

# Ultrafialová astronomie

Pavel Mayer

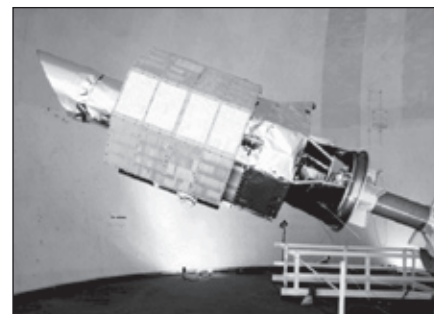
*Že záření s vlnovou délkou kratší než 300 nm zemskou atmosférou neprochází, se zjistilo před téměř sto lety, a byl nalezen i důvod: absorpce ozonem ve vysoké zemské atmosféře. Balonové výstupy ukázaly, že až v nejvyšších tehdy dostupných výškách se 300 nm hrana posouvá o několik desítek nanometrů.*

Obvykle se ultrafialovým zářením (UV) rozumí světlo o vlnové délce od několika desítek nanometrů do 300 nm; kratší vlnové délky už nelze zpracovávat opticky a světlo s delší vlnovou délkou je pozorovatelné ze zemského povrchu. Tento úsek elektromagnetického spektra ostatně bývá sledován i v současné době z balonů – např. experiment BUSS s 40 cm dalekohledem z konce sedmdesátých let přinesl spektra s vysokým rozlišením pro jasnější hvězdy. Na balonech se nyní používají teleskopy i o průměru až 1 m, hlavně ke sledování Slunce.

Jako „skutečnou“ ultrafialovou astronomii ale budeme dále rozumět teprve tu re-alizovanou družicemi. Z Planckova zákona vyplývá, že u hvězd teplejších než Slunce leží převážná část jejich záření v UV oblasti. Nejteplejší hvězdy jsou i hvězdami nejsvítlivějšími, a jsou tedy důležité při studiu struktury Galaxie i jiných galaxií, pro určování kosmických vzdáleností, a pro

svůj rychlý vývoj mají význam i při studiu vzniku a konce hvězd. Od padesátých let 20. století, kdy už bylo možné využít rakety pro vědecký výzkum, proto byly snahy o fotometrii i spektroskopii těchto hvězd. První spektra nejjasnějších hvězd tak byla získána při krátkých výstupech raket nad atmosférou v šedesátých letech. V průběhu doby se ovšem ukázalo, že UV oblast je důležitá nejen pro horké hvězdy, protože v ní někdy září i hvězdy pozdních spektrálních typů – eruptivní hvězdy, dvojhvězdy s probíhající výměnou hmoty, symbiotické proměnné, hvězdy s koronami. A jde nejen o hvězdy, ale i o galaxie – hlavně ty s aktivními jádry – a kvasary.

Důkladnější výzkum zřejmě mohl být prováděn až družicemi, a tak NASA připravila už na druhou polovinu šedesátých let sérii *Orbiting Astronomical Observatories*, OAO. První z těchto čtyř družic startovala v roce 1966, ale kvůli závadě v napájení nikdy nepracovala. Až OAO 2 z roku



*Téměř dokončená družice IUE prochází testy a instaluje se pohonný systém. Sluneční panely jsou složeny na těle družice.*

1969 měla úspěch. Nesla čtyři dalekohledy o průměru 20 cm, každý s fotonásobičem pro jiný spektrální obor od 124 po 300 nm, čtyřicetimetrový dalekohled pro fotometrii mlhovin a dále byly na družici umístěny dva spektrometry i čtyři další teleskopy s televizními kamerami. Družice změřila více než tisíc hvězd a dovolila studovat např. průběh mezihvězdné absorpce v UV oboru. Pořádila i fotometrii několika zákrytových dvojhvězd – jednou z prvních byla LY Aur, nedlouho předtím objevená v Ondřejově. Třetí OAO se nedostala na oběžnou dráhu. Poslední ze serie byla pojmenována *Copernicus* a nesla 80cm dalekohled se spektrometrem. Ve spektrografu se otáčela difrakční mřížka a štěrbinou před fotonásobičem tak probíhalo spektrum od 115 do 300 nm. Bylo to pomalé měření, ale podařilo se tak získat první solidní UV spektra. Družice OAO měly nízkou dráhu, takže po několika letech shořely v atmosféře Země. Družici podobnou Copernicu, také s 80cm zrcadlem, vypustil i tehdejší Sovětský svaz v roce 1983 pod názvem *Astron*. Její výsledky v UV oblasti ale byly dost skromné – získala spektra Halleyovy komety a několika hvězd (výrazně úspěšnější bylo její vybavení pro rentgenový obor). Zato sovětské stanice s lidskou posádkou často pořizovaly snímky hvězdných polí v UV oboru, a začátkem sedmdesátých

**RNDr. Pavel Mayer, DrSc. (\*1932)** vystudoval astronomii na MFF UK v Praze a v Astronomickém ústavu UK se zabývá výzkumem horkých hvězd a těsných dvojhvězd, optickými systémy a detektory.



*Řídicí stanoviště družice IUE se slavným minipočítačem PDP 11/35 umístěný v leteckém muzeu S. F. Udvar-Hazyho na letišti Dulles nedaleko Washingtonu*

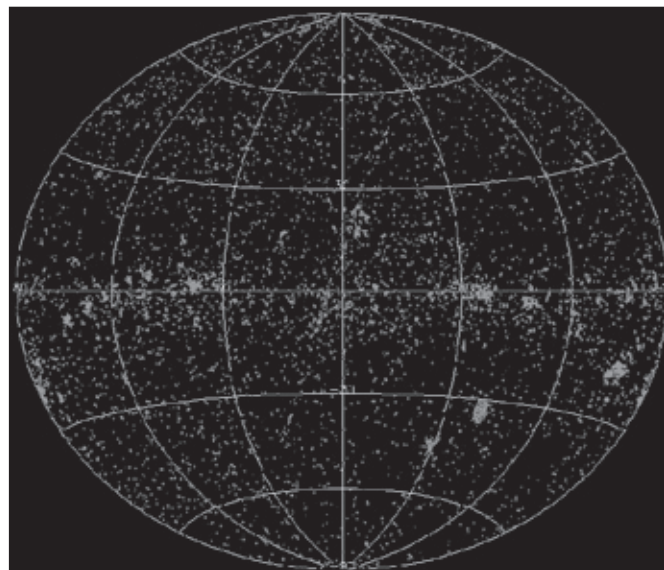
let byl úspěšný např. teleskop *Orion* se spektrografem, používaný na stanici Saljut. Pořídil fotografická spektra v oblasti 200 až 380 nm pro řadu zajímavých hvězd.

Rovněž v Evropě byly v sedmdesátých letech vypuštěny dvě družice pro fotometrii: *Astronomical Netherland Satellite*, ANS, s teleskopem o průměru 22 cm, ta dělala fotometrická měření v pěti kanálech od 154 do 330 nm. Ve spolupráci Belgie a Velké Británie vznikla družice TD1, která měla teleskop o průměru 27 cm se spektrometrem a jedním fotometrickým kanálem.

O další družici pro UV astronomii bylo rozhodnuto brzy. *International Ultraviolet Explorer* (IUE) byl projekt, na němž se z jedné třetiny podílela ESA s britskou Radou pro výzkum a vývoj (zbylé dvě třetiny financovala NASA). Družice s 45cm teleskopem a spektrografem typu *echelle* (takový spektrograf získává spektrum v několika řádech mřížky a spektra jsou uspořádána nad sebou, takže jejich obraz vyplní zhruba čtvercovou oblast – to je vhodné při použití televizního snímání, na rozdíl od běžných spekter, která jsou při vyšší disperzi příliš „dlouhá“) byla v roce 1978 vypuštěna na geosynchronní dráhu. Kdokoli mohl požadovat pozorovací čas, musil se ale dostavit do jedné z přijímacích stanic: do Vilsa u Madridu nebo do Greenbeltu ve státu Maryland, nedařilo se od Goddardova střediska vesmírných letů. I kdybychom v Československu tehdy

čas získali, splnit tuhle podmínku bylo obtížné. Jediný český astronom, který tuto družici využíval – a to s velkým úspěchem – proto byl Mirek Plavec (využíval ji často prý proto, že tak mohl snadno navštěvovat svou dceru-lékařku ve Washingtonu, ač pracoval v Los Angeles). Družice byla mimořádně úspěšná a i mimořádně dlouho vydržela pracovat. Za téměř dvacet let činnosti pořídila na sto tisíc spekter. Ta jsou snadno dostupná na internetu a stále využívána – je přitom dost překvapující, že mnoho ze získaných spekter dosud nebylo využito nebo bylo využito jen částečně.

Autor nakonec také získal pozorovací čas v devadesátých letech, kdy už astronomové nemuseli být přítomni při pozorování. Měřili jsme spektra zákrytové dvojhvězdy V505 Mon s periodou 54 dní a měli jsme přidělen čas na 15 spekter. Jenže po sedmi spektrech družice přestala pracovat – poslední gyroskop se porouchal. Gyroskopy poskytují informaci o orientaci družice, a měly by pracovat tři. Jde ale o náročnou elektromechaniku a v družicích se vždy používají i záložní kusy. U IUE operátoři dokázali nahrazovat nefunkční gyroskopy jinými způsoby orientace, používalo se Slunce i okraj Země a životnost družice se tak podstatně prodloužila. (Jak známo, ani Hubbleův teleskop se nevyhnul problémům s gyroskopy, astronauti je ale mohli vyměňovat.) Náš program tak byl jeden z posledních před koncem družice IUE v roce 1996.



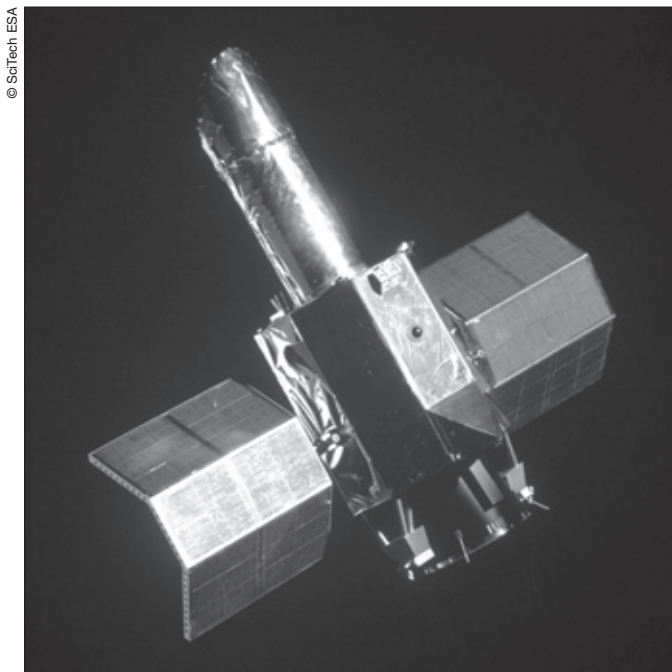
Přehledka všech 80 000 pozorování družice IUE v oboru 100–300 nm pořizených mezi lety 1978–1992 v Aitoffově projekci do galaktických souřadnic. Na obrázku je jasně patrný Galaktický rovník a viditelné jsou také oba Magellanovy oblaky.

I menší počet spekter ale vedl k zajímavému výsledku. Změny profilu čar dubletu ionizovaného uhlíku (133 nm) prokázaly existenci disku kolem sekundární složky V505 Mon a podařilo se zjistit i rychlost rotace disku a přítomnost proudu plynu od primární složky.

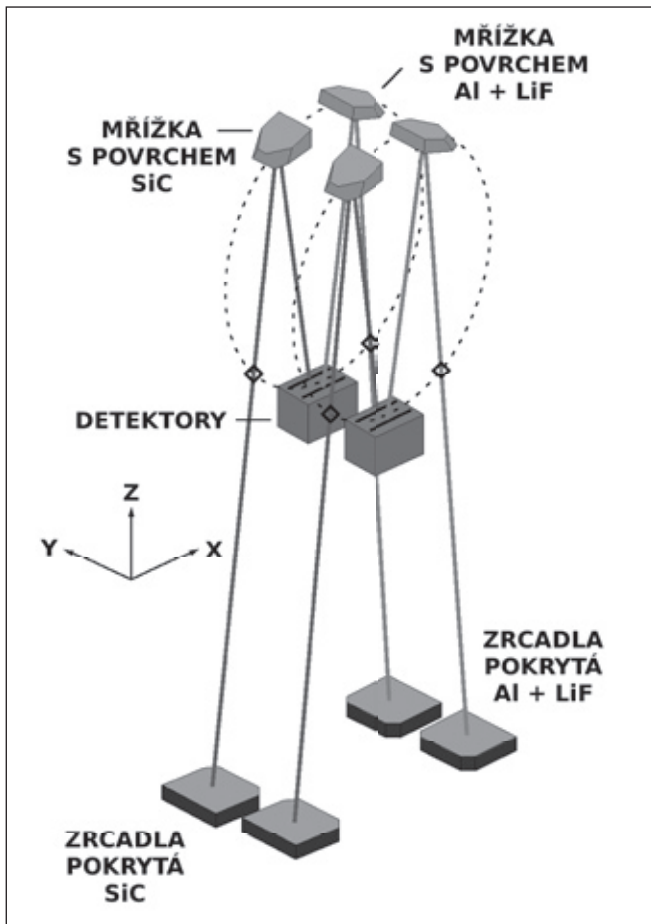
Výčet výsledků získaných družicí IUE by byl velmi dlouhý. Zmíněný Mirek Plavec se proslavil objevem emisních čar u dvojhvězd, kde se takové čáry nečekaly – u dvojhvězd s celkem chladnými složkami. Emise tam vznikají v disku kolem sekundární složky. Jsou slabé, a lze je proto pozorovat jen během totálního primárního zákrytu. Pro mnoho dvojhvězd bylo možno získat slušné křivky radiálních rychlostí, i když se to od poměrně malého teleskopu neočekávalo. Velmi podrobně byly zmapovány mezihvězdné čáry, ty jsou v UV oblasti proti obvyklému optickému oboru daleko početnější.

U IUE bylo možno *echelle* mřížku vyřadit a získávat spektra s malou disperzí; pak byly v dosahu přístroje i slabé objekty, vedle např. kataklyzmických dvojhvězd i galaxie a kvasary.

I v projektu Hubbleova kosmického teleskopu se vedle využití vysoké rozlišovací schopnosti počítalo s ultrafialovým pozorováním. Při vývoji původního přístrojového vybavení byly k dispozici jen CCD s malými rozměry, a tak byly pro detektory spekter vyvinuty *digicony*, snímače s foto-



Pohled na družici IUE s roztaženými solárními panely na oběžné dráze



Optický systém družice FUSE: dva páry primárních zrcadel jsou napařeny různými odraznými vrstvami, podobně upraveny jsou i odpovídající reflexní optické mřížky pro spektrální rozbor

řádanými v řadě. Byly použity ve dvou spektrografech, s malou a velkou disperzí; při velké disperzi se ale daly zachytit jen krátké úseky spektra. Daleko úspěšnější proto byl spektrograf druhé generace STIS, s echelle mřížkou a už většími detektory s rozměry 1024×1024 prvků; pro oblast 200 až 1030 nm je detektorem CCD, pro dvě krátkovlnné oblasti to jsou zařízení MAMA (*MultiAnode Microchannel Array*). Hlavní těžiště tohoto spektrografu bylo v pozorování extragalaktických objektů. U přístroje se brzy pokazilo napájení a pracoval jen krátce, v roce 2009 jej ale astronauté dokázali opravit.

Není příliš známo, že i Rusko postavilo velký dalekohled pro UV obor s názvem *Spektrum-UV* a se zrcadlem o průměru 170 cm. Měl být vyslán na dráhu v roce 2001, k vypuštění ale nedošlo.

Stavbu přístrojů pro UV obor omezují vlastnosti optických materiálů – jak propustnost u čoček či optických okének, tak odraznost zrcadel. Propustnost skel sahající

nejhlouběji do UV oblasti mají fluority,  $MgF_2$  do 120 a  $LiF$  do 114 nm. Dosáhnout ke kratším vlnovým délkám je obtížné i u zrcadel, jsou na nich nezbytné exotické povrchy. V devadesátých letech pracovala družice EUVE (*Extreme UV Explorer*) v oblasti 7 až 76 nm, navazující tedy už na rentgenové záření. I její zrcadlový teleskop byl obdobou zrcadel používaných pro rentgenové záření, kde se využívají tečné odrazy. Zaměřila osm set objektů, zčásti galaktických, zčásti extragalaktických.

Několik menších přístrojů bylo krátkodobě v provozu na ISS a jiných stanicích, větším přístrojem pro UV oblast pod 115 nm pak byla až družice FUSE (*Far Ultraviolet Spectroscopic Explorer*), vypuštěná v roce 1999.

V této oblasti nedostupné pro HST je totiž řada důležitých spektrálních čar. Družice měla optiku rozdělenou pro oblasti 90,5 až 110 nm a 105 až 120 nm, vždy se zrcadly s plochou ekvivalentní průměru 60 cm. Předpokládalo se, že v okolí galaktické roviny bude dosah jen malý, protože v dané oblasti je silná absorpce mezihvězdného vodíku. Ale jedním ze zajímavých výsledků družice bylo zjištění, že lze pozorovat i vzdálené objekty

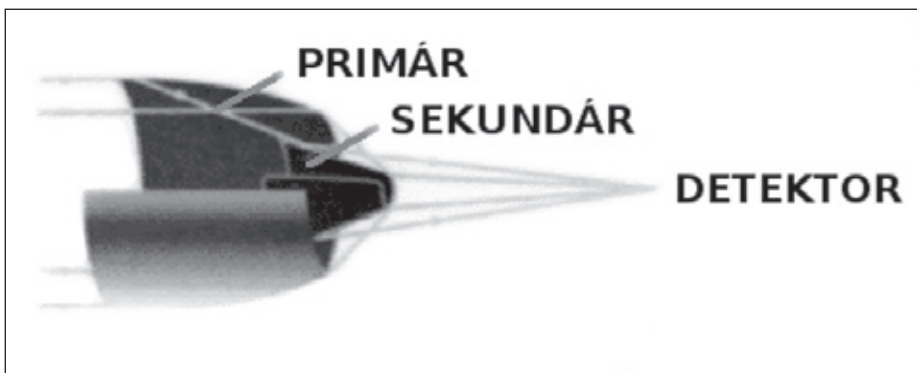
– mezihvězdné prostředí je velmi nehomogenní a obsahuje řadu oken.

Další družicí pro obor UV je GALEX (*Galaxy Evolution Explorer*). Od roku 2003 mapuje celou oblohu ve dvou spektrálních oblastech, FUV (vzdálená oblast UV) a NUV (blízká oblast), a má zejména hledat aktivní galaxie. Teleskop o průměru 50 cm je vybaven širokoúhloú kamerou, pole má průměr 1,2 stupně. Jenže přístroj FUV nepracuje správně a práce družice pravděpodobně skončí v roce 2012.

V současnosti je HST vybaven též spektrografem COS (*Cosmic Origins Spectrograph*) pro obor 115 až 320 nm. Má dva kanály: 115 až 178 nm, kde je detektorem MCP (*MultiChannel Plate*) s 2×16384 elementy, pro 170 až 320 nm je detektorem MAMA. Je to spektrograf s malou až střední disperzí (STIS má i velkou disperzi), a ono *origins* – „počátky“ – v názvu znamená, že těžištěm jeho práce má být studium velkých kosmických struktur, vzniklých krátce po počátku vesmíru. Tyto struktury, to jest galaktická i mezagalaktická hmota, se projevují absorpčními čarami ve spektrech vzdálených kvasarů.

V UV oboru je zvykem, že všechna získaná data jsou poskytována celé odborné veřejnosti. Některá ihned po základním zpracování, jiná po uplynutí doby – zpravidla jednoho roku – po kterou jsou chráněna pro astronoma, jenž dostal přidělen pozorovací čas na základě posouzení předloženého pozorovacího programu.

Jak známo, nástupce HST – Webby teleskop – nebude moci pracovat v UV oboru. Uvažuje se o družici se zrcadlem o průměru kolem jednoho metru, která tento nedostatek nahradí, zatím to ale jsou jen předběžné úvahy.



Optický systém družice EUVE: primárním zrcadlem je dutý paraboloid, sekundární zrcadlo má tvar hyperboloidu