

Proba-3 a koronograf ASPIICS

Zatmění Slunce na přání

Jana Žďárská

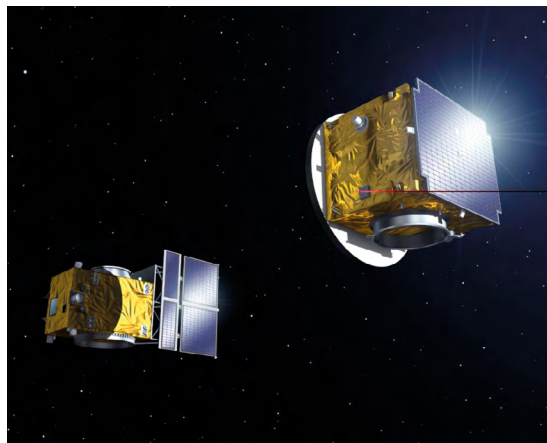
Fyzikální ústav AV ČR, Na Slovance 2, 182 21 Praha 8; zdarskaj@fzu.cz

Proba-3 je unikátní mise Evropské kosmické agentury (ESA), která využívá technologii letu satelitů ve velmi přesné formaci. Tato technologie umožnila vznik obřího vesmírného koronografu s názvem ASPIICS. V pondělí 16. 6. 2025 proběhlo oficiální představení získaných dat z koronografu ASPIICS v Paříži na největším světovém veletrhu letecké a vesmírné techniky Air Salone v Le Bourget.

Klasická „přirozená“ úplná zatmění Slunce nastávají na Zemi v jedno- až dvouletých intervalech, když se Měsíc dostane do pozice mezi Zemí a Sluncem. „Úplné zatmění pak trvá několik málo minut a někdy dokonce jen několik desítek sekund. A tak jediná chyba při pořizování dat může zničit vše, protože nic se nedá opakovat,“ tak zněla slova držitele Nušlovky ceny Miloslava Druckmüllera¹, který je znám v České republice i ve světě svými excelentními snímky sluneční koróny při zatmění Slunce.

Mise Proba-3 nyní vědcům umožňuje sledovat zatmění Slunce takřka „na přání“. Díky přelomové technologii vysoce přesného letu satelitů ve formaci dokáže mise Proba-3 a její koronograf ASPIICS pozorovat sluneční korónu v bezprecedentním detailu. A to i její vnitřní část, kterou jsme dosud mohli pozorovat jenom při úplných zatměních Slunce. „Proba-3 počas jedného šesťhodinového pozorovacieho okna prinesie toľko detailných pozorovaní slnečnej koróny, koľko získame počas úplných zatmení Slnka za jedno storočie,“ vysvětluje

¹ Miloslav Druckmüller, Jana Žďárská: Matematika a Slunce. Čs. čas. fyz. 74, 229–238 (2024).



Obr. 1 Díky přelomové technologii vysoce přesného letu satelitů ve formaci dokáže mise Proba-3 a její koronograf ASPIICS pozorovat sluneční korónu v bezprecedentním detailu.



Obr. 2 Mise Proba-3 je jedinečná tím, že disk, který zastiňuje Slunce, a dalekohled jsou na dvou různých družicích, a tedy daleko od sebe. Zdroj: ESA

Stanislav Gunár ze Slunečního oddělení Astronomického ústavu AV ČR.

Proba-3 je unikátní misí ESA, která poprvé využívá tzv. *formation flying*, tedy technologii autonomního letu satelitů ve formaci, kdy satelity udržují svou vzájemnou polohu s chybou menší než 5 milimetrů po dlouhou dobu. Vesmírný koronograf ASPIICS je distribuován na obou satelitech mise Proba-3, z nichž první nese zástin (tzv. umělý Měsíc) a druhý má na palubě teleskop koronografu.

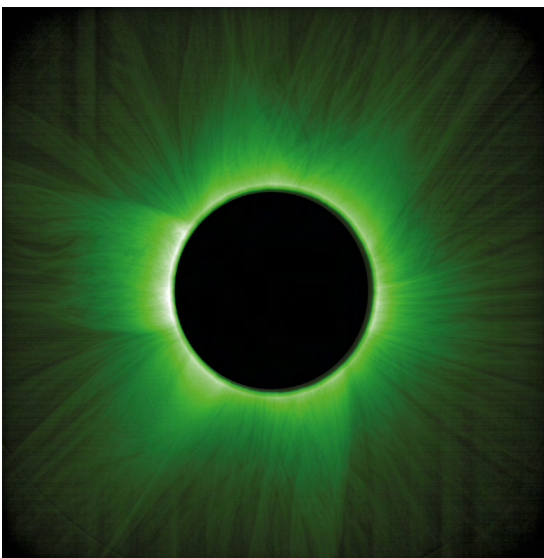
Díky vzdálenosti 144 metrů a vzájemné poloze, kontrolované s milimetrovou přesností, dokáže ASPIICS pozorovat sluneční korónu v podmínkách blížících se úplnému zatmění Slunce. „Tým získame vedecké pozorovania z oblasti nízkej koróny, ktorá sa nachádza tesne nad okrajom slnečného disku,“ připomíná Stanislav Gunár a dodává: „Nízka koróna je dodnes najmenej preskúmanou oblasťou atmosféry Slnka. Je však aj miestom, kde dochádza k výronom koronálnej hmoty (tzv. Coronal Mass Ejections) a k zrodu slnečného vetra. Oba tieto fenomény tvoria podstatnú časť javu, ktorý voláme vesmírne počasie. Ide o súhrn vplyvov slnečnej aktivity na celú heliosféru a primárne na Zem. Jedným z najznámejších dôsledkov vesmírneho počasía sú po-



RNDr. Stanislav Gunár, Ph.D., je sluneční fyzik původem ze Slovenska, působící od svého doktorského studia v České republice. V současnosti pracuje jako vědecký pracovník na Astronomickém ústavu Akademie věd České republiky, kde se specializuje na fyziku sluneční atmosféry, zejména na strukturu a dynamiku slunečních protuberancí. Je autorem nebo spoluautorem více než čtyřiceti odborných článků v mezinárodních časopisech a řešitelem několika prestižních vědeckých grantů.

V letech 2014–2015 absolvoval prestižní Marie-Curie Intra-European Fellowship na University of St. Andrews ve Skotsku. Od roku 2009 je jedním z hlavních řešitelů koronografu ASPIICS na palubě mise PROBA-3 Evropské kosmické agentury (ESA) a současně projektovým manažerem českého přístrojového příspěvku k této misi. Působí také jako člen expertního výboru PRODEX, který radí Ministerstvu školství, mládeže a tělovýchovy a Ministerstvu dopravy v oblasti vědeckých kosmických projektů.

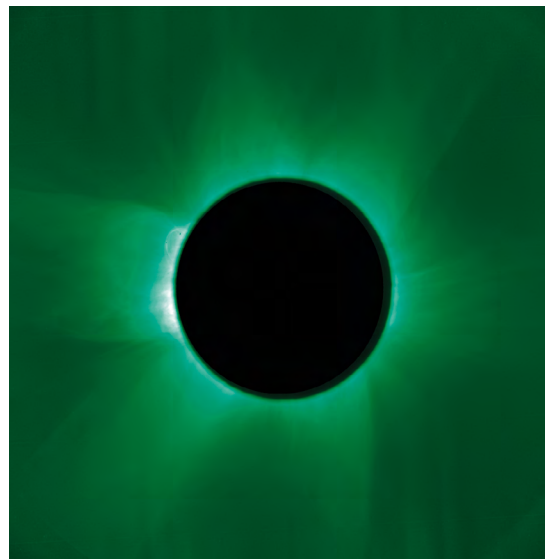
Ve své vědecké práci se věnuje vývoji pokročilých modelů jemné struktury slunečních protuberancí, analýze dat z vesmírných a pozemních observatoří a studiu erupтивních protuberancí a výronů koronální hmoty. Věnuje se také mezinárodní vědecké koordinaci a popularizaci kosmického výzkumu. Je také místopředsedou Divize evropské sluneční fyziky (ESPD), spadající pod Evropskou fyzikální společnost (EPS).



Obr. 3 První snímek umělého zatmění Slunce z mise Proba-3. Sluneční koróna s velkým množstvím dobře viditelných jemných koronálních struktur. Zdroj: ESA

lárne žiary. Vplyv slnečnej aktivity však so sebou nesie aj negatívne dopady. Tie sa netýkajú ľudí priamo, ale dopadajú na našu technologickú civilizáciu. Veľmi silné geomagnetické búrky, také vesmírne hurikány, sú často spojené práve s výronmi koronálnej hmoty. Dochádza pri nich k poškodeniu elektrickej prenosovej sústavy a môžu tiež narušiť funkčnosť satelitov. Keďže bez rôznych vymožeností poskytovaných satelitnými technológiami si už len ťažko predstavíme každodenný život, znalosť vesmírneho počasia sa stáva stále dôležitejšou. A presne tak, ako predpovedáme pozemské počasia, snažíme sa predpovedať aj počasia vesmírne. Na to ale potrebujeme študovať fenomény, ako slnečný vietor a výrony koronálnej hmoty, už od ich počiatkov – v nízkej koróne. ASPIICS je prvým z generácie moderných koronografov, ktoré nám pravidelné pozorovania nízkej koróny zabezpečia.“

Počátkem července začal koronograf ASPIICS s pravidelnými vědeckými pozorováními. Během dvoule-



Obr. 4 Koróna v koronální čáře Fe XIV – zde je např. vidět horká koronální smyčka (vlevo) s teplotou asi 2 000 000 K. Zdroj: ESA

tého trvání mise budou v průměru vytvořena dvě zatmění Slunce týdně, celkem jich tedy bude téměř dvě stě. „Keď si teda predstavíme, že počas jedného zatmenia vytvoreného ASPIICSom získame toľko pozorovaní koróny, ako za storočie pri zatmeniach prirodzených, dostaneme sa k číslu 20 tisícročí,“ vysvetľuje Stanislav Gunár. „Je to úžasné, ale prínos koronografu ASPIICS je ešte revolučnejší. Dokáže totiž sledovať dynamiku koróny a fenoménov v nej na škálach minút a hodín. A keďže sa naše zatmenia pravidelne opakujú, tak aj na škálach dní, týždňov a mesiacov. A to sme doteraz nevideli nikdy! Prirodzené úplné zatmenia sú javom krátkym a občasným. Je to ako by sme mali fotografiu raz za rok. Namiesto toho nám ASPIICS poskytne dlhodobé videá, a hneď vo vysokom rozlíšení.“

Předchozí družice pozorují sluneční korónu již dlouhé dekády. Mezi ty nejúspěšnější patří družice SOHO a Solar Orbiter. Stínící disk byl však vždy na stejné sondě jako teleskop koronografu – vysunut na podpěře pár desítek centimetrů před dalekohledem (např. koronografy LASCO C2 a C3 mise SOHO) nebo zabudován v optické soustavě teleskopu (koronograf Metis a družice Solar Orbiter). Právě mise Proba-3 je jedinečná tím, že disk, který zastiňuje Slunce, a dale-



Obr. 5 Evropská kosmická agentura poprvé představila v Paříži na největším světovém veletrhu letecké a vesmírné techniky Air Salone v Le Bourget veřejnosti vědecká pozorování sluneční koróny pořízené vesmírným koronografem ASPIICS na palubě mise Proba-3.

kohled jsou na dvou různých družicích, a tedy daleko od sebe.

Z výše uvedeného vyplývá, že je velmi důležité, že je zástin koronografu ASPIICS tak daleko. „Problémom všetkých koronografův je optický jav s názvom *stray light*, čiže rozptýlené svetlo. To všetci dobre poznáme z fotografií, keď fotíme proti slnku alebo jasným svetelným zdrojom. Fotky vtedy strácajú kontrast a sú v nich svetelné škvrny a odlesky,“ říká Stanislav Gunár. „Niečo podobné sa deje pri pozorovaní koróny, ktorá je asi miliónkrát menej jasná ako slnečný disk. Aj keď slnečný disk zakryjeme kotúčom umelého mesiaca, na jeho okraji sa kvôli ohybu svetla tvoria jasné prstence. Tie však môžu žiariť jasnejšie ako koróna samotná, a zne-možňovať vedecké pozorovania.“

Existují dvě možnosti, jak jas difrakčních prstenců potlačit. Můžeme zástin umělého Měsíce zvětšit, čímž ovšem ztratíme schopnost pozorovat korónu blízko slunečního disku. Toto řešení využívá většina vesmírných koronografů, které pak pozorují korónu od vzdálenosti jeden a půl až trojnásobku poloměru Slunce. Druhou možností je umístit zástin co nejdál od dalekohledu koronografu. Nejlepším příkladem je samotný Měsíc při přirozených zatměních, je od pozorovatelů na Zemi opravdu daleko. Difrakce na jeho okraji je tak zanedbatelná a my můžeme vidět sluneční korónu přímo nad samotným okrajem slunce. „Toto riešenie využíva aj ASPIICS. Ten vďaka vzdialenosti 144 metrov medzi tieniacim satelitom a satelitom nesúcim ďalekohľad koronografu, môže pozorovať vnútornú korónu už od vzdialenosti menšej ako 1,1 násobok polomeru Slnka,“ objasňuje Stanislav Gunár.

Na misi Proba-3 se významným způsobem podílela i Česká republika, a to již od roku 2009. Vědecké zabezpečení a koordinace vývoje hardwarových součástí koronografu ASPIICS byly v gesci Astronomického ústavu AV ČR v čele s Dr. Stanislavem Gunárem a prof. Petrem Heinzelem². Optické komponenty hlavního vědeckého přístroje mise – koronografu ASPIICS – navrhlo a vyrobilo centrum TOPTEC, součást

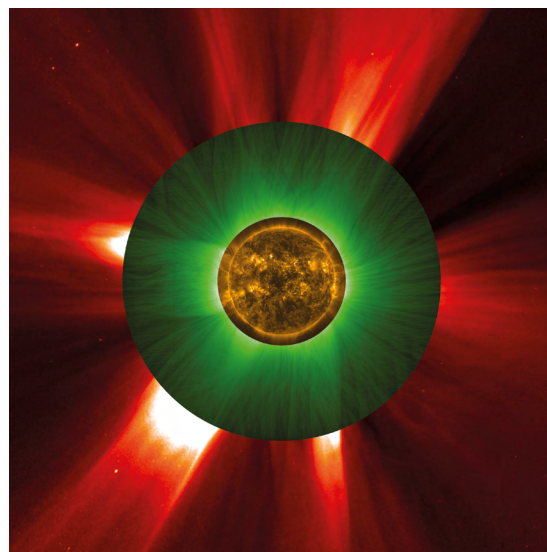
Ústavu fyziky plazmatu AV ČR. Vývoj a výroba dvířek chránících koronograf při startu a každém manévru byly v režii společnosti SERENUM, a.s., dceřině společnosti VZLU, a.s.

Spolupráce českých vědců s ESA³, již je Česká republika členem od roku 2008, má pro astronomy primárně především vědecký význam, ale do jednotlivých projektů je aktivně zapojen i český průmysl a české firmy. Tato spolupráce je velmi důležitá zejména pro postupné budování českého národního potenciálu v oblasti *space industry*. Členství České republiky v agentuře ESA je kryto ročním příspěvkem ve výši zhruba 15 milionů eur a zapojení České republiky do tohoto programu tak umožňuje využívat výsledky vývoje a výroby špičkových technologií pro běžné použití v celé společnosti.

Tato spolupráce je dobře viditelná i v případě mise Proba-3. „Pre mňa osobne znamená štart misie Proba-3 a prvé pozorovania koróny ASPIICSom najmä úspešné zakončenie pätnásťročného úsilia. A začiatok úsilia nového,“ vyznává se Stanislav Gunár. „Až teraz sa vlastne naplno začína úloha nás vedcov pri zužitkovaní získaných pozorovaní a ich pretavení do nových objavov. Okrem toho je ale úspech misie Proba-3 aj začiatkom novej, fascinujúcej éry astronomických pozorovaní z vesmíru. Technológia presného letu satelitov vo formácii totiž nie je revolučnou len pre pozorovania slnečnej koróny. Predstavte si napríklad nasledovníka observatória James Webb Space Telescope, ale zloženého z niekoľkých veľkých zrkadiel letiacich v presnej formácii. A ešte k tomu s koronografom, ktorý by zatienil svetlo pozorovanej hviezdy a my by sme mohli vidieť jej planéty. Fantastické, nie?“

Je velmi potěšující, že jména našich vědců, institucí a firem jsou prostřednictvím ESA tak významně zapsána ve vesmírném výzkumu. Za redakci Československého časopisu pro fyziku přejeme všem účastníkům vesmírného výzkumu mnoho dalších důležitých výzev a mezinárodních spoluprací, které budou objasňovat další důležité vesmírné zákonitosti.

3 Jana Žďárská: Vesmír pro lidstvo – výzkumný program AV ČR. Čs. čas. fyz. 71, 64–65 (2021).



Obr. 6 Zelená barva z koronografu ASPIICS zachycuje část sluneční koróny, kterou jsme doposud kromě úplných zatmění Slunce nemohli pozorovat ve vysokém rozlišení. Žlutě je sluneční disk, červeně vysoká koróna. Zdroj: ESA

2 Petr Heinzel, Jana Žďárská: Slunci blíž – rozhovor s astrofyzikem. Čs. čas. fyz. 73, 71–83 (2023).