním orgánů ESA za náš příspěvek k projektu je mimo jiné to, že veškeré vědecké publikace, které vzniknou s použitím dat z družice, povinně na první stránce ponosou poznámku pod čarou ve znění: „Článek vznikl na základě pozorování družicí INTEGRAL, projektem ESA s přístroji a vědeckým střediskem financovanými členskými státy ESA (zejména země hlavních výzkumníků, tedy Dánsko, Francie, Německo, Itálie, Švý-

carsko, Španělsko), Českou Republikou a Polskem, a s účastí Ruska a USA.“

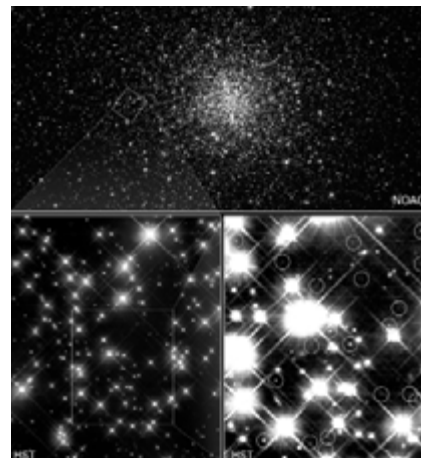
Kromě dat samotných jde však v projektu INTEGRAL ještě o něco více. Totiž o to, že jsme poprvé přímo v centru dění a máme tak zcela unikátní šanci se do hloubky seznámit s nepřehlednou řadou složek ESA, současnými hardwarovými i softwarovými technikami používanými v kosmickém družicovém výzkumu a především s celou řadou odborníků, specialistů i vědeckých pracovníků. Kolegové z řady složek ESA naopak získali první a přitom několikaleté zkušenosti z přímé spolupráce s českými partnery a kolegy. To, že jsme v termínu splnili veškeré přidělené úkoly a dokázali neustále pružně reagovat na často komplikované změny a doplňky, jistě zvýšilo důvěru ESA k českým partnerům a nepochybně přispěje k české účasti v dalších projektech ESA. Náš tým byl například již přizván k účasti na následujícím astrofyzikálním projektu ESA XEUS se startem po roce 2012 – jde o největší astrofyzikální projekt ESA v její historii, v jehož rámci má ve vesmíru po 25 let pracovat obří, postupně až desetimetrový, rentgenový teleskop.

Práce na projektu INTEGRAL jsou v České republice podporovány v rámci projektu ESA PRODEX 14527. ■



HST nalezl nejstarší vesmírné „hodiny“

Na hranici možností svých optických systémů objevil Hubbleův kosmický dalekohled (HST) ty nejstarší vyhaslé hvězdy v Mléčné dráze. Díky těmto extrémně starým objektům se tak naskytá další nezávislé měření trvání vesmíru.



Bílí trpaslíci v kulové hvězdokupě M4

Podle současných měření je věk těchto bílých trpaslíků mezi 12 a 13 miliardami let. Už dříve bylo z pozorování pomocí HST odhadnuto, že první hvězdy se mohly ve vesmíru zformovat zhruba miliardu let po jeho vzniku. Spojením těchto dvou čísel tedy můžeme odhadnout celkový věk vesmíru.

Tento odhad poměrně dobře souhlasí s předchozími propočty, podle kterých musíme vznik vesmíru hledat v době před zhruba 13–14 miliardami let; nejistota přetrvává kvůli nejasnosti s mírou expanze prostoru v prvních fázích rozpínání. Všechny metody měření stáří vesmíru jsou ovšem nepřímé a vzhledem k faktu, že tento údaj je důležitý pro výběr správného modelu vesmíru, se astronomové snaží hledat stále nové a nové způsoby určení této hodnoty.

Metoda, kterou použili vědci v tomto případě je velmi elegantní, ale opět je založena na předpokladech, které v současnosti nejsme schopni s naprostou jistotou potvrdit. Myšlenka je, jak už to v těchto případech bývá, velmi jednoduchá: stačí najít dostatek velmi starých hvězd ve fázi bílého trpaslíka, u nichž můžeme změřit (nebo alespoň dostatečně dobře odhadnout) povrchovou teplotu. Po ukončení aktivního života hvězdy o vhodné hmotnosti zbyde v jejím centru zvolna chladnoucí bílý