

ŰRCSILLAGÁSZAT

ULTRAIBOLYA- CSILLAGÁSZAT

Összeállította: Szabados László

Szegedi Tudományegyetem
2020

Az ultraibolya színeképtartomány

Felfedezése: 1801, Johann Ritter (fény hatására megfeketedett az ezüstnitrát).

Az ultraibolya (UV) tartomány felosztása:

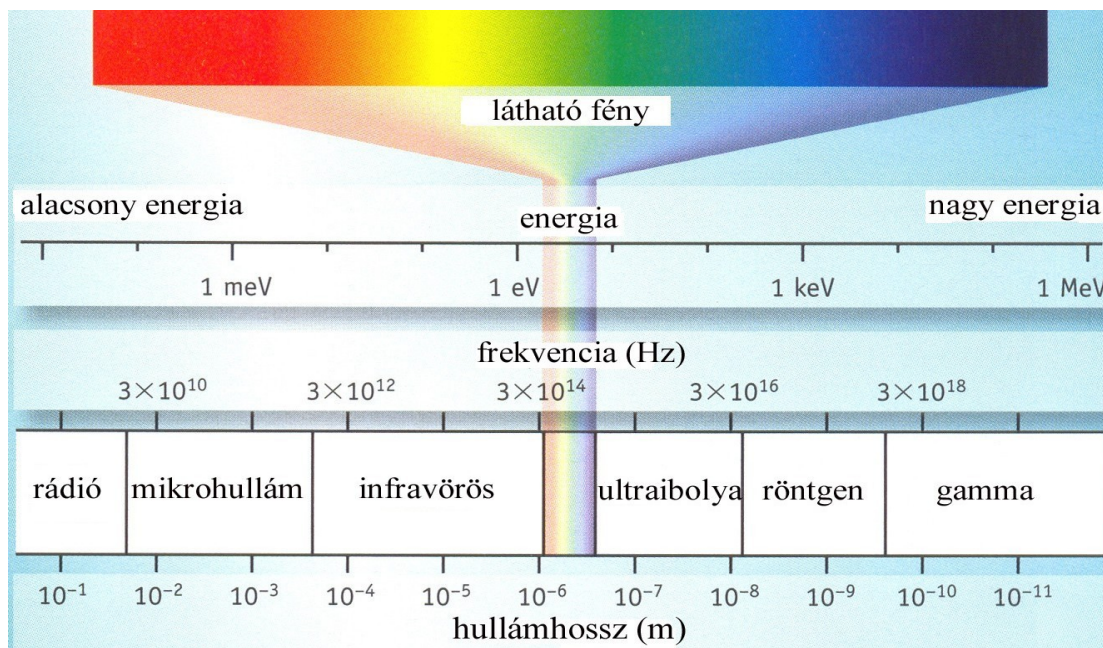
közeli UV: $200 \text{ nm} < \lambda < 320 \text{ nm}$

távoli UV: $91,15 \text{ nm} < \lambda < 200 \text{ nm}$

extrém UV (EUV) $6 \text{ nm} < \lambda < 91,15 \text{ nm}$ (Lyman-határ)

A 6 nm-nél rövidebb hullámhossz (200 eV feletti fotonenergia):
röntgensugárzás.

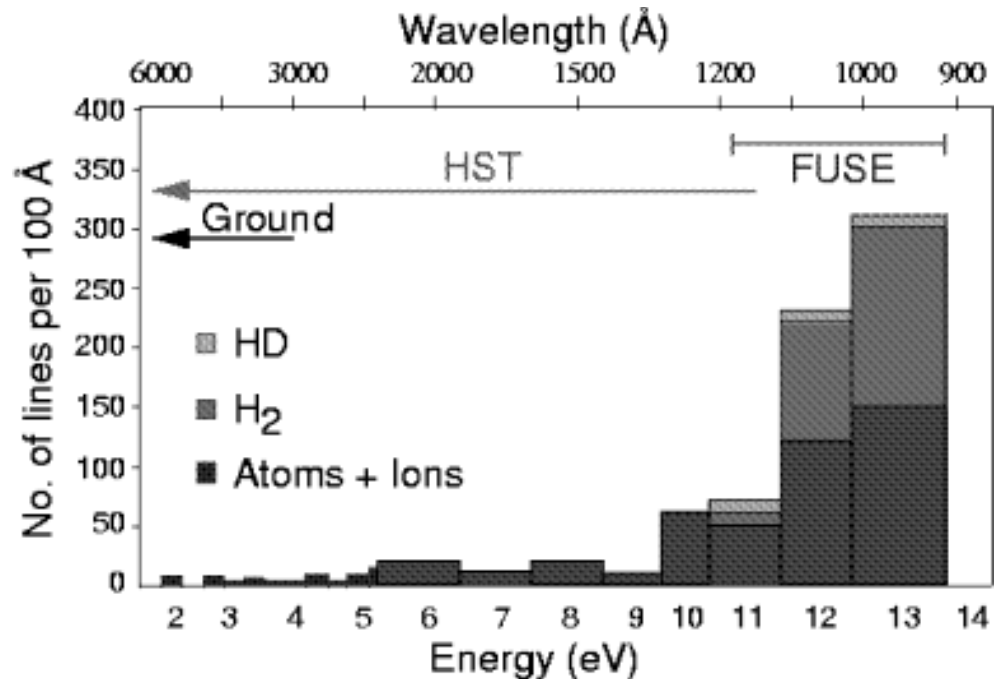
Az UV sugárzást
a földi légköri ózon
elnyeli.



Az UV színeképtartomány jelentősége

- A közönséges atomok, ionok, molekulák rezonanciaátmenete (alapállapotba ugrás) az UV tartományba esik (H, He, O, C, Ne, Ni, H₂, N₂, CO, OH, CS, C₂ ...); a rezonanciavonalak erősebbek, mint 2 gerjesztett állapot közötti átmenetiei, főleg alacsony hőmérsékleten (bolygólégkör, csillagközi anyag); a valódi kémiai összetétel ilyen vonalak alapján határozható meg;
- Forró (>10000 K) csillagok hőmérsékleti sugárzásának csúcsa ide esik; a hőmérséklet és luminozitás meghatározása az UV tartomány vizsgálatával;
- A napaktiváshoz hasonló jelenségek (pl. kromoszféra) UV spektrumból.
- A megfigyelési technika hasonló az optikaihoz;
- Az égi háttér alacsony (az

optikainak kb. 50-ed része).
De zavar a sarki fény, légkörfény (H Ly- α rezonáns szórása a geokoronában és az egész interplanetáris térben) a távoli UV-ben. LEO pályán a légköri OI-sávok (130,2, 135,6 nm) és az N₂-sávok (140–180 nm) megfelelő szűrőkkel kivághatók.



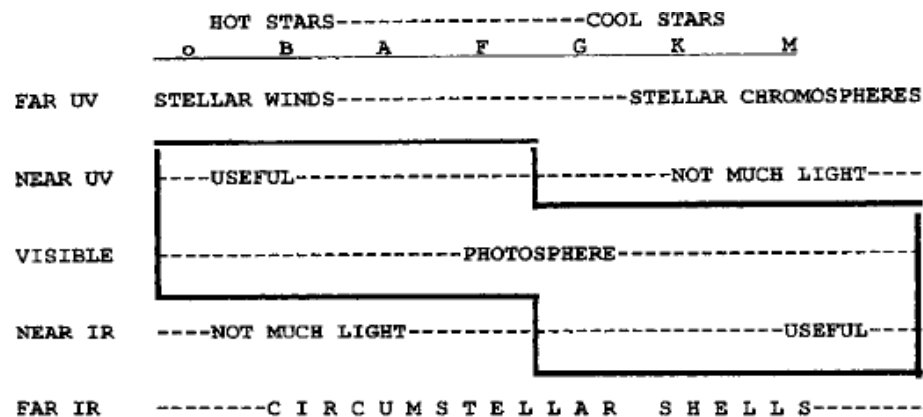
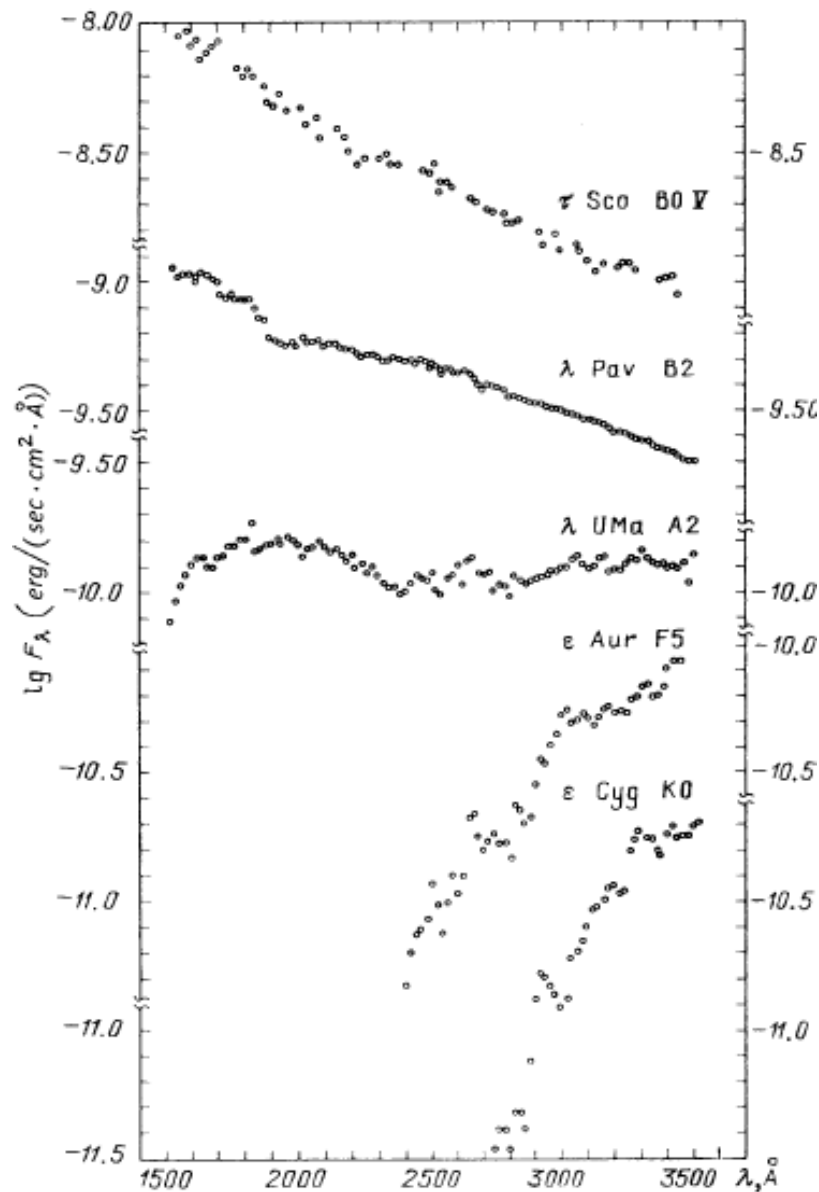
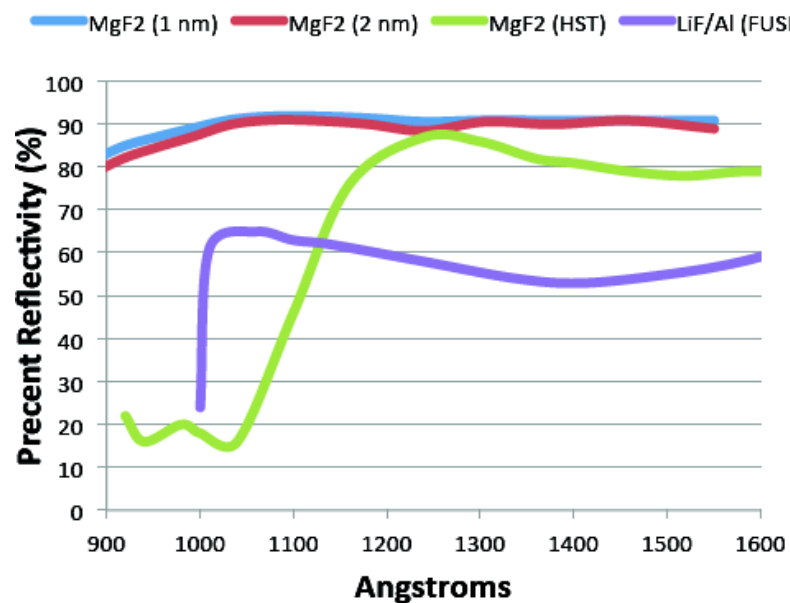


Figure 4. Table summarizing the choices of wavelength regions, as well as some of the general advantages and disadvantages for the various types of stars.



Az UV-detektálás műszerei

Optika: a rövid hullámhosszak elnyelődnek az üvegben, 120 nm alatt a tükör sem reflektálja (EUV már a röntgensugárzáshoz hasonlít; Wolter-távcső). Minimalizálni kell az optikai elemek számát (spektroszkópiánál ez nehézség). Fontos a kis tömeg.

A reflektáló Al-réteget MgF_2 (vagy LiF) **bevonattal** fedik, a Ly-határ körül pedig SiC-réteggel (korábban Os- vagy Ir-bevonat).

Detektor: kezdetben Geiger-számlálóval, majd filmre (nem lineáris, rossz hatásfok, emulzió hibái), ma már elektronikus a detektálás. Alkalmas a Si-alapú CCD (01–1000 nm között) és a mikrocsatornás lemez.

CCD: hátulról megvilágított chip kell $\lambda < 400$ nm esetén. A detektálási hatásfok javítására néhány száz nm vastag fluoreszkáló foszforréteget visznek rá, ami a $\lambda < 420$ nm-es sugárzást kb. 520 nm-es optikai fotonokká alakítja. A HST WFPC2 UV-érzékeny detektora $2,5 \times 2,5$ négyzetívperces mozaik ilyen bevonattal. A CCD hatásfoka még vákuumban is romlik a felületére rakódó molekuláris szennyeződéstől (UV fotonok kémiai változást idéznek elő, polimerizációs réteg alakul ki).

A CCD-alapú detektálás másik típusa az elektronbombázású CCD-kamera. UV-érzékeny fotokatódból kilépő elektronok nagy energiára gyorsítva esnek a szilárdtest-detektorra. A HST-nél ilyen volt a FOS és a GHRS.

Az UV-detektálás műszerei

Mikrocsatornás lemez (microchannel plate, MCP): a röntgentől a látható fényig alkalmazható, az 1960-as évektől létezik. Ólom-oxid-üveglemezben

mikroszkopikus csatornák

kV-os feszültség hatására

fotoelektron-sokszorozóként működnek.

Kétdimenziós képerősítést tesz lehetővé.

10^{-6} mbar nyomáson működik.

Előnyei a CCD-vel szemben: UV-érzékenység, nincs kiolvasási zaj, gyors hozzáférés az adatokhoz.

Már 10^7 erősítés és 10^6 - 10^7 csatornából álló rendszer is létezik. Pórusátmérő: $6\ \mu\text{m}$.

A leképezett terület a Chandránál (röntgen) $100\ \text{cm}^2$. A detektálási határfok javítására a csatorna bemeneténél alkáli-halidot (CsI vagy KBr) gőzölnek a csatorna anyagára. A határfok így 70% lehet.

Újabb fajtája a Multi-Anode Micro-channel Array vagy MAMA-detektor (HST STIS).

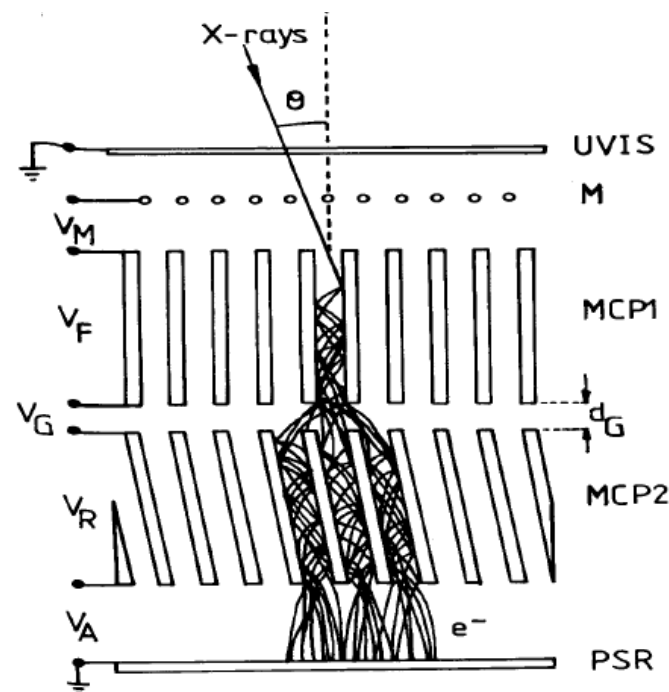


Figure 1. Schematic view of avalanche propagation in a two-stage 'chevron' MCP x-ray detector. The channels of the rear plate (MCP2) are biased at an angle (6° – 15°) to those of the front plate (MCP1) in order to stop positive ions generated at the output end propagating back to the entrance surface and initiating afterpulses. PSR, position-sensitive readout; UVIS, UV-ion shield composed of metalized plastic; M, mesh. Typically, the applied potential differences V_F and V_R are $\sim 1500\ \text{V}$. For electron detection, the front plate input face is held at ground and the PSR at high positive potential.

Table 1. MCP detectors.

Mission (launch date)	Instrument	Comments	References
Einstein Observatory (1978)	High Resolution Imager (HRI)	Provided first high-resolution images in x-ray astronomy	Kellogg E <i>et al</i> 1976 <i>Rev. Sci. Instrum.</i> 47 282
EXOSAT (1983)	Channel Multiplier Array (CMA)	Focal plane detector for small soft x-ray telescopes	Taylor B <i>et al</i> 1981 <i>Space Sci. Rev.</i> 30 479
Rosat (1990)	High Resolution Imager (HRI)	Upgraded copy of Einstein HRI detector, used in pointed mode observations with Rosat x-ray observatory	Zombeck M V <i>et al</i> 1995 <i>Proc. SPIE</i> 2518 304
	Wide Field Camera (WFC)	EUV (60–140 Å) detector, input surface spherically curved to match telescope focal surface	Barstow M A and Sansom A 1990 <i>Proc. SPIE</i> 1344 244
Extreme Ultraviolet Explorer (EUVE) (1992)	–	Seven individual survey and spectrometer detectors operating in the EUV	Vallerga J V <i>et al</i> 1994 <i>Proc. SPIE</i> 2280 57
ALEXIS (1992)	–	Spherically curved detectors at foci of normal incidence multilayer optics optimized for 133 174 and 188 Å	Priedhorsky W C <i>et al</i> 1993 <i>IEEE Trans. Nucl. Sci.</i> 40 863
SOHO (1996)	UVCS	Delay line detector observing solar corona out to 10 solar radii in Ly α and O VI bands	Siegmund O H W <i>et al</i> 1995 <i>Proc. SPIE</i> 2518 344
	SUMER	Delay line detector viewing solar atmosphere in 500–1600 Å band	As UVCS
Hubble Space Telescope	STIS	MAMA detector for Space Telescope Imaging Spectrometer	Joseph C <i>et al</i> 1994 <i>Proc. SPIE</i> 2282 116
	COS	Cosmic Origins Spectrograph—delay line detector for 2002 HST refurbishment mission	http://www.ozma.ssl.berkeley.edu
Chandra (1999)	High Resolution Camera (HRC-I and HRC-S)	Large area imager 93×93 mm ² area, spectrometer readout detector 300×20 mm ² ; Radioisotope-free glass	http://hea-www.harvard.edu/HRC/HomePage.html
Far Ultraviolet Spectroscopic Explorer (FUSE) (1999)	–	170×12 mm ² delay line detector with 18 μ m spatial resolution, working in the 900–1200 Å band	As COS

Az AB magnitúdó mint fényességegység

Fényesség: λ hullámhossznál monokromatikus magnitúdó:

$m_\lambda = -2,5 \log(f_\lambda) - 21,175$ ahol f_λ a forrás fluxussűrűsége ($\text{erg/cm}^2/\text{s}/\text{\AA}$).

UV-ben gyakran az AB -rendszerbeli magnitúdót használják (Oke & Gunn, 1983); minden λ -n 3631 Jy legyen a spektrális fluxussűrűség

($1 \text{ Jy} = 10^{-26} \text{ W/Hz/m}^2 = 10^{-23} \text{ erg/s/Hz/cm}^2$):

$$AB = -2,5 \log(f_\lambda) - 48,60 \text{ (erg/cm}^2/\text{s/Hz) ;}$$

$$AB = -2,5 \log(f_\lambda) - 5 \log \lambda - 2,406 .$$

Az állandót úgy választották, hogy $AB = V$ sima színekép esetén (pl. Vega – de a Vega színeképe csak az optikai tartományban „normális”). Állandó fluxus/frekvenciatartomány esetén 0 a forrás színindexe.

A két rendszer közötti átszámítás hullámhosszfüggő:

$\lambda = 200 \text{ nm}$ esetén $m_\lambda = AB - 2,26$.

Az UV-csillagászat története

Az 1950-es évek közepétől nem stabilizált Aerobee rakétákkal (USA) UV-fotometria: 35 nm széles sávban 270 nm körül kb. 50 fényes csillag UV fluxusa.

1961: színekép szkennelő rácsspektrométerrel.

1965: 3 tengely mentén stabilizált rakétákról pontra irányozással spektrofotometria, de legfeljebb 5 percig (fényes források).

(közben: 1962: John Glenn, 35 mm-es kamera + objektívprizma; kudarc)

Fő várakozások és kezdeti eredmények az űrszondák előtt

Forró csillagok: hőmérséklet, légköri elemgyakoriság, felszíni gravitációs gyorsulás (azonos elem 2-3 ionizációs állapotú vonalából).

Eredmények: szél és tömegvesztés korai szuperóriásokból (~1000 km/s, meghaladja a szökési sebességet); a tömegvesztés nő a hőmérséklettel és a luminozitással, magas ionizáció (szuperionizáció) jelzi a fotoszferikusnál magasabb hőmérsékletet.

Nap-típusú és hideg csillagok: a kromoszféra színeképe (Mg rezonancia-dublett, az optikai CaII H+K dublettnak felel meg).

Eredmények: van kromoszféra a Nap rokonainál (a vonalak gerjesztettsége alapján forró); a hideg csillagokat pedig hideg és kiterjedt légkör veszi körül, és van átmenet a két csoport között.

Az UV-csillagászat története

Szoros és kölcsönható kettőscsillagok: forró, de halvány kompakt) kísérők kimutatása, kataklizmikus változóknál zajló jelenségek megértése. Eredmények: akkréciós korong léte és modellje UV- és röntgenmérésekből.

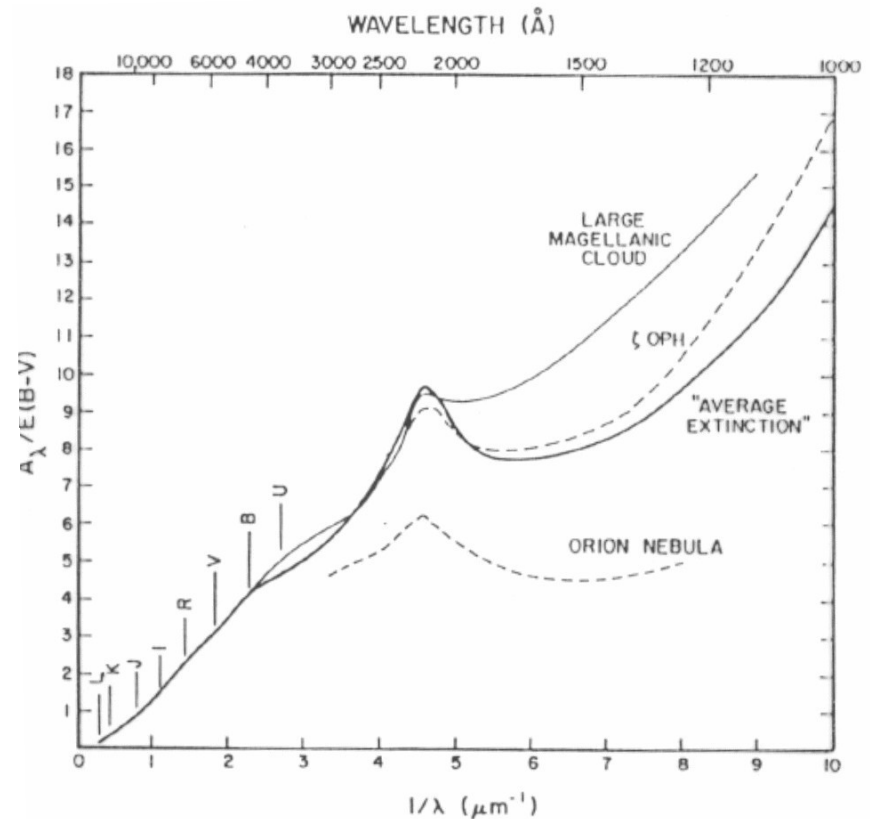
Csillagközi anyag: rengeteg elem rezonanciavonala (optikaiba csak a CaII, CaI és NaI vonalai esnek), kémiai összetétel és eloszlás.

Eredmények: a csillagközi extinkció hullámhosszfüggése: maximum 217,5 nm-nél (*teljes meglepetés*); bizonyos elemek relatív hiánya, a csillagközi anyag inhomogenitása (néhány atom/cm³-től 0,001 atom/cm³-ig).

Ködök, planetáris ködök: sokszorosan ionizált elemek vonalai láthatók.

Gömbhalmazok: forró csillagpopuláció kimutatása.

Galaxisok: a forró csillagok és a ködök térbeli eloszlása vizsgálható.



UV-csillagászati űreszközök időrendben

- OA0-2:** indítása 1968. dec. 7 (NASA).; az első szisztematikus UV fotometria és spektrofotometria fényes csillagokról, gömbhalmazokról és közeli galaxisokról 20-40 cm-es távcsövekkel; $V=13^m$ -ig fluxus, 6-7^m-ig 1 perc alatt színekép. 1973 elejéig mért.
- UV-kamera [Celescope] (SAO): 4 db, 120–290 nm között (széles sávú fotometria), katalógus 1973-ban jelent meg.
 - Közepes diszperziójú spektrográf (GSFC)
 - Fotométer (UWisc): 4 db, 100–425 nm között.
- Főbb eredmények: csillagközi extinkciós görbe 17 csillag irányában; eltérő $E(B-V)$; a maximális extinkció 217,5 nm-nél; 6 gömbhalmaz és 35 galaxis (különbféle típusúak) integrált sugárzása; M31 közepén váratlan távoli-UV-excesszus.

Second OA0-2 Filter Photometry Catalogue

Cat#	HD	Name	Sp/Lum	V	B-V	U-B	Ref	UV	4250	3320	2980	2940	2460	2380	2035	1910	1680	1550	1430	1330
123			G5V	5.96	0.67	0.20	1V		6.07	6.80			9.09							
166			K0V	6.13	0.75	0.33	1V	I	6.32	7.11	7.76		9.96							
829			B2V	6.73	-0.13	-0.70	1	IAT	5.91	5.56	5.27		4.96			4.34	3.90		3.76	3.92
1061		UU Psc	F0IV	5.79	0.31	0.04	1V	I T		6.21	6.44		7.05							
1280		Tht And	A2V	4.61	0.06	0.04	1V	IAT	4.05	4.79	4.79		4.90			4.52				
1438		26 And	B8V	6.11	-0.08	-0.35	1	T	5.34	5.50	5.31		5.13			4.56		4.38	4.29	4.50
2261		Alf Phe	K0III	2.39	1.09	0.88	1	IAT	3.04	4.62	5.56		8.43							
2262		Kap Phe	A7V	3.94	0.17	0.11	1	S T				4.36	4.65	4.66	4.46	4.50		6.22		
3229		14 Cet	F5IV	5.93	0.44	-0.02	1	I T	5.75	6.37	6.68		7.73			8.53				
3326			A7p	6.06	0.29		1V	T	5.93	6.67	6.90		7.38			7.45				
3379		53 Psc	B2.5IV	5.89	-0.15	-0.66	1V	T	5.05	4.72	4.41		4.05			3.38	2.92	2.95	2.70	2.68
3443			G8V	5.57	0.72	0.24	1		5.91	6.51	6.95		9.07							
3580			B8V	6.74	-0.11	-0.57	2V	T	5.88	5.89	5.68		5.54			4.97			4.66	4.76

UV-csillagászati űreszközök időrendben

TD-1 (1972): felbocsátó: ESRO (az ESA elődje), a szonda Thor-Delta 1A rakétára volt szerelve, innen ered a neve; az első (még gyenge) égfelmérés; 156,5 nm-en 31215 forrás; nagyobb érzékenységu égfelmérést a GALEX-ig (2003) nem végeztek.

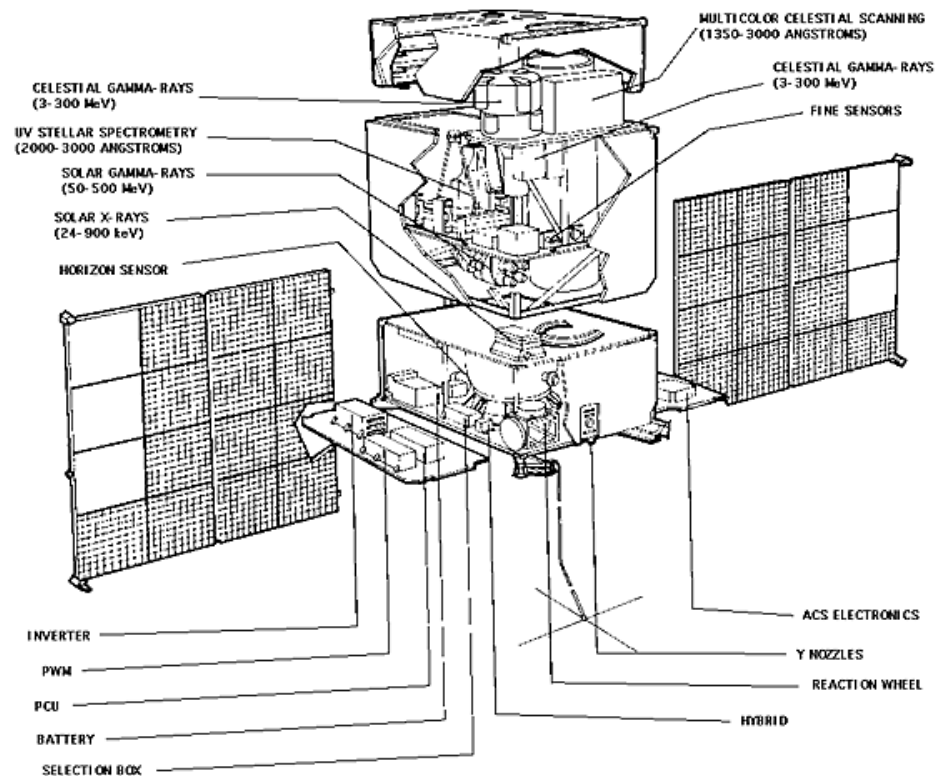
Rácsspektrográf (138–254 nm között) + fotométer 4 hullámhosszon.

E spektrumok alapján dolgozták

ki az UV színeképek osztályozási kritériumait.

A csillagközi extinkció újabb meghatározása.

Röntgen- és gammadetektor is volt a szondán, de az UV észlelések miatt jelentős.



Progress in UV astronomy

Past, present, and future missions

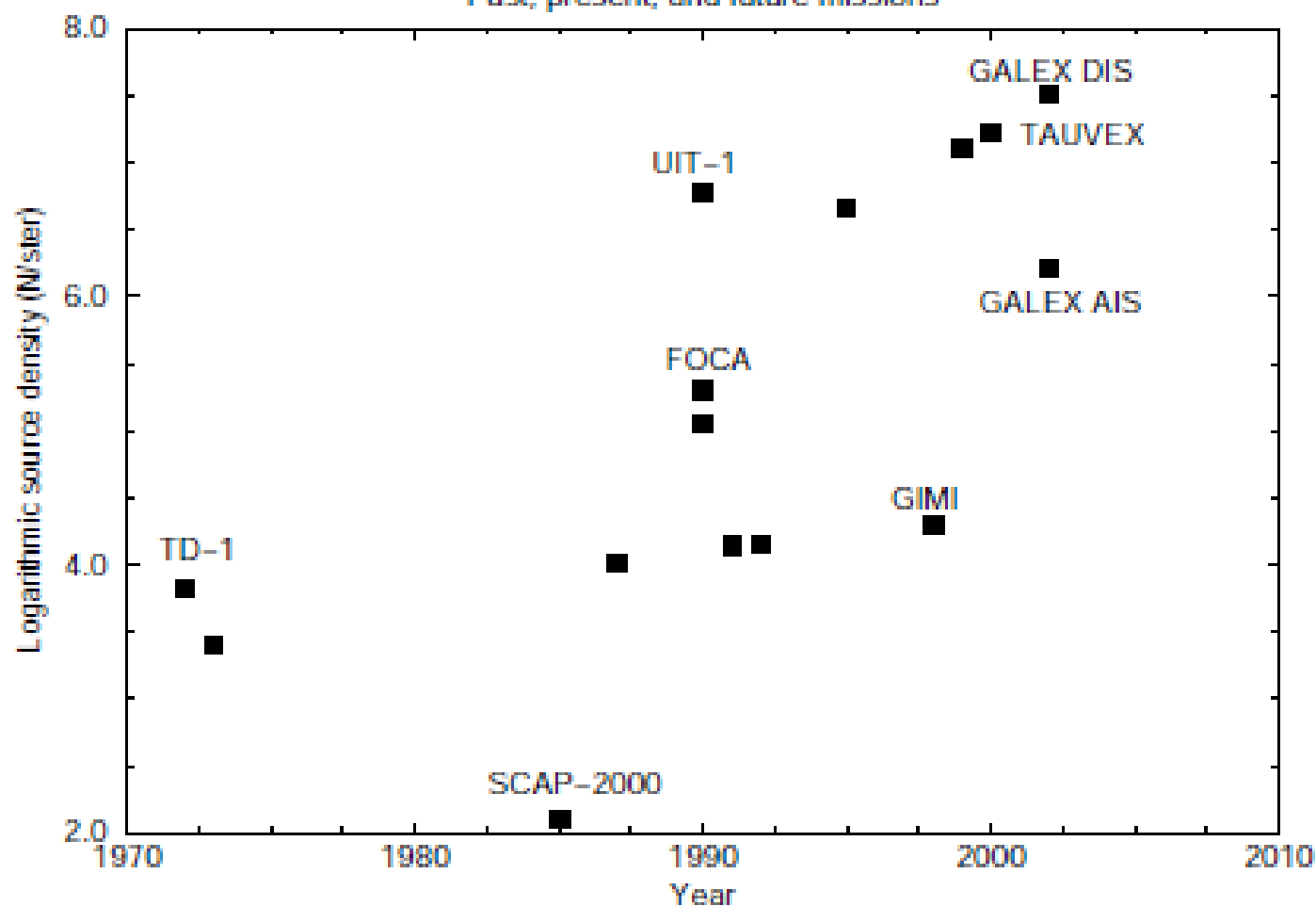


Figure 5. Source density in the UV for various sky surveys. All-sky and partial surveys (past or future) are included.

MSX: 1996–1997

Observatory	Dates	Spectral region (nm)	$R = \lambda / \Delta\lambda$
Rockets	1945–present	NUV,FUV,LUV	range
Copernicus (OAO3)	1972–1981	95–300	20,000
Balloons (BUSS)	1976–1978	NUV (Mg II, etc.)	27,000
IUE	1978–1996	115–330	12,000
IMAPS	1985– 1996	93–115	150,000
HUT	1990, 1995	83–185	400
HST/GHRS	1990–1997	105–320	80,000
EUVE	1992–2001	7–76	200
ORFEUS	1993, 1996	40–128	3200
HST/STIS	1997–2004	115–320	114,000
FUSE	1999–2007	90–119	20,000
XMM-Newton/OM	1999–present	170–650	100
SPEAR	2003	90–175	550
GALEX	2003–2013	134–283	2 bands
SWIFT/UVOT	2004–present	170–600	100
HST/STIS	2009–present	115–320	114,000
HST/COS	2009–present	115–320	18,000

UV and EUV survey missions

Mission name	Inst. FOV (deg.)	Apert. cm.	Spectral range (nm)	Spatial resol'n	Spectral resol'n	Launch year	End of mission	Responsible agency
TD-1	0.25	27.5	157 –274	2'	6	1972	1974	ESRO
S201	20	7	125 –160	3'	NA	1972	1972	NASA (NRL)
FUVCAM	11–20	10	123 –200	3'	3	1978	1991	NASA (NRL)
IUE	4×10^{-3}	45	110 –320	NA	285	1978	1996	NASA, ESA, SERC
SCAP-2000	6	13	190 –210	2'	NA	1979	1990	CNES, CNRS, FNRS
GSFC CAM	11.4	31	140 –262	1'	2	1979	1980	NASA (GSFC)
WF-UVC	66	20	125 –280	5'	1	1983	1983	CNES (LAS)
GLAZAR	1.3	40	150 –180	10–40''	NA	1986	1991	Russia, Armenia
GUV	4	17	130 –164	12'	NA	1987	1987	Japan (ISAS)
UIT	0.67	38	125 –290	3''	2	1990	1995	NASA (GSFC)
FOCA	1.5, 2.3	39	190 –210	10–20''	NA	1991	–	CNES, CNRS, FNRS
FAUST	8	16.1	140 –180	3'.5	NA	1992	1992	NASA, UCB, CNES
WFC	5	57.6	17 –210 eV	2'	9, 120 eV	1990	–	SERC (Leicester)
EUVE	5	40	10 –60	1'	1, 200	1992	–	NASA (Berkeley)
ALEXIS	33	10	13.3–18.8	15'	10	1993	–	NASA (LANL)

1993-ig teljes a lista

UV and EUV survey missions

Mission	Year	Ω (ster)	m_L	θ	$\lambda\lambda$ (nm)	N_{sources}
TD-1	1968-1973	4π	8.8	0.19	150-280	31215
S201	1972	0.96	11	0.30	125-160	6266
WF-UVCAM	1983	1.02	9.3	0.03	193	?
SCAP-2000	1985	1.88	13.5	18.9	200	241
GUV	1987	5×10^{-3}	14.5	0.2	156	52
GSFC CAM	1987+	0.03	16.3	14.4	242	~ 200
FOCA	1990+	0.02	19	377	200	~ 4000
UIT-1	1990	3.8×10^{-4}	17	0.48	~ 270	2244
GLAZAR	1990	4.4×10^{-3}	8.7	6×10^{-4}	164	489
FUVCAM	1991	0.09	10	7.5×10^{-3}	133, 178	1252
FAUST	1992	0.33	13.5	3.3	165	4698
UIT 1+2	1990, 1995	1.3×10^{-3}	19	26	152-270	6000?
HST WFPC	1990+	4.3×10^{-4}	21.0	134.8	120-300	50000?
HST STIS	1997+	1.5×10^{-5}	23.8	222.7	120-200	10000?
HST ACS/SBC	1999+	2.4×10^{-5}	24.0	480	120-170	10000?
MSX UVISI	1996-1997	~ 0.01	18.0	50	180-300	?
ARGOS GIMI	1998+	4π	13.6	136	155	2.5×10^5
SRG TAUVE	1999+	0.06	19	1200	135-270	10^6
XMM OUV	1999+	$\sim 6 \times 10^{-3}$	19	~ 100	185-600	$10^5?$
GALEX	2002+	4π	19.4	4.4×10^6	130-300	2×10^7
WFC	1992	4π	—	—	10, 16	479
ALEXIS	1994+	4π	—	—	13-19	50?
EUVE	1992	4π	—	—	7-70	734

UV-csillagászati űreszközök időrendben

OA0-3 = Copernicus: 1972. aug. – 1981. A NASA 80 cm-es távcsöve az addigi legnagyobb méretű és tömegű űrteleszkóp volt.

Már nagy felbontású színeképeket készített: 0,005 és 0,02 nm felbontás 90–160 nm között, 0,01 és 0,04 nm felbontás 200–300 nm között.

A Ly- α (121,6 nm) és a Lyman-ugrás közötti színekép is észlelhető volt.

Rengeteg vonal: H₂, HD, H és D Lyman-sorozata, CII, NII, NIII, OVI, PIV, PV, SIII, SIV, FeIII.

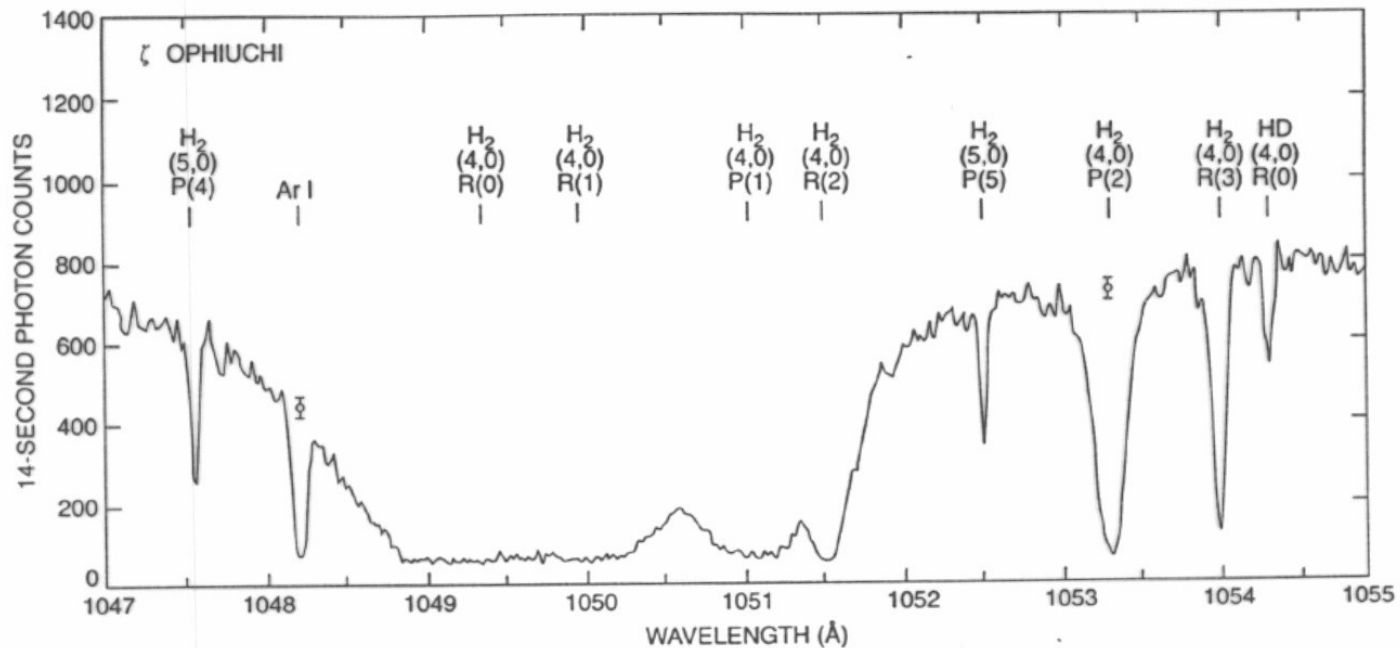


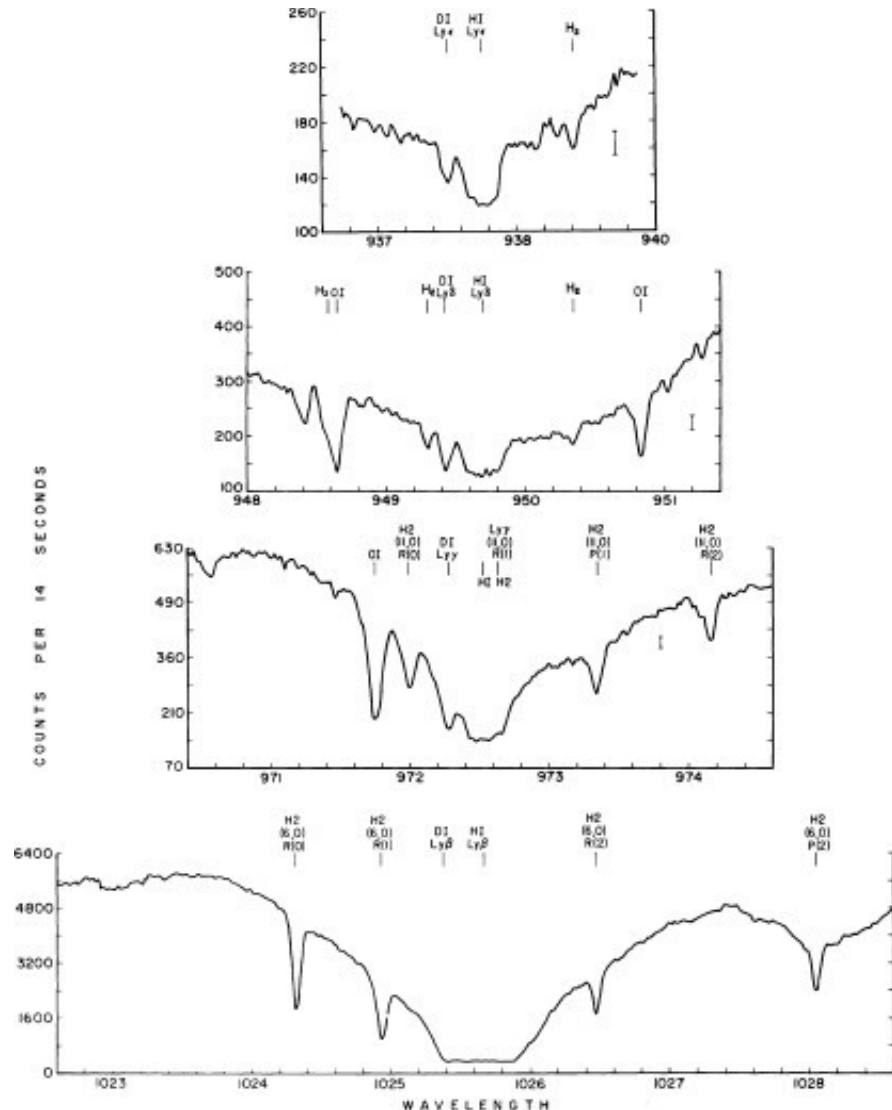
Figure 6 Copernicus Satellite high resolution (0.05 Å) scan of the O 9.5 V star ζ Oph over an 8 Å interval showing the H₂ (4, 0) absorption band near 1050 Å. Absorption from the $J = 0$ to 5 rotational states of the ground vibrational ($v = 0$) level are

UV-csillagászati űreszközök időrendben

OA0-3 = Copernicus:

Halvány csillagokról több napos expozíciós idejű színeképek. A fő cél mégis a csillagközi anyag tanulmányozása volt. A mérései alapján felfedezték a forró csillagközi gázt.

A képen a γ Cas néhány UV színeképe látható.



UV-csillagászati űreszközök időrendben

ANS (holland): 1974}1976 között poláris elliptikus pályán; széles sávú fotometria előre kiválasztott 5000 objektumról (közülük 4000 pontforrás); a kiterjedtek között: LMC, M31, planetáris ködök, gömbhalmazok. Ez idő tájt több emberes projekt:

1972: Apollo–16 (lásd a következő diát)

1973. dec.: Orion–2 műszer a Szojuz–13 fedélzetén; 22 cm-es Cassegrain-távcső + objektívprizma; 300 csillag UV színekét vették filmre;

1973: Skylab

1975: Szojuz–Apollo

1982: Atlantis

A Spacelab–1-en mikrocsatornás lemez a detektor a fényképezés helyett.

Más űrszondákról is végeztek UV-csillagászati méréseket: Mariner, Pioneer, Voyager.

1980-as évek eleje: FAUST (Far-UV Space Telescope)

Később is voltak rakétás és ballonos mérések: NUVIEWS: Narrow-band Ultraviolet Imaging Experiment for Wide Field Surveys, 20 négyzetfokos látómező 1996-tól a GALEX indításáig. FOCA: francia–svájci ballonos mérések (képalkotás galaxisokról), ugyancsak a GALEX előtt.

Far Ultraviolet Camera/Spectrograph

1972 áprilisában az Apollo-16 űrhajósai a Holdon elhelyezték

Far Ultraviolet

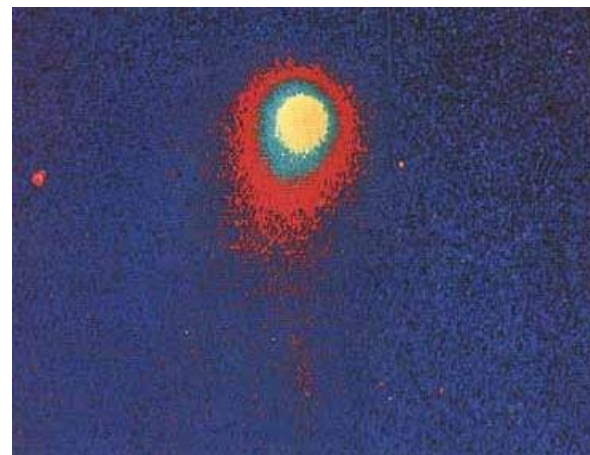
Camera/Spectrograph

műszerrel végeztek méréseket.

Háromlábú állványon 22 kg-os Schmidt-kamera 20 fokos látómezővel. A 3 nm-es felbontású, 30 és 135 nm közötti színeképet filmre rögzítették.

Az alacsony hőmérséklet biztosítására a műszert a holdkomp árnyékába helyezték. 11 objektumot észleltek, közte az LMC-t.

A tartalék távcső módosított változatával 1973–1974-ben a Skylab-4 fedélzetéről végzett űrséta során mértek asztronauták. Jobbra lent: a Kohoutek-üstökös távoli UV hullámhosszon



Asztron

1983-ban indított szovjet űrszonda ultraibolya-csillagászatra. 80 cm átmérőjű távcsöve akkoriban a legnagyobb UV-csillagászati műszer volt. (Továbbá röntgenspektrométer is volt az Asztronon.) 200-200000 km közötti elliptikus pályán keringési periódusa 4 nap volt, ebből 3,5 napig volt kellő távol a Földtől, hogy mérhessen.

1989. júniusig működött.

Tudományos programja:

UV spektrumok 100-nál több különféle típusú csillagról, 30 galaxisról, több tucat ködről, néhány üstökösről.

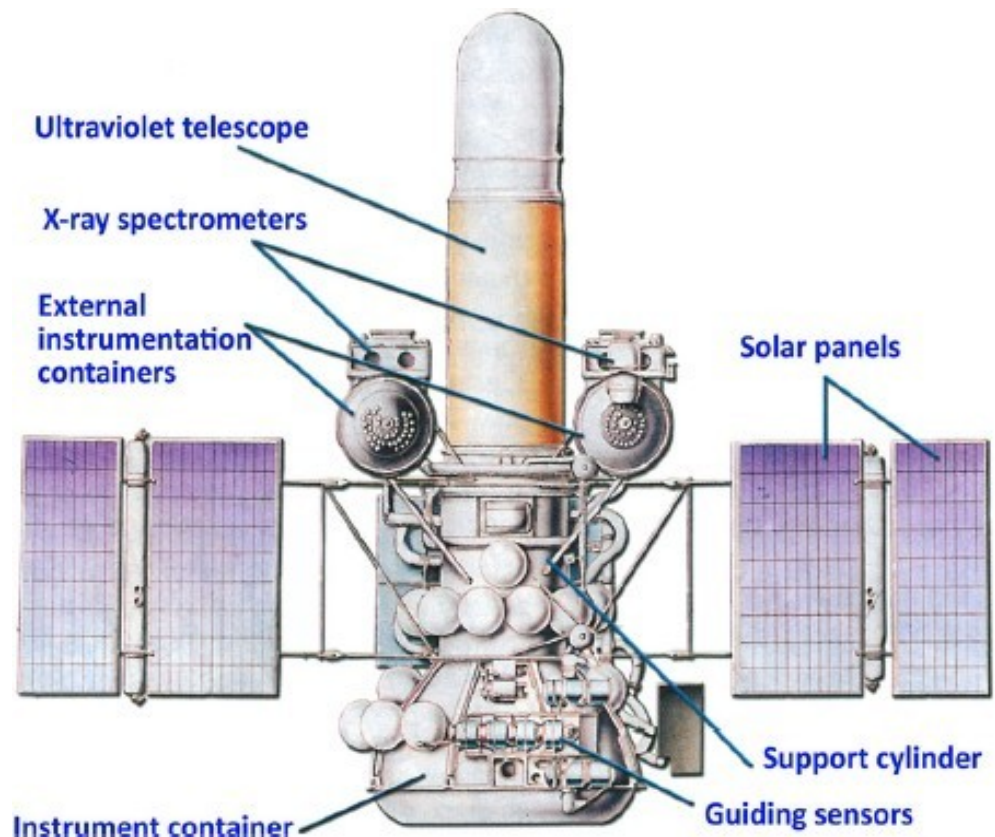
A Halley-üstökös

tömegvesztése

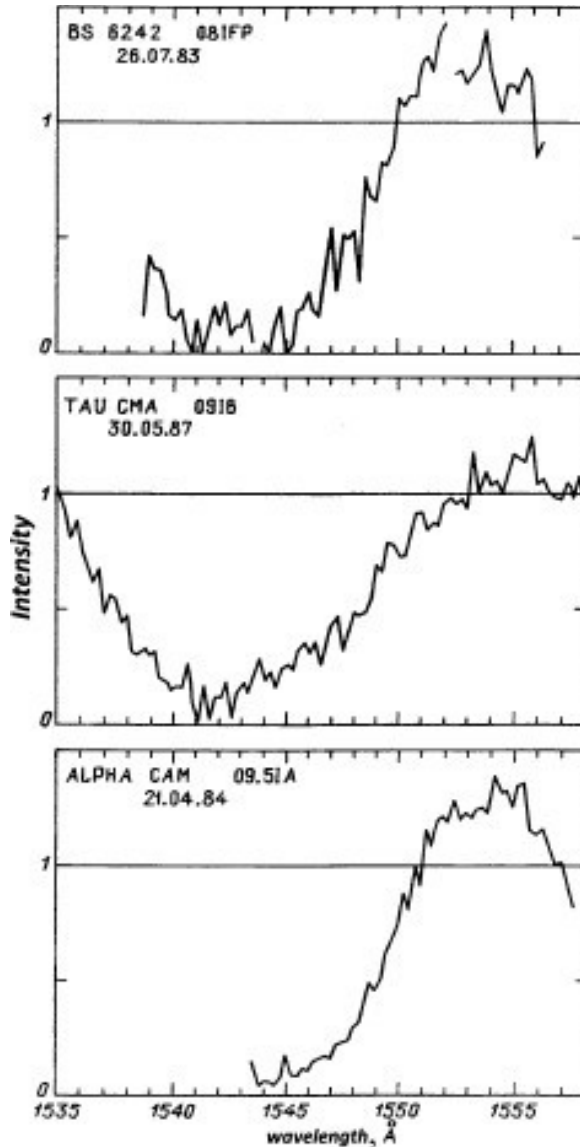
300 megatonna minden

Napközeli során; még

300000 évig marad üstökös.

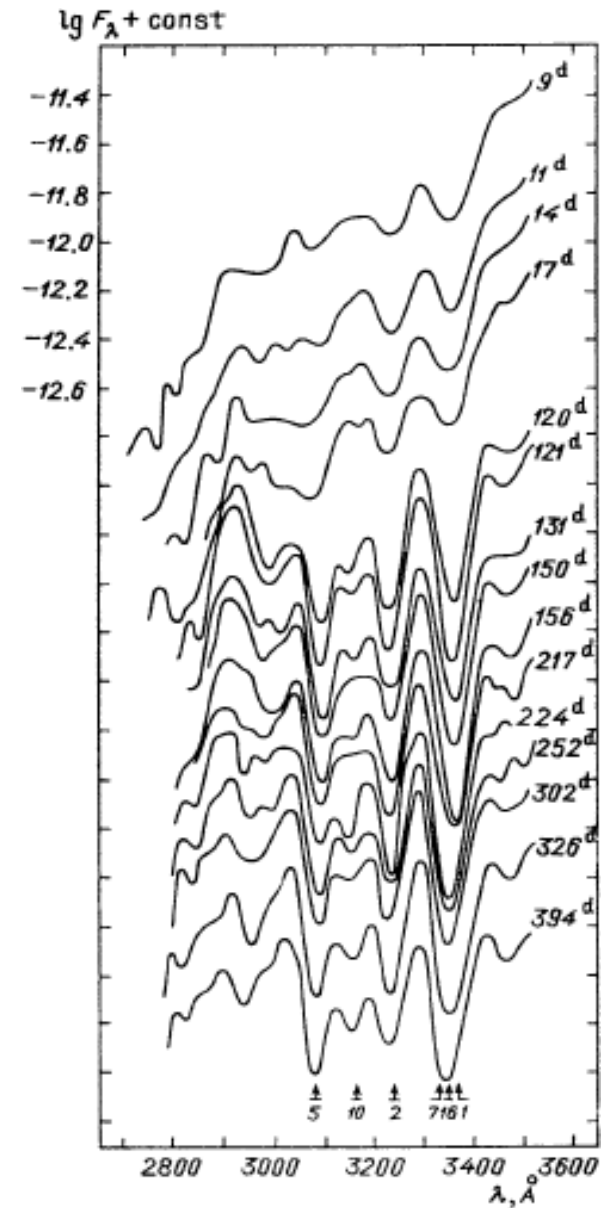


Asztron



Jobbra:
az SN1987A
UV spektruma

Balra:
O típusú
csillagok
UV színeképe



IUE (International Ultraviolet Explorer)

Eredetileg LAS (Large Astronomical Satellite), de az ESRO (1975-től ESA) nem hagyta jóvá. A javaslok a NASA-hoz küldték. Ekkor lett IUE.

1978. I. 26. – 1996. IX.; NASA (2/3), ESA (1/6), SERC (1/6), az első **geoszinkron** obszervatórium.

A HST előtt a leghosszabb ideig működő csillagászati űrszonda volt (további működésre is képes).

Csak színeképek (104470), végleges formában archiválva, szabadon hozzáférhetők.

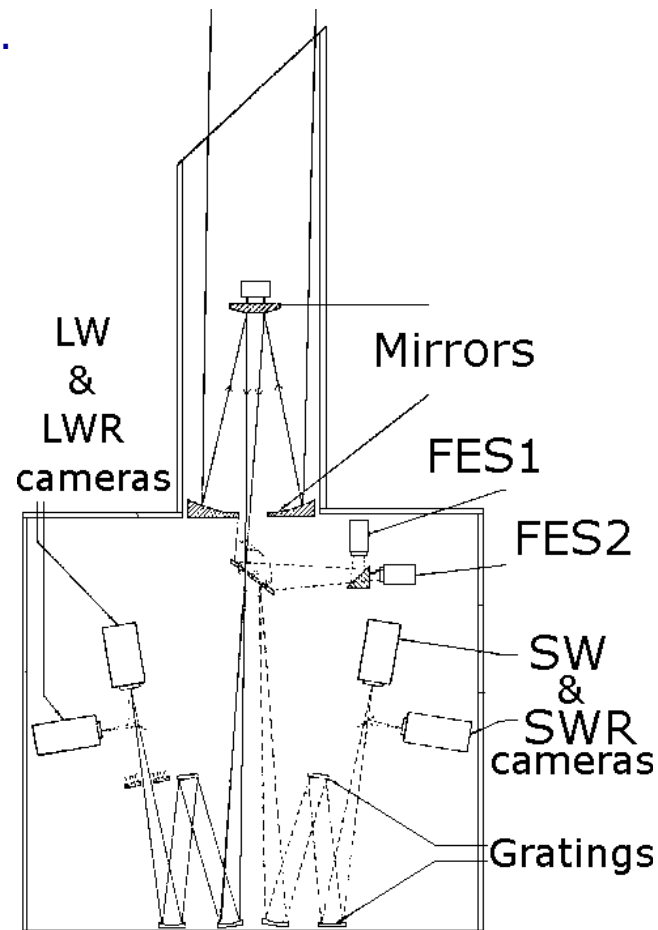
Távcsőve: 45 cm-es RC (Be-főtükör, kvarc segédtükör).

2 echelle-spektrográf
(Vidicon-detektorok):

115–198 nm és 180–320 nm között észlelt 2 felbontással: $R=1000$ és $R=300$.

A Vénusz (-4 magnitúdó) és egy 21 magnitúdós planetáris köd között mindenféle fényességű objektumot észlelt.

Az árnyékolás fontos és sikeres:
a Naptól 40°-ra már lehetett észlelni.



IUE

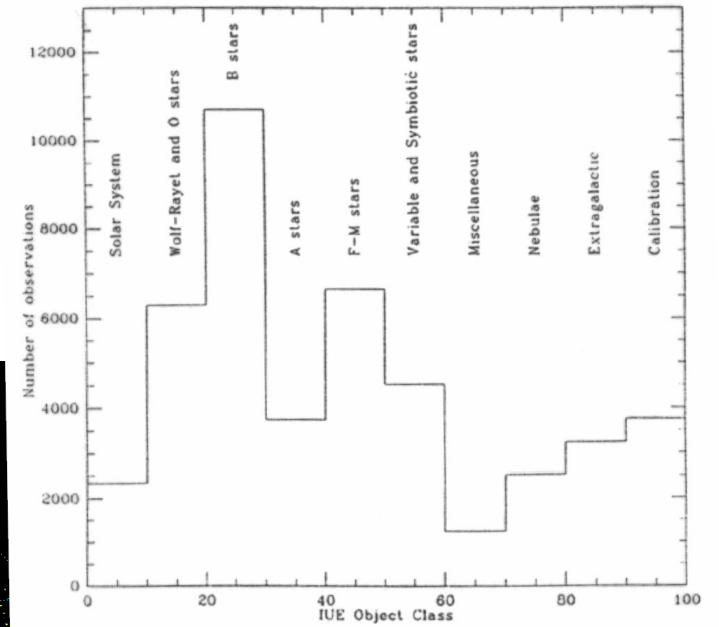
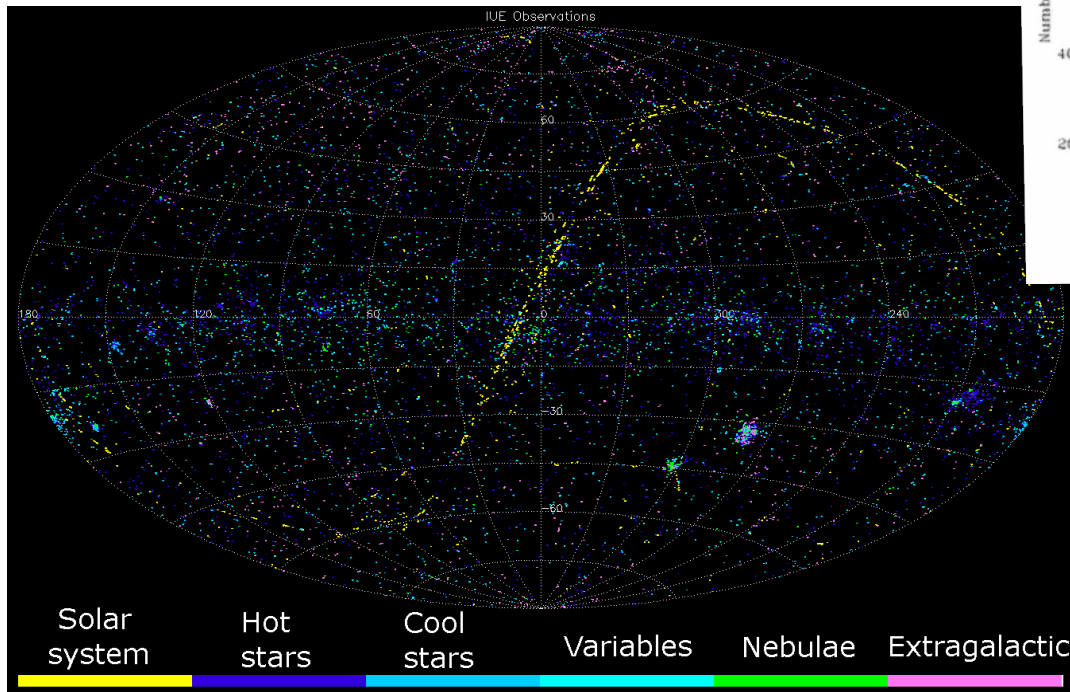
Az IUE céljai:

- Minden színképtípusú csillagról nagy felbontású spektrum a fizikai jellemzők meghatározásához;
 - Anyagáramok vizsgálata kettőscsillagoknál;
 - Halvány csillagok, galaxisok és kvazárok kis felbontású színképének összehasonlítása a nagy felbontásúakéval;
 - Bolygók és üstökösök színképe;
 - Ismételt észlelések a változások követésére;
 - A csillagközi por és gáz csillagspektrumra gyakorolt hatásának vizsgálata.
- 5 éves élettartamra tervezték. 6 giroszkópja közül 4 elromlott (1979, 1981, 1982, 1985). 1 giroszkóp és 2 FES helyzetérzékelő (Fine Error Sensor) elég volt a stabilizálásra. Az észlelési időre pályázni lehetett, az észlelés 2 földi központból (GSFC, VilSpa) történt, obszervatóriumi üzemmódban (egy objektumra max. 16 óra folyamatos expozíció).

A redundáns FES űrfotometriát végzett (az első folyamatos fénygörbe 24 óránál tovább).

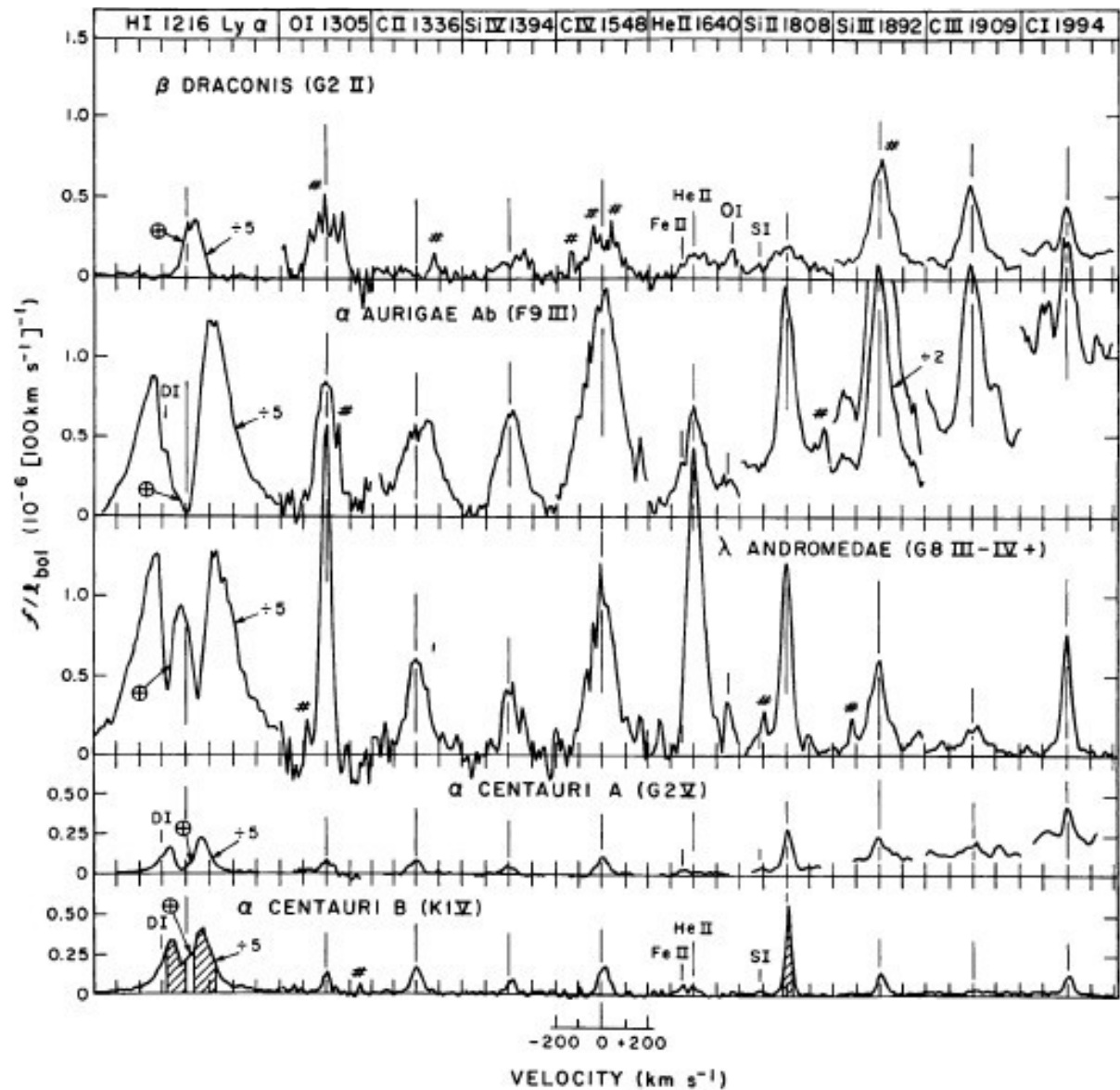
Az utolsó évben már csak az ESA észlelőállomása működött (a hosszú élettartam előnyei és hátrányai). Az 1996-os kikapcsolás fő oka: a villafrancai központ kellett a már működő ISO földi személyzetének.

IUE



IUE

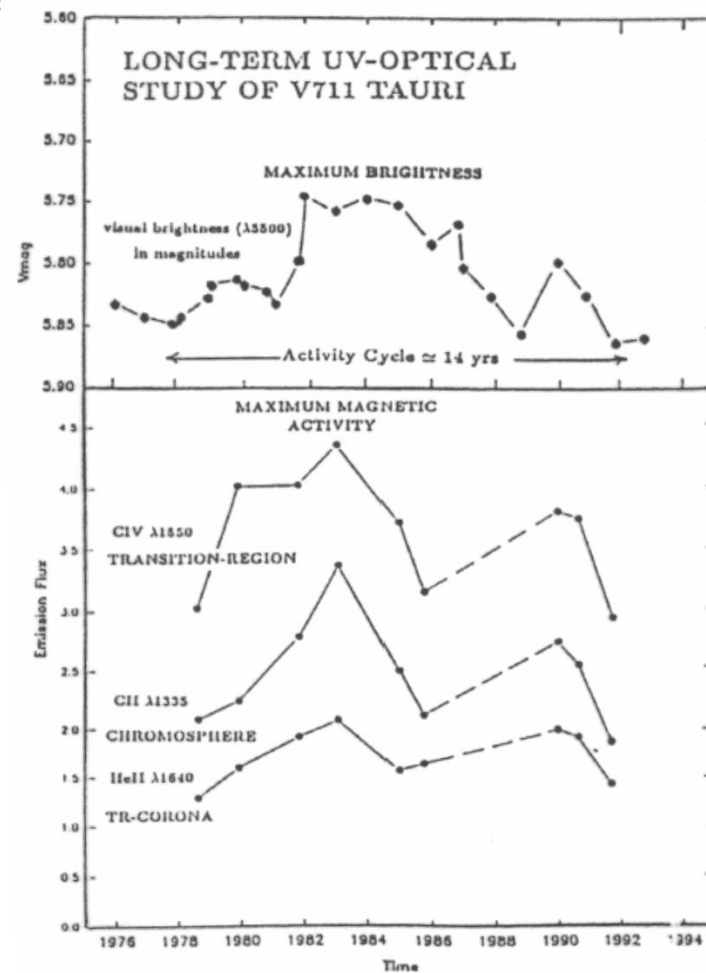
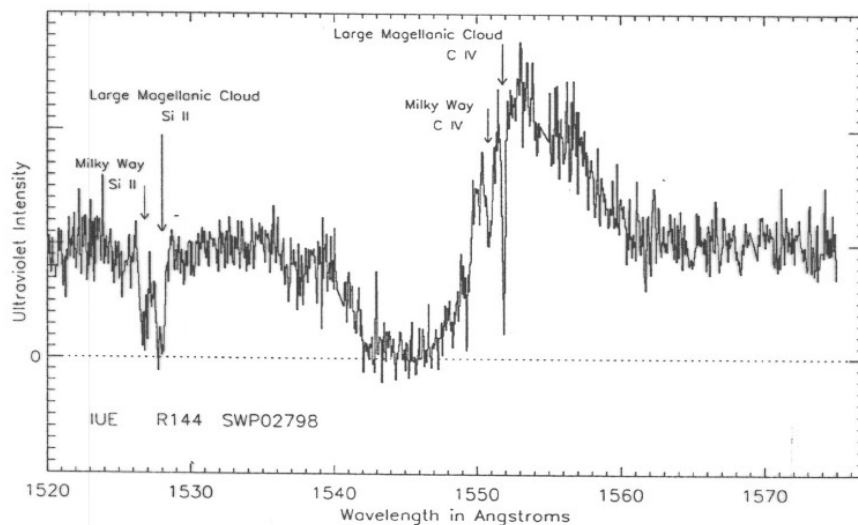
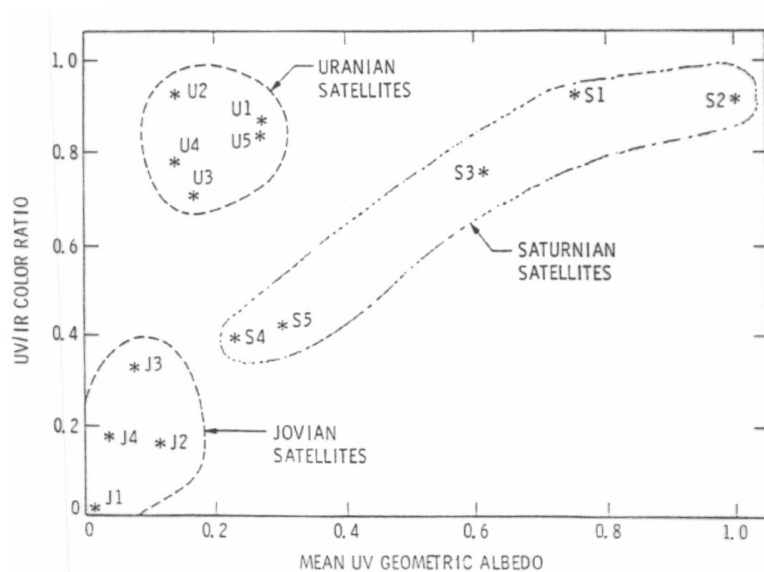
hideg csillagok
IUE-színképe



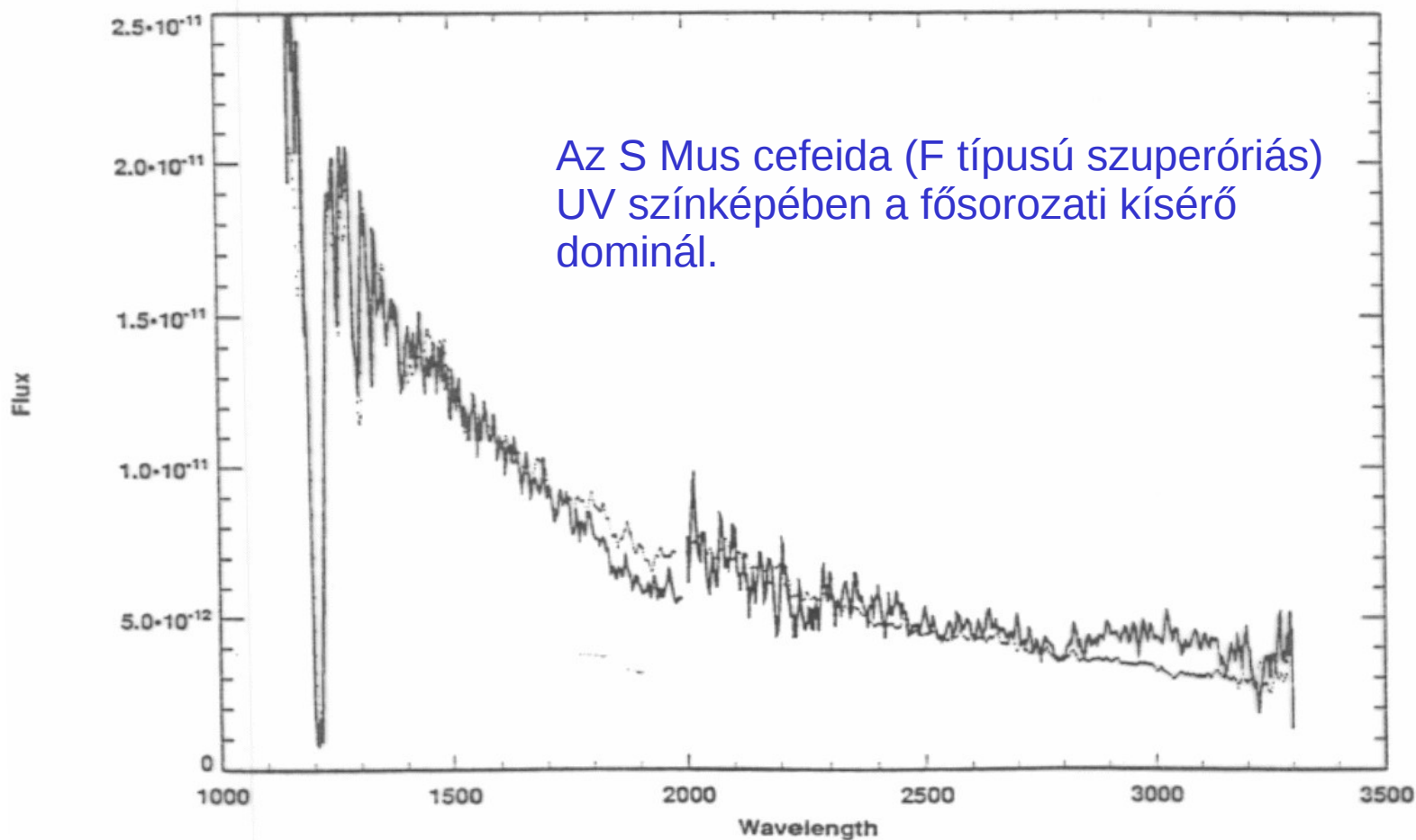
Az IUE fontosabb eredményeiből

- A Jupiter aurórájának felfedezése;
- Üstökösökben a kén első kimutatása;
- Üstökösök vízveszteségének első meghatározása (10 tonna/s);
- WR-csillagok tömegének meghatározása a kettősség alapján;
- Cefeidák forró kísérőinek első detektálása;
- Szupernóva elődcsillagának első azonosítása (14 órával a felfedezés után már észlelte az IUE a SN1987A-t);
- Csillagfoltok kimutatása Doppler-képkalkotással és a napciklus analógiája késői típusú csillagokon;
- Gázáramok kimutatása szoros kettősökben;
- O-Ne-Mg-nóvák felfedezése (legnagyobb tömegű fehér törpék);
- A nagy kiterjedésű galaktikus korona kimutatása;
- AGN mérete az UV-emisszió változásaiból (NGC 4151 Seyfert-galaxis, néhány fénynap méretű a galaxismag);
- Intergalaktikus anyag vizsgálata közeli kvazárok színekében levő Ly α -erdővel (távoliaknál már nem UV-be esik a Ly α -erdő)
- A lokális intersztelláris anyag eloszlása erősen inhomogén, bizonyos látóirányok mentén egészen kis sűrűségű (EUV-ban lehet észlelni a közeli forró csillagokat).

Az IUE fontosabb eredményeiből



Az IUE fontosabb eredményeiből



Az S Mus cefeida (F típusú szuperóriás)
UV színekében a fősorozati kísérő
dominál.

The IUE spectrum of S Mus compared with a B5 V star. S Mus is the solid line; the B5 V star is shown by dots. The wavelength is in Å; the flux is in $\text{erg}^{-1} \text{cm}^{-2} \text{Å}^{-1}$. A five-point smooth has been used on the data.

Az IUE fontosabb eredményeiből

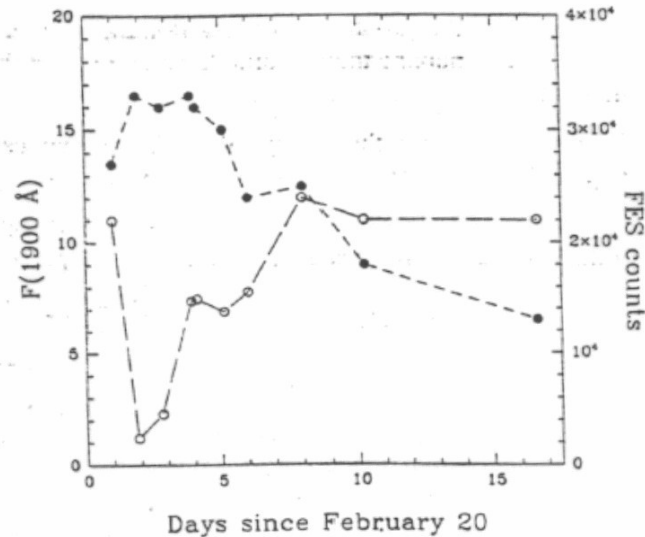
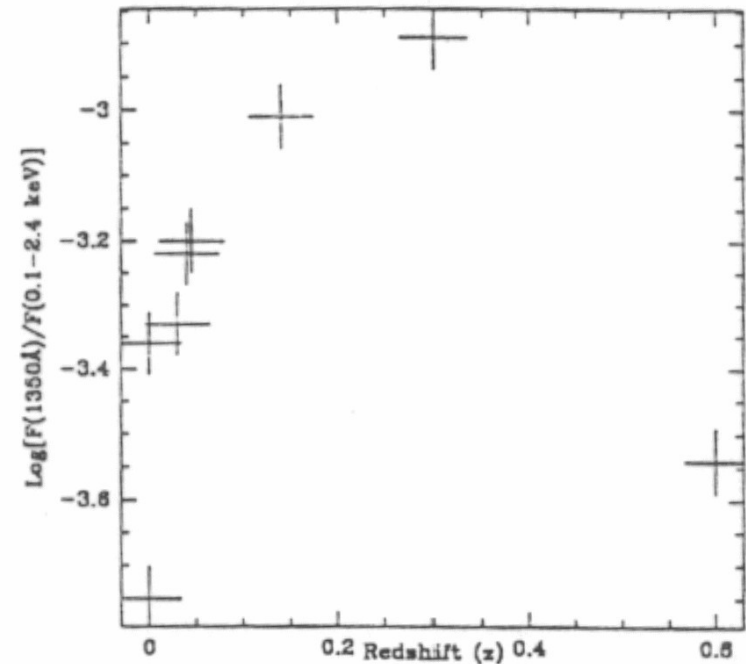


Figure 7. The light curves of Nova Cygni 1992 at 190nm (open circles) and at 550nm (filled circles; IUE-FES). This Nova was discovered before maximum and the fast response of IUE has made it possible to make UV observations before optical maximum. The steep drop in the ultraviolet with sharp rise after 23 February, 1992 had not been seen before in any previous Nova and represents a new phase in outburst, possibly similar to the "UV Flash" as seen for the first time in SN 1987A. During the subsequent gradual rise the spectrum did not significantly change shape, but the thinning of the shell is already clearly seen in the emission lines, which show P-Cygni profiles with a full-width-half-maximum of 1500 km/sec and two sharp absorptions at -1000km/sec and -1800km/sec.



UVX-ray flux ratio versus redshift for a selected sample of AGN observed in the RIASS program.

Az IUE minden mérési adata és a kiredukált spektrumok elérhetők az STScI MAST archívumból.

Közben UV-missziók űrrepülőgéppel

Astro-1: 1990. dec. 2–11. (naptevékenységi maximum idején)

Astro-2: 1995. márc. 2–11. (naptevékenységi minimum idején)

- UIT: képalkotó távcső;
- HUT (Hopkins UV Telescope): 90 cm átmérőjű + spektrográf;
- WUPPE (Wisconsin UV Photo-Polarimetric Experiment): 50 cm átmérőjű távcsővel spektropolarimetria 121 objektumra.

Néhány eredmény:

- NGC 4151 (Seyfert-galaxis) ötszörösére fényesedett a két misszió között; kétnapos skálán is mértek intenzitásváltozást;
- (HUT) SN1006 UV sugárzása: 3000 km/s táguló lökeshullám;
- Távoli kvazárok színekéből a primordiális intergalaktikus közeg;
- (WUPPE) a csillagközi polarizáció UV-ben gyenge, ezért mindig a csillag valódi polarizációját lehet mérni;
- Be-csillagok változó polarizációja a tömegvesztés mechanizmusára utal;
- Korai csillagoknál 10^{-5} - $10^{-4} M_{\text{nap}}/\text{év}$ tömegvesztés, főleg sugárnyomással, de nem gömbszimmetrikus, noha a sugárzási tér olyan.

ORFEUS-Spas: Orbiting Retrievable Far & Extreme Ultraviolet Spectrometers
1993. IX. 12–22. (Discovery), 1996. XI. 19 – XII. 7. (Columbia)

1 m átmérőjű távcsővel nagy felbontású spektrumok EUV és FUV tartományokban 40–125 nm között.

A HST is észlel(t) ultraibolyában

FOS (kis és közepes felbontás, $R=250$ és 1300): 115–550 nm, 165–850 nm, kiterjedt forrásokról ívmásodperc alatti szögfelbontást ért el.

GHRS ($R=80000$): kis hullámhossz-tartományra.

1997-től ezek helyett az STIS:

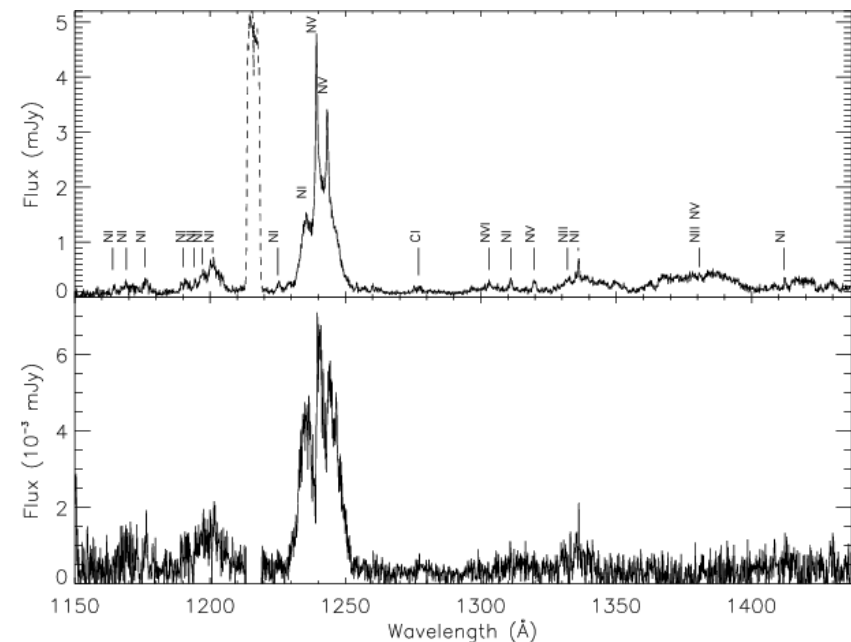
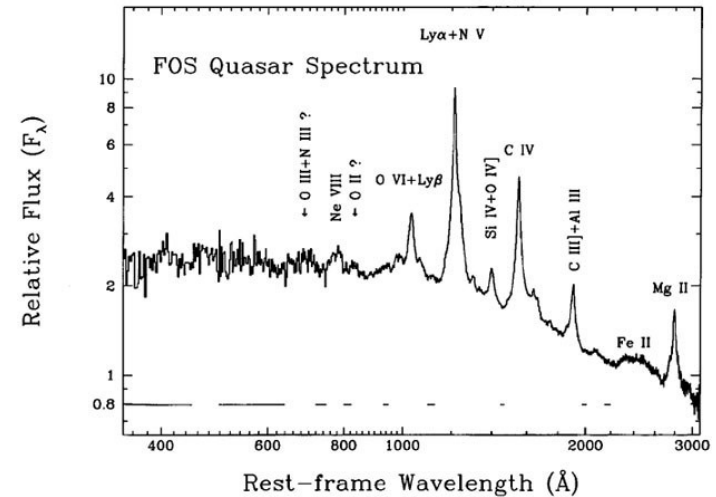
115–1100 nm, MAMA-detektorral, rés-spektrográffal $R=600$ –14000,

echelle-spektrográffal: $R \approx 100000$.

2009-től COS: 90–320 nm; FUV: 115–205 nm (forró csillagok, kataklizmikus változók, AGN); NUV-csatorna:

170–320 nm (Ly- α -erdő, forró intergalaktikus anyag).

A HST UV-csillagászati jelentőségét nem lehet eléggé hangsúlyozni.



A HST is észlel(t) ultraibolyában

HST STIS: az α Centauri UV-színképe a legerősebb átmenetek nevének feltüntetésével; kromoszférikus és koronavonalak (jobbra).

Lent: az α Cen A és B UV színképe a COS műszerrel (kék, ill. piros).

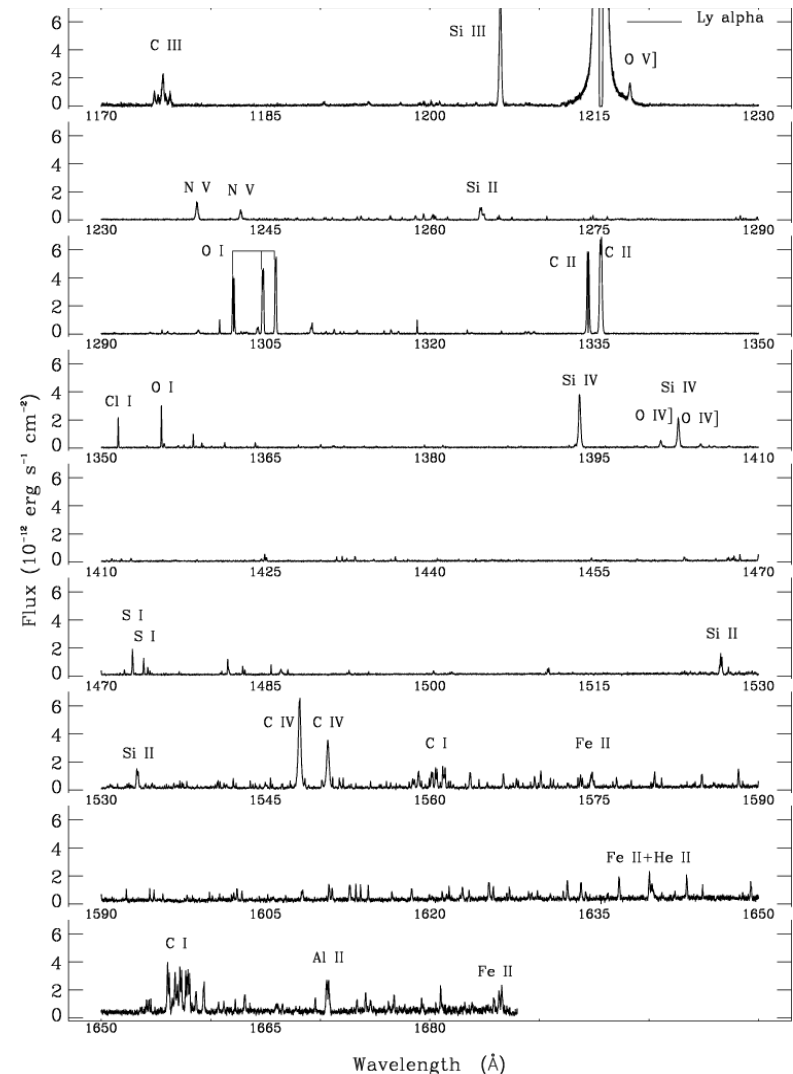
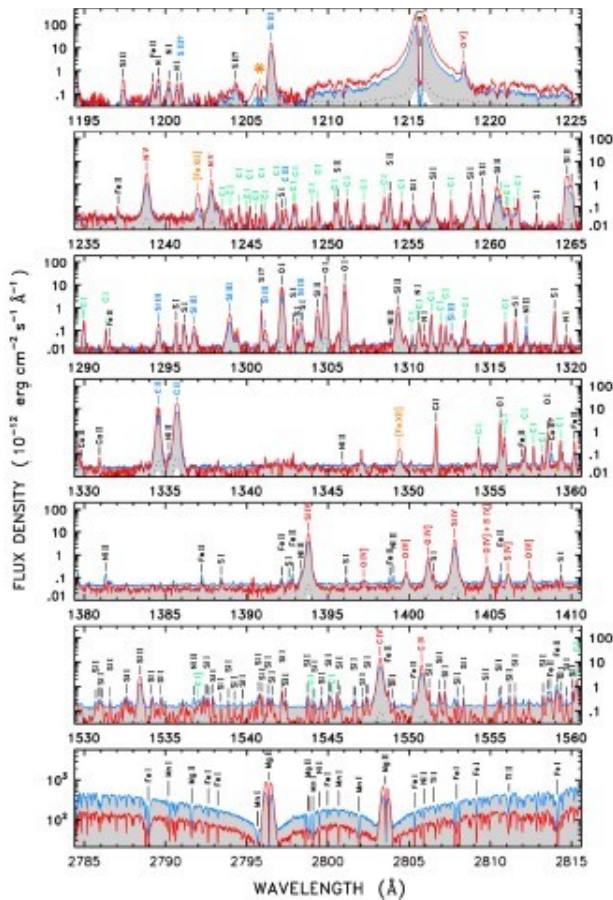


Fig. 16 COS spectrum of α Cen A (blue outline) and α Cen B (red out-

HST- és IUE-színkép összehasonlítása

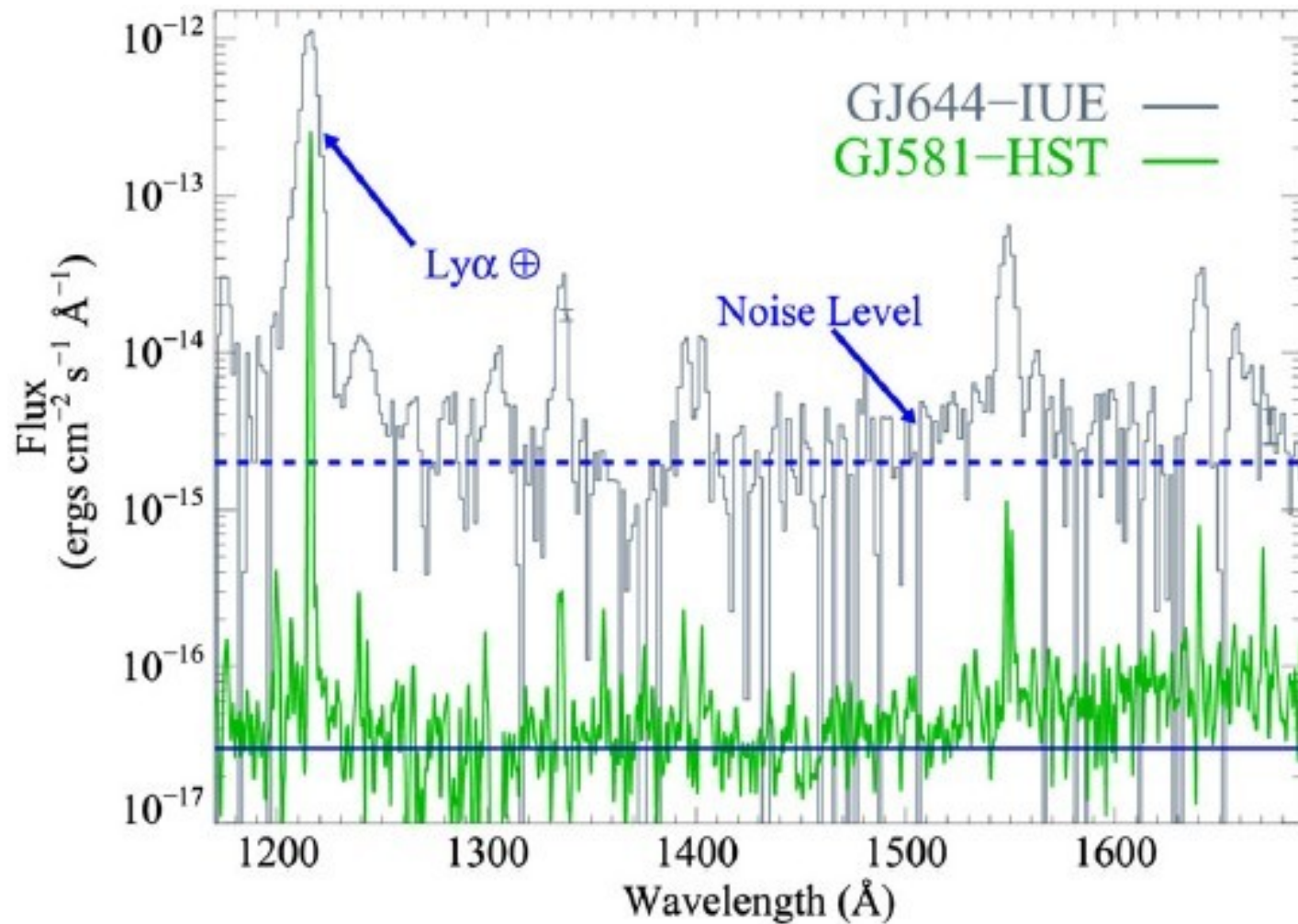


Fig. 17 Comparison of IUE and COS

MSX

1996–1997-ben az **MSX** is végzett méréseket UV-ben (nagy látószögű képek és UV fotometria). A Midcourse Space Experiment főleg katonai célú légkörkutató és távérzékelő hold volt.

Felbocsátója a Ballistic Missile Defence Organization.

Midcourse: a rakéta röppályájának a visszatérést megelőző szakasza

Csillagászati detektorai IR-ben és UV-ben észleltek.

UV műszer: UVISI (szűrőit lásd a táblázatban) Az UV pontforrások katalógusban

47283 forrás szerepel az égbolt felének felméréséből, ezek közül 11565 forrás azonosítható SIMBAD-beli objektummal. 32 forrást részletesen is vizsgált.

Imager	Filter	W(eff) Å	Bandpass Å	DW Å
IUN	3	2480	2300-2600	300
	4	2310	1800-3000	1200
	5	2230	2000-2300	300
	6	2930	2600-3000	400
Nem működött				
IUW	3	1320	1280-1380	100
	6	1560	1450-1800	350
IVN	5	2940	3050-3150	100

Kutatási témák a távoli UV tartományban

- Bolygólégekörök (a Naprendszer őszanyaga);
- Forró csillagok (szél, légkör);
- Hideg csillagok (mágneses aktivitás, szél, korona, kromoszféra);
- Fehér törpék légköre, kataklizmikus változócsillagok;
- Csillagfejlődési végállapotok (szupernóva-maradványok, planetáris ködök, lökeshullámok);
- Intersztelláris extinkciós görbe (porszemcsék fizikája, PAH-ok UV-ben);
- Forró, ionizált intergalaktikus közeg (Hell, Gunn–Peterson-vályú);
- Kvazárok, aktív galaxismagok (távoli UV kontinuum).

Váratlan és fontos **eredmények a távoli UV-ben** végzett vizsgálatok alapján:

- Intergalaktikus OVI (forró intergalaktikus anyag hatalmas mennyiségben);
- Nagy sebességű OVI-felhők (rengeteg forró gáz a galaktikus halóban);
- Bolygóátvonulások (elgőzölgő exobolygók UV-abszorpció alapján);
- Bezuhanó üstökösök (spektroszkópiai bizonyíték a planetezimálok létére).

FUSE (Far Ultraviolet Spectroscopic Explorer)

1994-ben már törölték, aztán mégis jóváhagyták csökkentett költségvetéssel.

Indítás: 1999. VI. 24. LEO pályára.

2007. júliusig működött

(az utolsó lendkerék
meghibásodásáig).

Az első 3 év után 100%-ban
pályázható észlelési idő.

4 db 39×35 cm-es tükör:

2 SiC-bevonattal:

90,5–110 nm

2 LiF-bevonattal:

100–119 nm

Detektor: mikrocsatornás

lemez; $R=30000$ -es

felbontású színeképek.

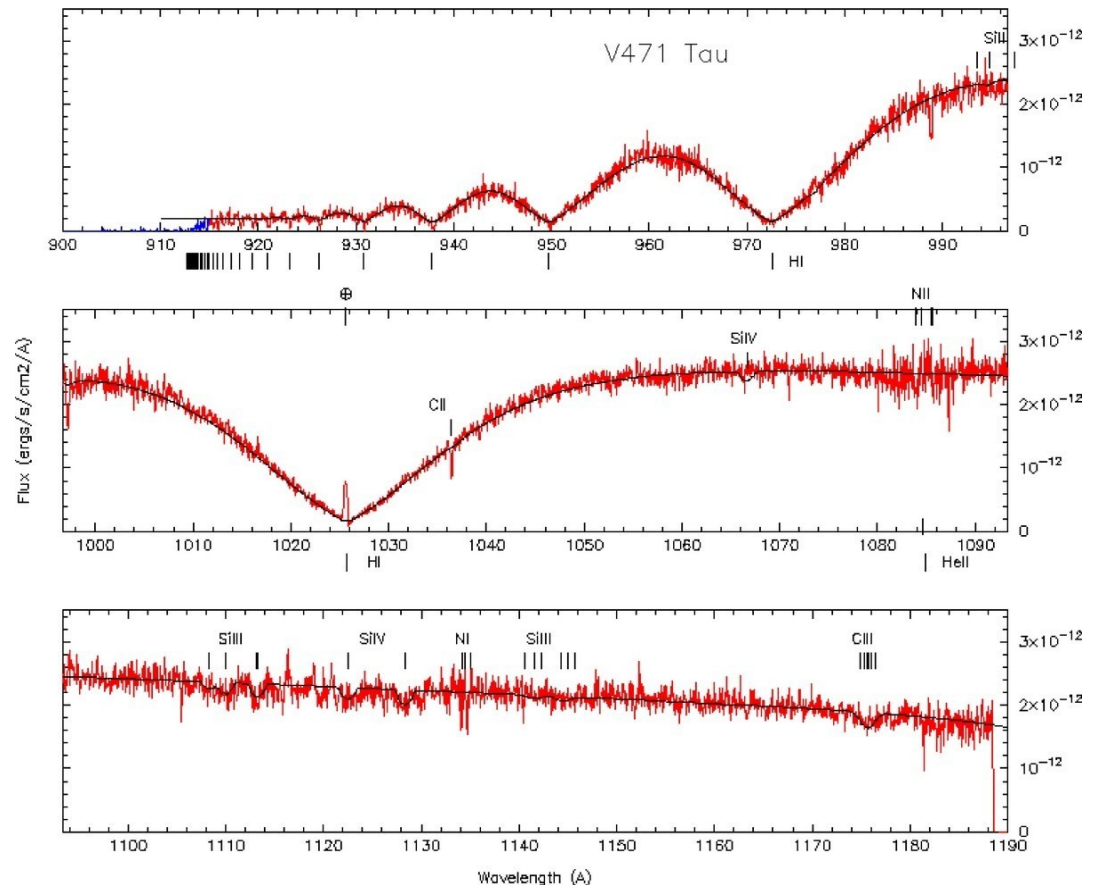
A Ly- α (121,6 nm)

kivételével a

HI és DI teljes

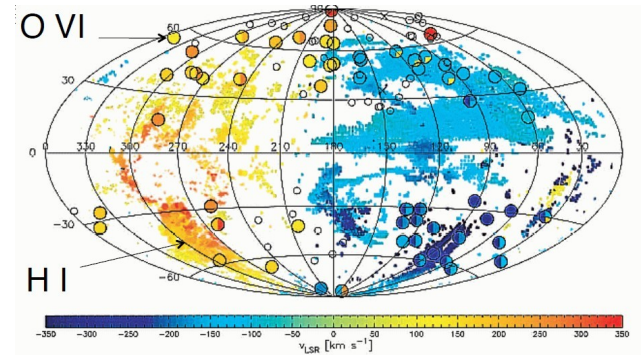
Ly-sorozata

(Lyman-ugrás: 91,2 nm).

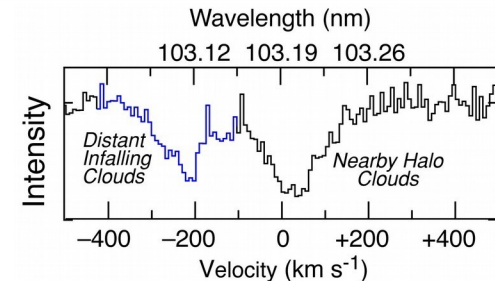
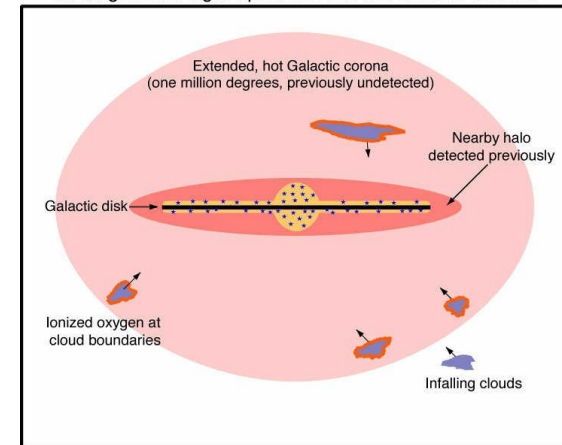


Főbb eredmények a FUSE-zal

- D/H gyakorisági arány;
- OVI a millió fokok plazma diagnosztikus vonala (103,2 és 103,8 nm); eloszlásából a tejútrendszerbeli forró haló (korona); a közeli haló ismert volt, a korona léte és az anyagbehullás új felfedezés;
- Aktív galaxismagokkal, kvazárokkal a látóirány mentén nagy távolságokig vizsgálható a forró intergalaktikus médium, ezzel az Univerzum evolúciója;
- Molekuláris nitrogén kimutatása a csillagközi térben (HD 124314 színeképében látóirányú intersztelláris vonal) (2004);
- Az FK Comae forgása 200-szor gyorsabb, mint a Napé; két egybeolvadó csillag, a koronaszél lassan csökkenti az impulzusnyomatékot, ezzel a csillag forgását (2005);

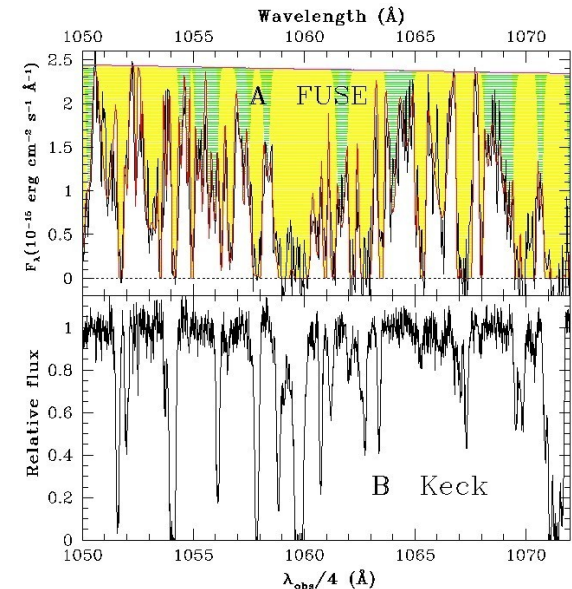
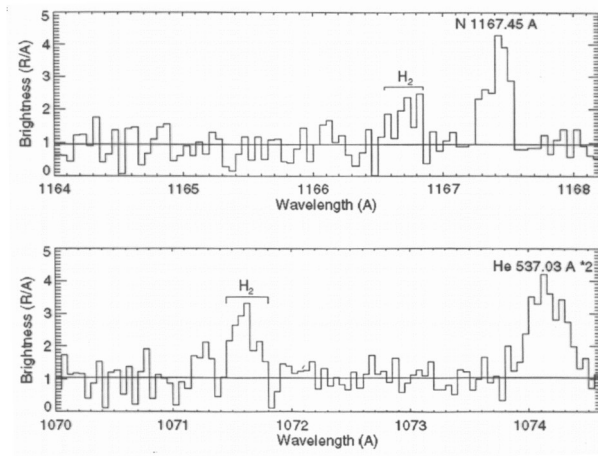
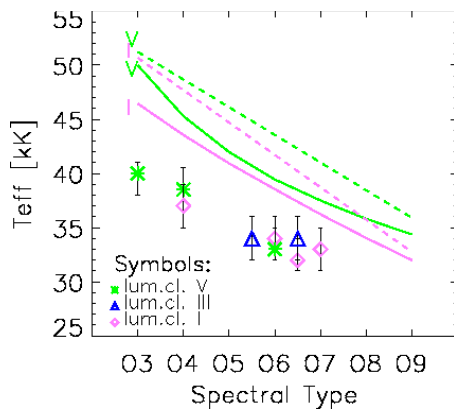


Infalling Clouds Light Up and Reveal Hot Galactic Corona



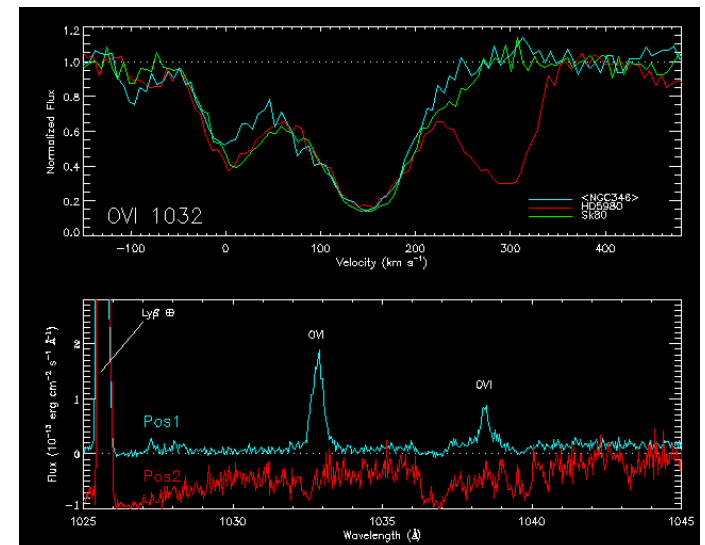
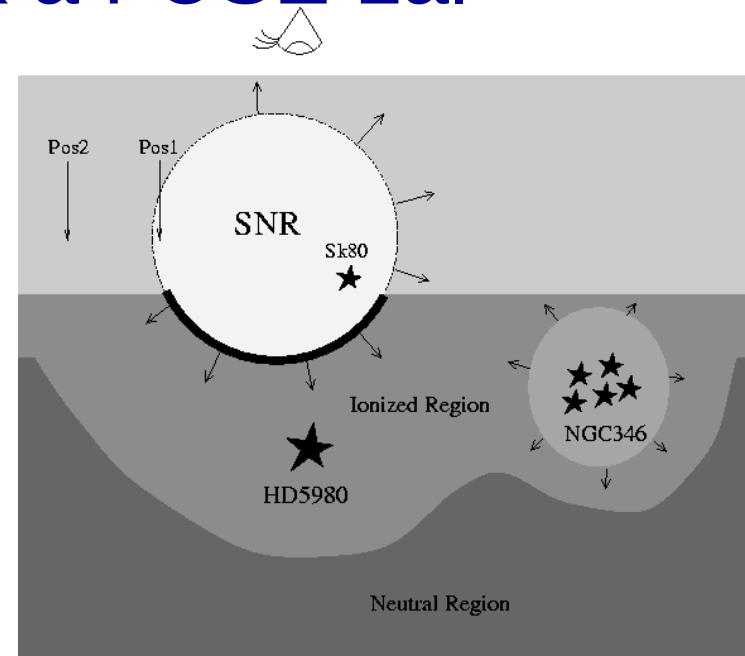
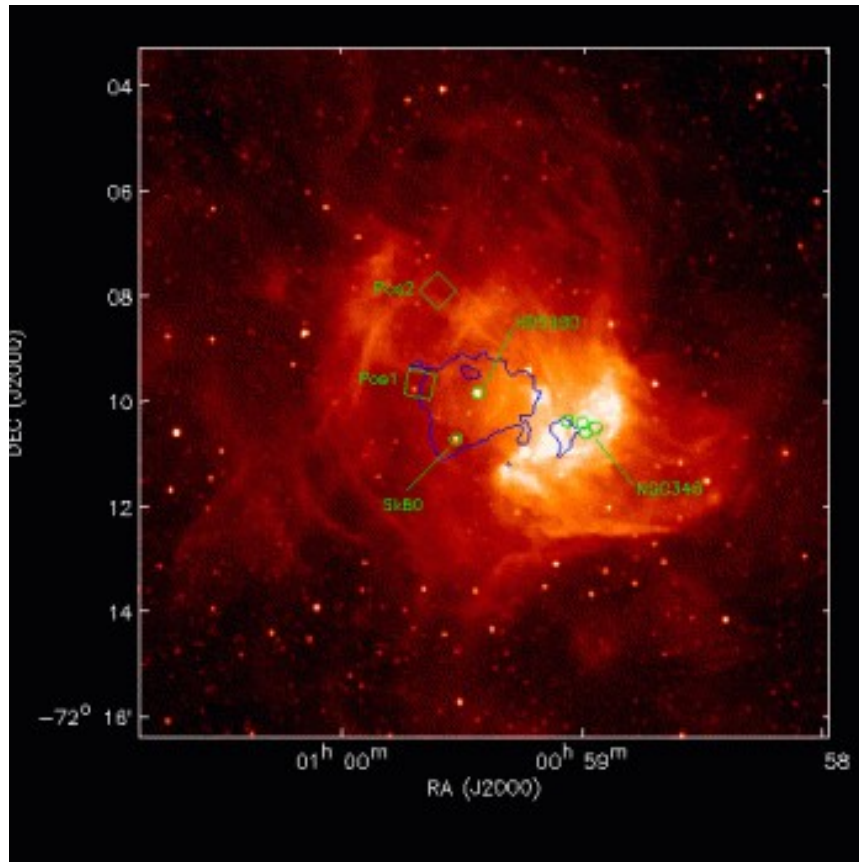
Főbb eredmények a FUSE-zal

- A forró csillagok hőmérsékleti skálája: 15%-kal alacsonyabb hőmérsékletűek az addig véltnél (kivéve a WR-csillagokat, ahol a blanketing hat az UV-fluxus eloszlására, ott magasabb hőmérséklet esetén érhető el a csillagszélben megfigyelt ionizációs egyensúly);
- A Mars légkörében H_2 -molekula (107,1 nm emisszió);
 - Intergalaktikus anyag: ionizált He kvazárok színképében, összehasonlítás az optikai H-vonalakkal; a H/He-arányból az ionizációs állapotra lehet következtetni: a legnagyobb ionizációjú régiókban csak He-vonal van, a H nem is látszik (nem volt tudomás az ott levő anyagról).



Főbb eredmények a FUSE-zal

Az N66 szupernóva-maradvány vizsgálata a Kis-Magellán-felhőben.



UV-érzékelés az XMM-Newton szondán

Az 1999-ben indított európai XMM-Newton röntgenszondán optikai és UV hullámhosszakon is érzékeny teleszkóp van: a 30 cm átmérőjű XMM-OM, 170 nm és 650 nm között érzékeny detektorral.

A látóirány menti 17 négyzetívperc területet észleli a forrás röntgenészlelésével egyidejűleg.

Egy A színképtípusú csillag esetén 1000 s integrálás alatt $B = 23,5$ a határmagnitúdó.

Különféle szűrők helyezhetők a fényútba (lásd a táblázatot), és van grizm és képtágító (nagyító) is kis felbontású spektroszkópiára, illetve a szögfelbontás növelésére.

Az alsó képen a Lockman-lyuk felvétele van optikai és UV hullámhosszakon.

Filter	wavelength band (nm)
Blocked	
V	510–580
Magnifier	380–650
U	300–390
B	390–490
White (clear)	150–500
Grism 2 (vis)	290–500
UVW1	245–320
UVM2	205–245
UVW2	180–225
Grism 1 (UV)	200–350

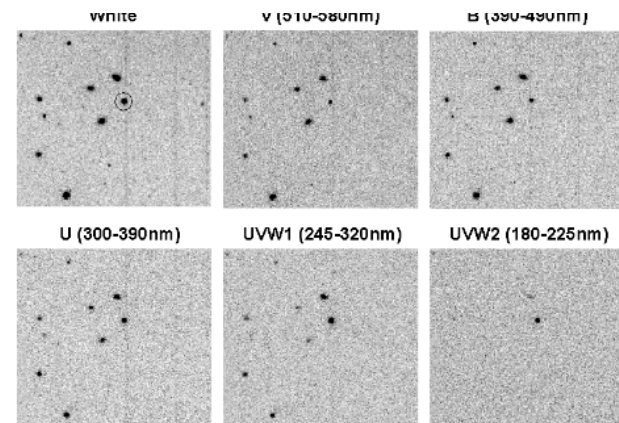


Fig. 3. An image of part of the Lockman Hole field taken in various XMM-OM filters as marked. The object circled in the White Light image is an AGN, referred to as R32 by Schmidt et al. (1998). The size of the images is about 3.5 arcmin across and the exposure times were 1500 s (white), 1000 s (V), 1000 s (B), 1000 s (U), 2200 s (UVW1) & 4400 s (UVW2). Faint vertical bars in some of the images are caused by charge leak-

GALEX (Galaxy Evolution Explorer)

A SMEX program része (NASA + Korea + Fr.)
2003. IV. 28-án repülőgépről kilőtt rakéta vitte
LEO-pályára (690 km). Tömege 277 kg, költsége
170 M USD. 38 hónapos missziót terveztek, és 3 ho
júniusban kapcsolták ki.

3-tengelyű stabilizálás, autonóm eszköz, földi
beavatkozás nélkül mért.

50 cm-es RC-távcső (Al-bevonatú Si-üveg);
1,25° átmérőjű látómező (>500-szor nagyobb,
mint a HST műszereié); a nyalábot kettősen
törő optikával bontották ketté. Nyalábosztóval
egyszerre vizsgálható a FUV (134–179 nm)
és a NUV (177–283 nm) tartomány.

Négyféle észlelési lehetőség:
FUV- és NUV-képkalkotás,
FUV- és NUV-spektroszkópia.
FUV: mikrosatornás lemez
a detektor (a légkörfény
vonalait [OI 130,4, 135,6 nm,
Ly- α] szűrővel kivágják);
NUV: CsTe fotodetektor.

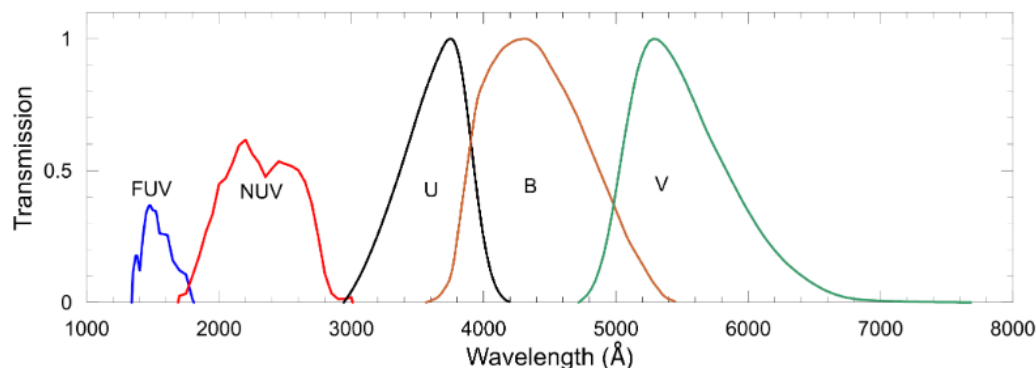


Figure 1. Normalized transmission curves of the GALEX FUV, NUV and Johnson-Morgan U, B, V filters.

GALEX

Kvantumhatásfok: 12% (FUV), ill. 8% (NUV);
szögfelbontás: 4,5 ívmásodperc (FUV), 6,0 ívmásodperc (NUV).

Kitűzött feladatok: Teljes UV-égfelmérés; 150 galaxisban a csillagkeletkezés vizsgálata; nagy látószögű spektroszkópia a teljes égről; kisebb tartományokról részletesebben; galaxisok mélyvizsgálata (monokromatikus kép és spektroszkópia is).

Az első évek fő programjai:

- AIS (All-sky Imaging Survey): az égbolt kb. 85%-áról 20,5 magnitúdóig;
- MIS (Medium-depth Imaging Survey): 1000 négyzetfokról 23 magnitúdóig;
- NGS (Nearby Galaxies Survey): különféle típusú és környezetű galaxisok, eredetileg 436 mező MIS-mélységig;
- DIS (Deep Imaging Survey): több 80 négyzetfokos területről 25 magnitúdóig (20 keringés = 30000 s);
- Rés nélküli spektroszkópia különféle területekről ($R = 100-200$) földi és űrtávcsövekkel koordinált észlelések bizonyos mezőkről;
- WSS (Wide Field Spectr. Survey): DIS-mezőkről 20^m-ig színeképek ($S/N \approx 10$);
- MSS (Medium Spectr. Survey): a DIS-mezők közepéről 23^m-ig (300 ks);
- DSS (Deep Spectroscopic Survey): 2 négyzetfokról 24 magnitúdóig.
- GI (Guest Investigator program): pályázható észlelési idő.

A FUV detektor 2009 májusában elromlott, utána csak NUV-mérések.

GALEX

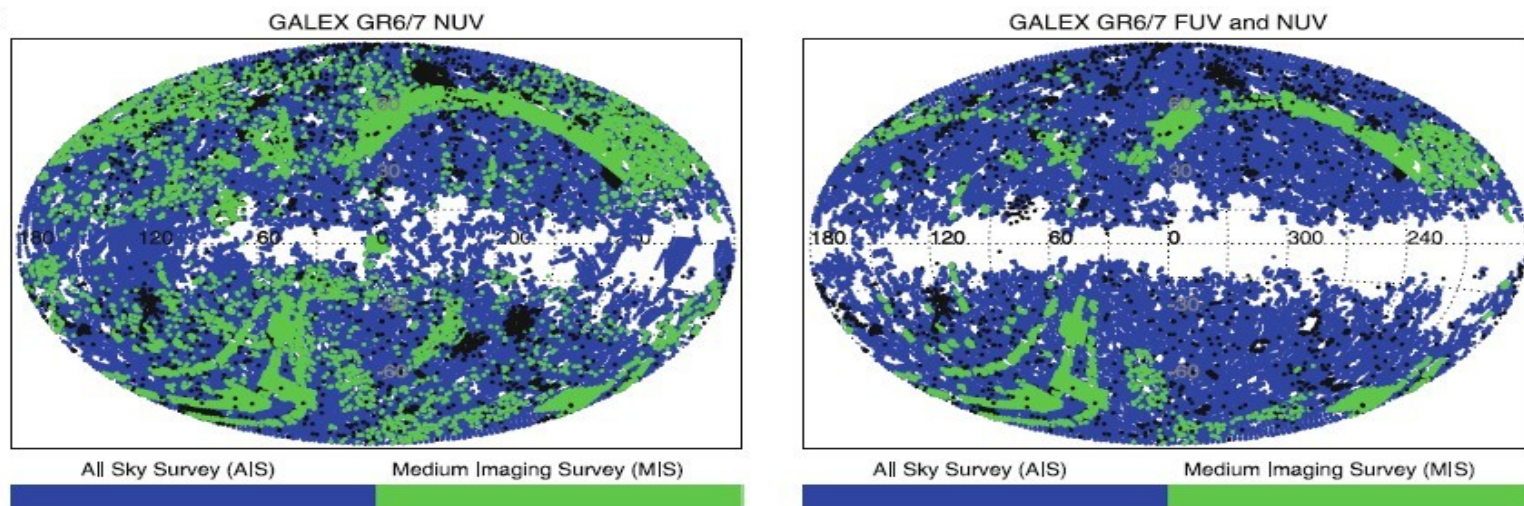
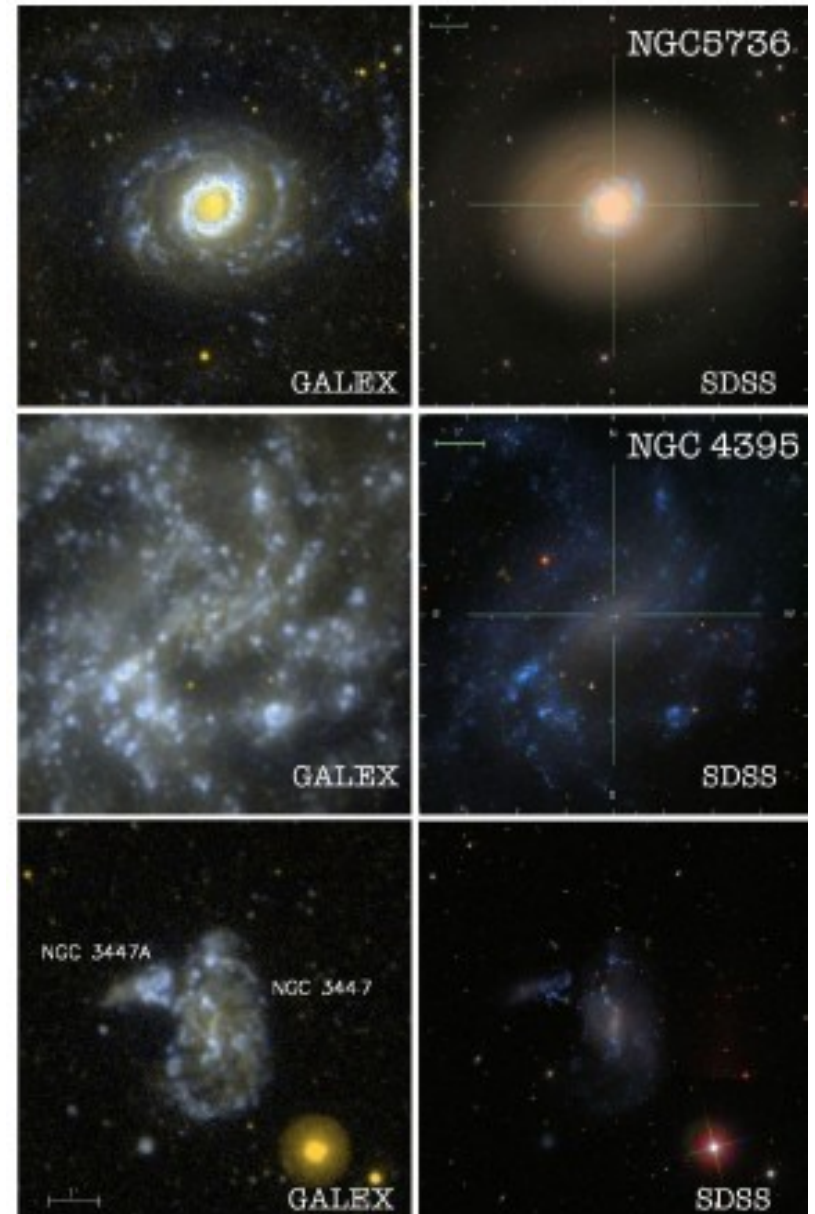
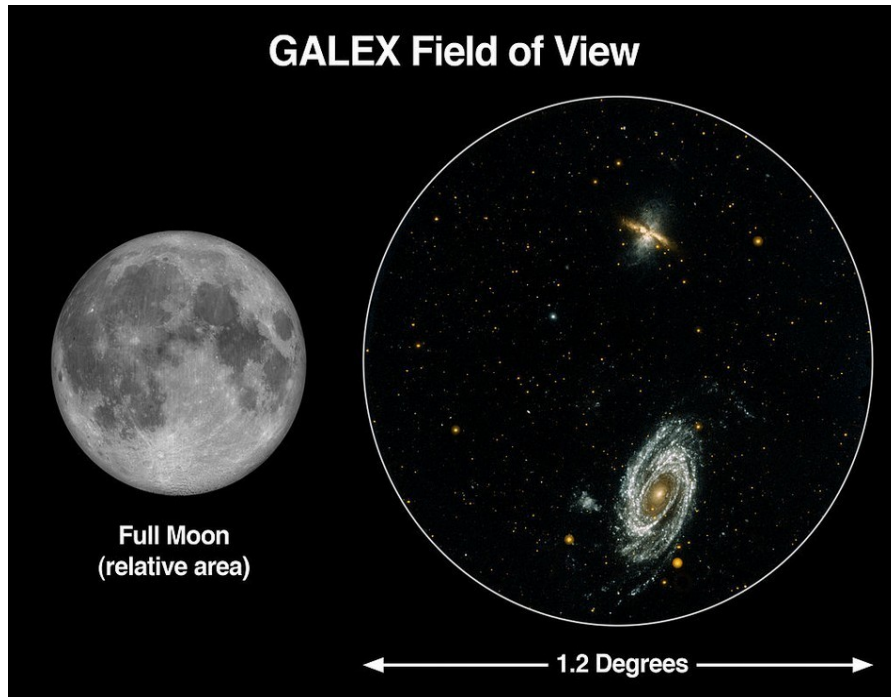


Fig. 1 Sky coverage, in Galactic coordinates, of the GALEX imaging. The surveys with the largest area coverage are AIS (*blue*) and MIS (*green*). Observations from other surveys are shown in *black* (figure adapted from Bianchi et al. 2014a). Data from the privately-funded

observations at the end of the mission are not shown. *Left*: fields observed with at least the NUV detector on; *right*: fields observed with both FUV and NUV detectors on. The latter constitute the BCScat's

A galaktikus fősík UV-ben feltérképezetlen maradt ($|b| < 20^\circ$). Magasabb galaktikus szélességekről UV térkép az égbolt 90%-áról. A 2013-as GR7 adatbázisban 214 millió mérés van egyedi forrásokról (210,7 millió forrásról mindkét detektorral), + >100000 kis felbontású UV színekép. A misszió vége felé már nem féltették a detektort a telítődéstől, és addig nem vizsgált, fényes forrásokat tartalmazó területeket is mértek (NUV-ben): pl. a Tejútrendszer fősíkja mentén és a Magellán-felhőkben

GALEX



GALEX



A GALEX kiemeli a csillagképződést.

A GALEX-adatok elérhetősége:

<http://galex-stsci.edu>



Figure 17. GALEX observation of two intermediate age spiral galaxies. Left: NGC 300. Right: NGC 1291. Color codes: blue = GALEX near UV, green = GALEX far UV, red = visible light from the Las Campanas Observatory, Chile (for NGC 300) or from the Cerro Tololo Inter-American Observatory, Chile.

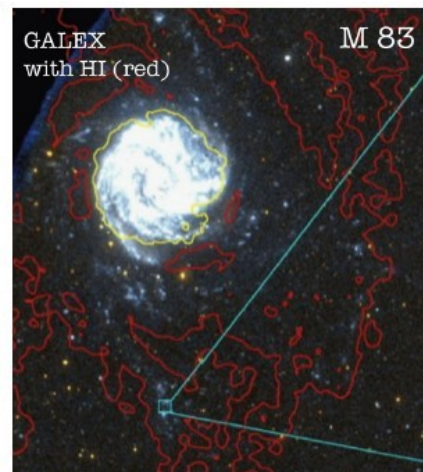
GALEX-eredmények

Az M82 körül UV filamentumok (csillagontás keltette haló); az UV szálak korrelálnak a H α - és röntgenemisszióval: a kiáramlás hideg port is tartalmaz;

M101: ISOPHOT-adatokkal összevetve a FIR és UV emisszió aránya korrelál a galaktocentrikus távolsággal; a centrumnál kb. 3, kifelé monoton csökken majdnem 0-ra; a diffúz por optikai vastagsága csökken így (de lokálisan, pl. spirálkarban lehet más az érték);

Kiterjedt UV emisszió van a galaxisok látható korongján túl is, ami friss csillagkeletkezésre utal; de kisebb tömegű és luminozitású tartományok, mint a korongbeli komplexumok (példa: M83 vagy NGC 4625);

Véletlen felfedezés: UV fler az NGC 4552 (optikailag normális) elliptikus galaxisban; az ionizált gáz luminozitása alapján a legkisebb luminozitású AGN; csillag mehetett el a centrális fekete lyuk mellett.



GALEX-eredmények

A nyugalmi hullámhosszú UV emisszió a csillagkeletkezés jele különféle környezetekben. A nem túl nagy távolságban levő nyugodt galaxisokban a csillagkeletkezési komplexumok kora, luminozitása, tömege és extinkciója is meghatározható a GALEX-adatokból. A kor szerinti eloszlás alapján a csillagkeletkezési ráta állandó volt az utóbbi egymilliárd évben.

Kölcsönható galaxisok (pl. Csápok): az árapálynyúlványok morfológiája UV-ben hasonló, mint a semleges H-gázé; a nyúlványok „kékségét” számszerűsíteni lehet;

Kölcsönható galaxisoknál általános jelenség az árapálynyúlványokban beinduló friss csillagkeletkezés (a csillagok kora kisebb mint a kölcsönhatás óta eltelt idő). Nagyobb vöröseltolódásokra ez fokozottan igaz.



GALEX-eredmények

Az UV-ben változó intenzitású források katalógusa 400000 tételt tartalmaz: fedési változók, RRL csillagok, flercsillagok, QSO-k stb. NUV-ben 21 m_{AB} -nál fényesebb, amplitúdó: $>0,6^m$ (NUV), $>0,4^m$ (FUV). Közülük 7000-re 30-nál több mérés van.

A GALEX eredményeinek összegzése:

- A csillagképződés története a $0 < z < 2$ vöröseltolódás-tartományban, időben csökkenő a csillagkeletkezési ráta.
- Kiterjedt UV korongok (recens csillagkeletkezés) galaxisok körül (az optikai méret ötszöröse is lehet).

A galaxisok
30%-ánál
mutattak ki
ilyent.

- A fehér törpék ismert száma két nagyságrenddel nőtt; poszt-AGB fejlődés jobban vizsgálható.

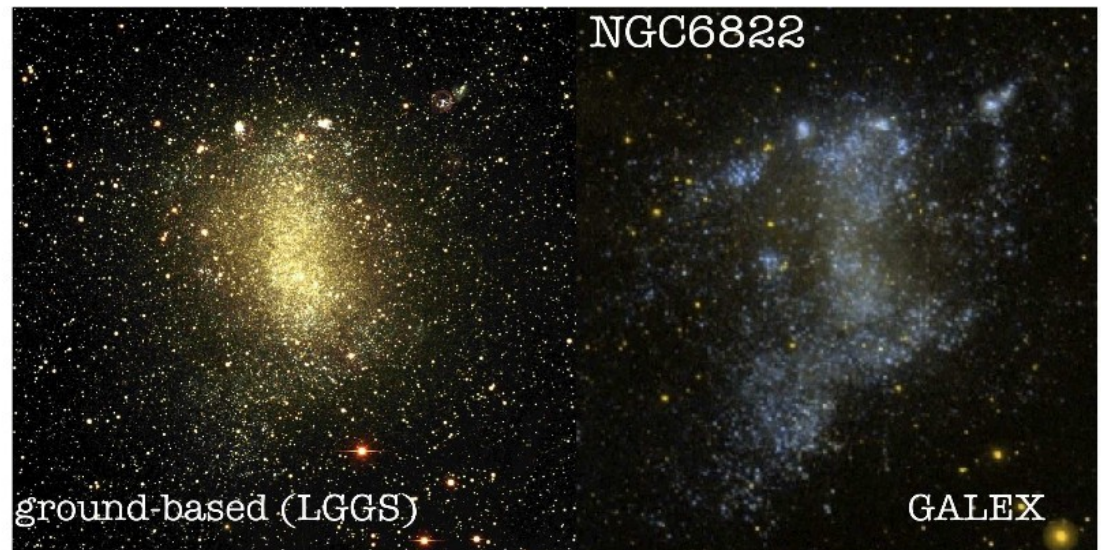


Fig. 3 GALEX images (FUV: blue, NUV: yellow) and optical color-composite images of NG

GALEX-eredmények

A 104 négyzetfokos Kepler-mező részletes mélyvizsgálata 22,6^m-ig: GALEX-CAUSE Kepler survey (GCK) (CAUSE: Complete All-sky UV Survey Extension). A GCK katalógusban 669928 NUV forrás van, közülük 475164 azonosítható KIC-objektummal; 327 exobolygó gazdacsillaga, 2614 pedig megerősítésre váró gazdacsillag.

A GCK katalógus elősegíti az UV excesszust mutató csillagok (aktív kromoszférájú kettősök, fehér törpék, horizontális ági csillagok stb.) azonosítását és jellemzését.

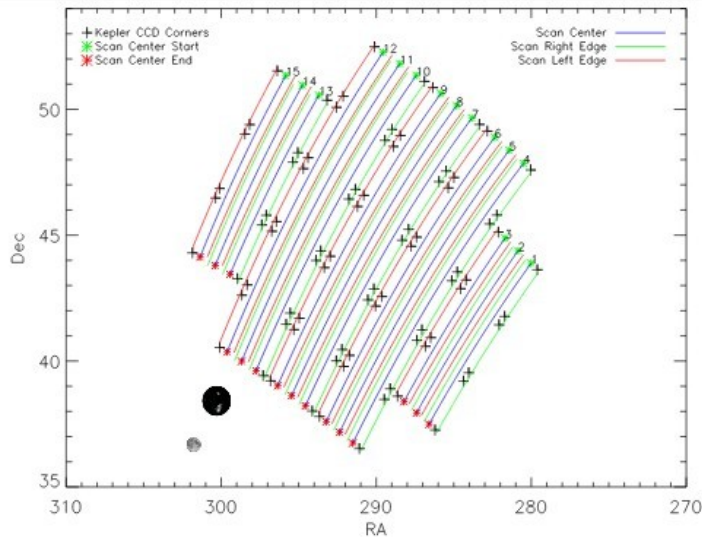
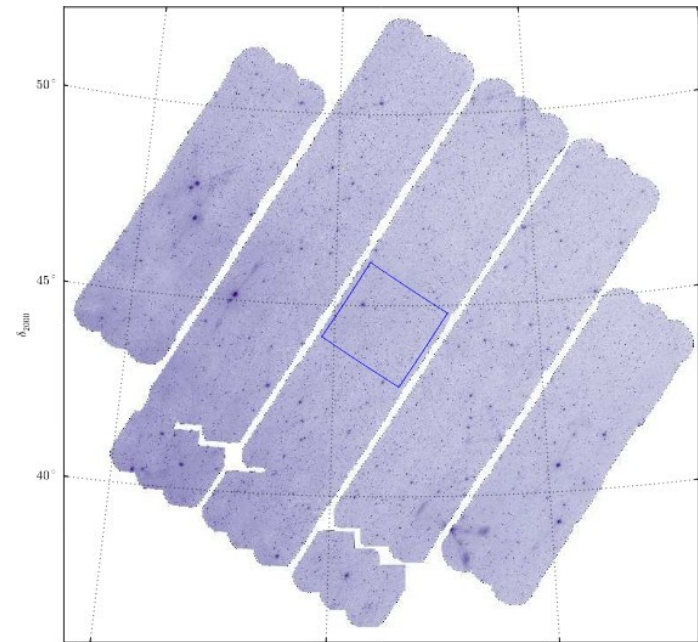
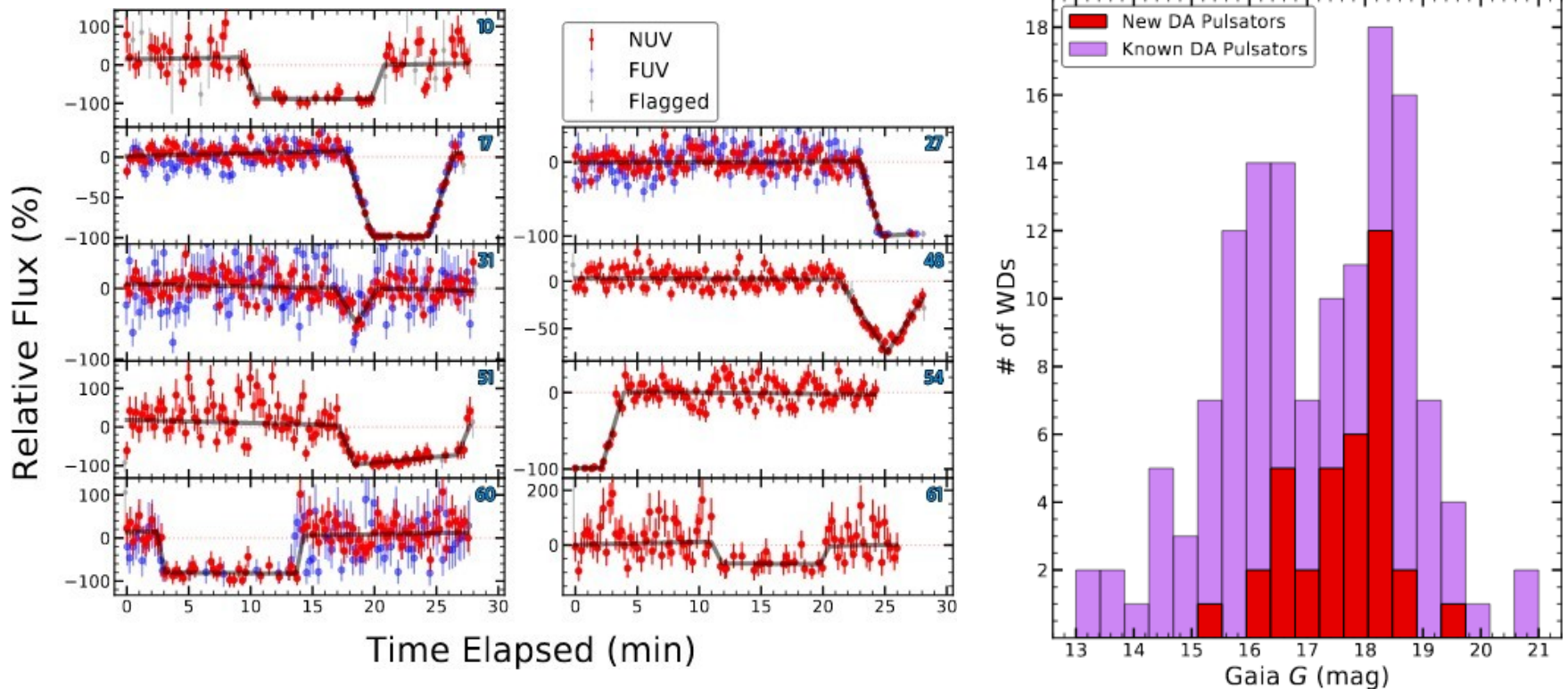


FIG. 1.— Scan mode observations of GCK survey covering the *Kepler* field. The field of view of *GALEX* and a full moon are shown for comparison. The numbers on the upper right edges correspond to the scan numbers. The plus symbols corresponds to the edges of *Kepler* detectors.



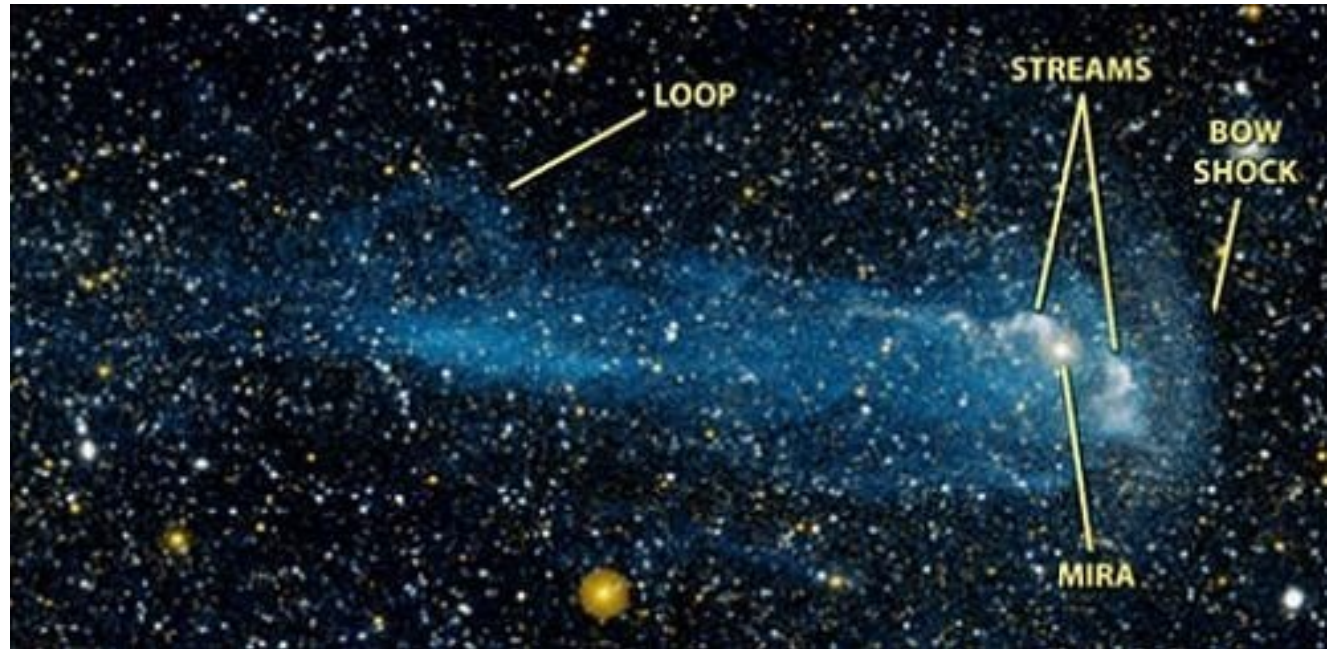
GALEX-eredmények

Több mint 23000 fehér törpe UV fotometriai mérései alapján pulzáló és fedési változócsillagok keresése. 41 új pulzátort találtak, közülük 37 DAV (a légkörben a H dominál), 4 DBV (a légkörben a He dominál), és 8 új fedési változó (közülük 5-ről korábban tudták, hogy spektroszkópiai kettős).



GALEX-eredmények

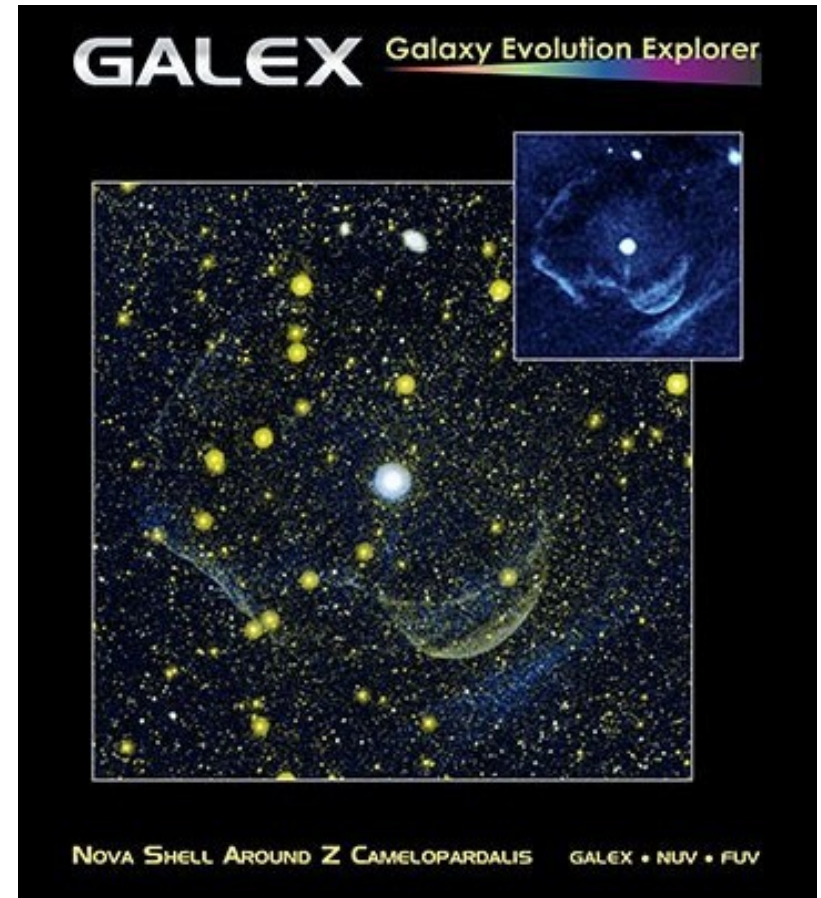
Fejhullám a
Mira Ceti
előtt



GALEX-eredmények

Burok a Z Cam körül (jobbra)

Cygnus-hurok (balra)



STSat-1

STSat-1 (KAISTSat-4): dél-koreai mikroszatellita. Neve feloldva: Science and Technology SATellite-1, ill. Korea Advanced Institute of Science and Technology Satellite-4.

2003. szeptember 27-én indították Pleszeckből, majdnem kör alakú, napszinkron pályára (686 km magasságba). Két sávban észlelte vele 90 és 175 nm között 2005. októberig, de kb. 4 évig működött.

Műszerei:

FIMS: Far-ultraviolet IMaging Spectrograph

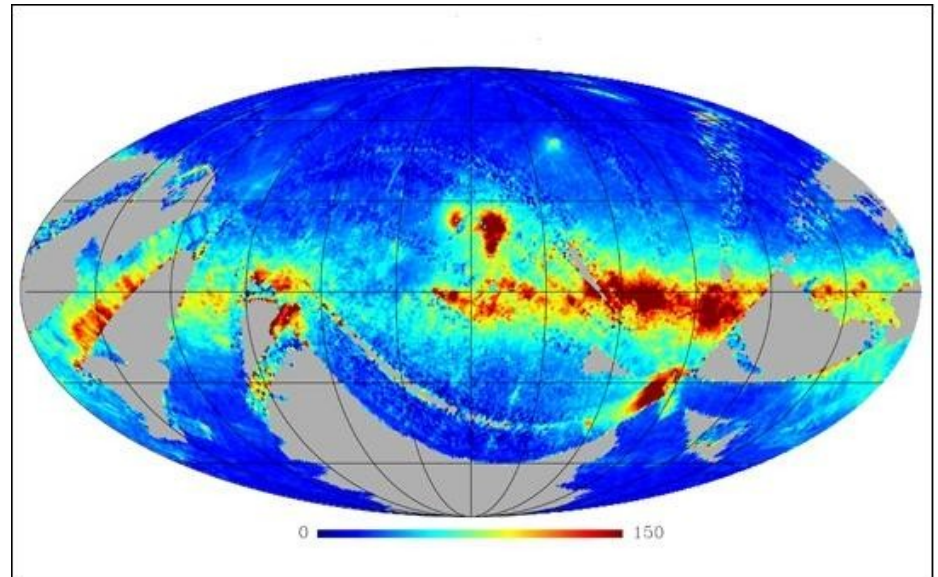
SST: Solid State Telescope

SPEAR: Spectroscopy of Plasma Evolution from Astrophysical Radiation

NAST: Narrow Angle Star Sensor.

Főként a dél-koreai technológiai színvonal demonstrálására szolgált.

A képen az égfelmérés eredményeként kapott térkép látható.



AstroSat

India első kifejezetten csillagászati űrszondája, fedélzetén optikai, UV és röntgendetektorokkal. Indítás: 2015. szept. 28. 650 km magas, 28 fok inklinációjú körpályán kering. 5 éves működést várnak.

A kozmikus források időbeli és spektrális változásainak egyidejű észlelése több hullámhosszon.

UV-műszere az UVIT (Ultraviolet Imaging Telescope).

Két azonos, 38 cm-es távcső, az egyik a FUV, a másik a NUV + optikai tartományban.

Képek kaphatók a 28 ívperces látómezőről.

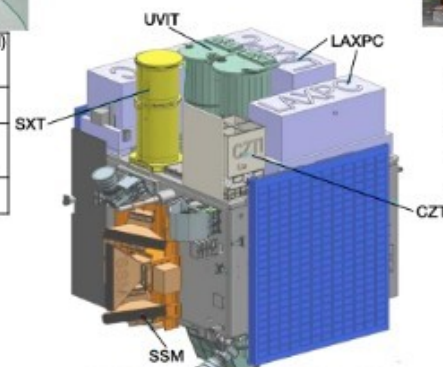


Detector	Photon-counting (intensified) CMOS imagers
Optics	Twin Ritchie Chretien 2 mirror system
Bandwidth	130-180 nm 200-300 nm 320-550 nm
Angular Resolution	1.8 arc sec



Detector	X-Ray CCD at the focal plane
Optics	Conical foil (Wolter-I) Mirrors
Bandwidth	0.3 - 8 keV
Energy Resolution	2.34% @ 5.9 keV
Angular Resolution	2 arc min (HPD)

AstroSat



Detector	Position sensitive Proportional Counter(3)
Optics	1-D coded Mask
Bandwidth	2.5 - 10 keV
Energy Resolution	25% @ 6 keV



Detector	Proportional counter
Optics	Collimator
Bandwidth	3 - 80 keV
Energy Resolution	12% @ 22 keV
Time resolution	10 microsec
Effective area	8000 cm ²



Detector	CdZnTe Detector
Optics	2-D coded Mask
Band width	15 - 100 keV
Energy Resolution	6% @100 keV
Time resolution	20 microsec

Figure 1: An assembled view of AstroSat. The pictures of the scientific instruments shown are (clockwise, from top left): UVIT telescope; one assembled LAXPC unit; final assembled CZTI Imager; assembled SSM units; SXT mirror and the gold coated foils shown in the inset. The

AstroSat

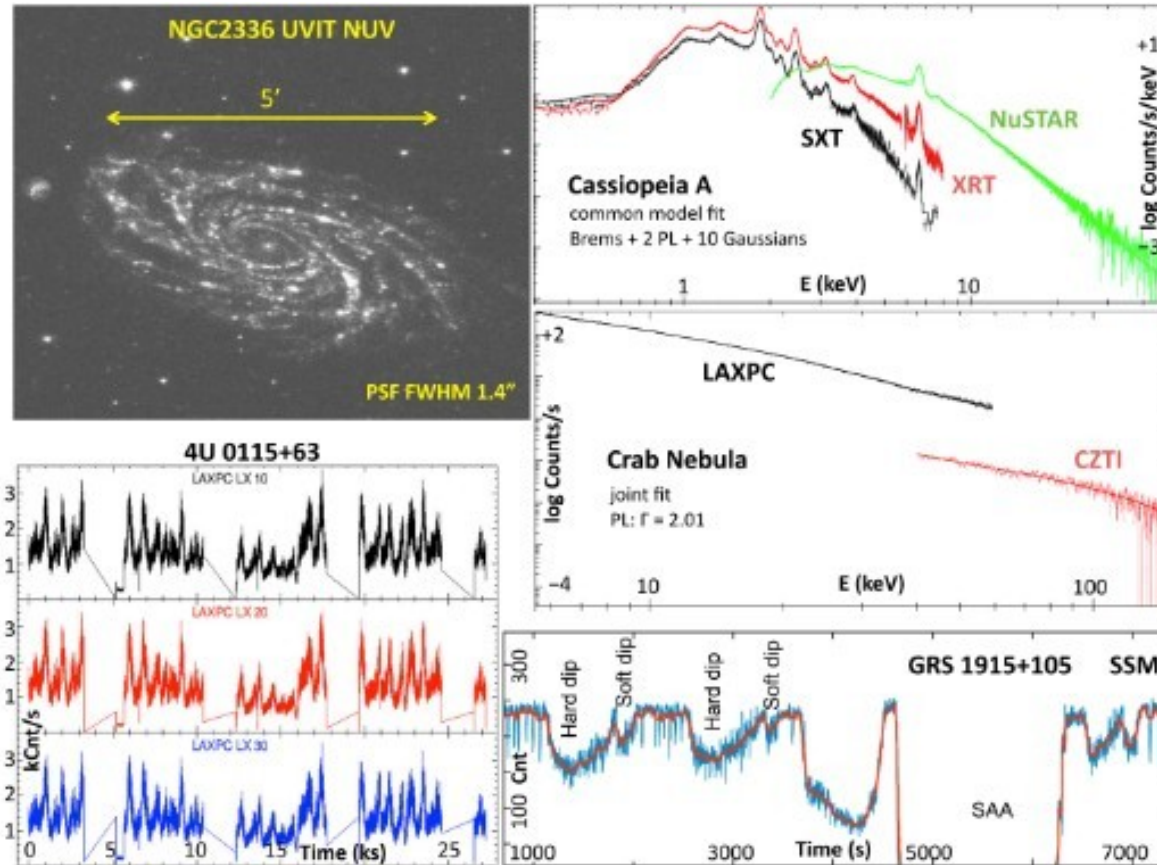


Figure 2: Top left: UVIT image of NGC 2336 in the NUV band, demonstrating very good angular resolution. Bottom left: Light curve of 4U0115+63 during outburst in the three units of LAXPC. Top Right: X-ray spectrum of Cas A with SXT which has a spectral resolution of 140 eV; the source was observed at a large off-axis angle. Right Middle: Joint fitting of the spectrum of Crab with LAXPC and CZTI showing simultaneous broadband spectral coverage. Bottom Right: Light curve of GRS 1915+105 from SSM showcasing its ability to stare at a source.

Az extrém ultraibolya színeképtartomány

EUV: 6–91,2 nm közötti tartomány;
1 H-atom/cm³ esetén 3 pc az optikai mélység, ezért hosszú ideig kizárták az észlelés lehetőségét. A Nap éppen egy ionizált H-burok belsejében van. A csillagközi anyag szerkezete bonyolult.

A műszerek hiánya is késleltette a feltárást (súroló beesésű távcső, leképező, fotonszámláló EUV-detektor).

A millió fokok intersztelláris gáz létét Spitzer (1956) megjósolta. A 21 cm-en készített térképeken a csillagközi felhők eloszlása egyenetlen. A ritkább tartományok akkor lehetnek egyensúlyban, ha forróbbak (tehát ionizáltak), így a csillagközi tér nem univerzálisan opak.

Az OSO-J EUV-szonda lett volna, de a program az OSO-I-nél megállt.

Szojuz–Apollo (1975): van értelme az EUV tartomány észlelésének: a Berkeley EUV-távcsővel diszkrét forrásokat találtak, közeli fehér törpék, SS Cyg, Proxima (fler). Azóta ezernél több forrást azonosítottak.

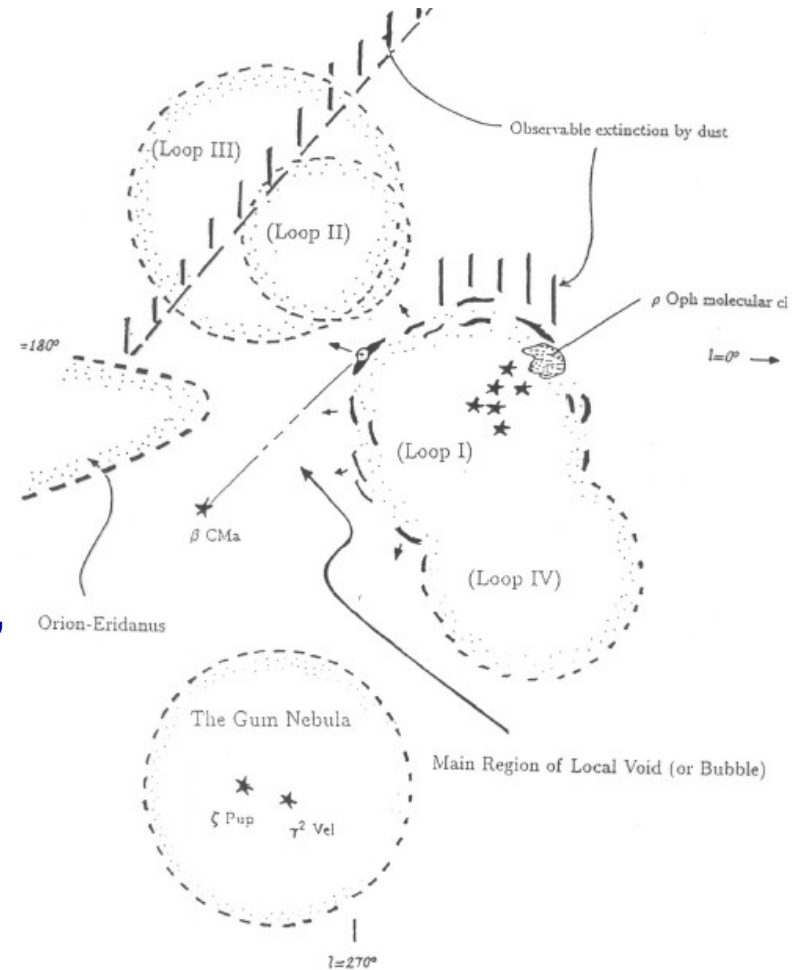


Fig. 2. Distribution of largescale shell structures in the LISM. The sizes and placement of the radii loops, Loops I-IV were determined from Spoeltra (1973). A portion of the Orion-Eridanus Complex as well as the Gum Nebula, are shown. The line-of-sight between the Sun and β CMa is depicted. This denotes the principal region of the Local Void (or Bubble). See text for discussion.

EUV-missziók

ROSAT (Röntgen Satellit): 1990-ben az első EUV égfelmérést végezte (6–14 és 12–20 nm között) az UK WFC-vel. 1993-ban 383 EUV forrás volt ismert, 90%-uk megbízhatóan azonosítva (fehér törpék, késői aktív csillagok).

EUVE (Extreme Ultraviolet Explorer): az első kimondottan EUV-űrszonda. 1992. VI. 7-én indították LEO pályára (550 km), 2000 decemberében kapcsolták ki (4 helyett 7,5 évig működött). Három fő feladata:

- Teljes égfelmérés 4 sávban 5 és 74 nm között (10, 20, 40, 60 nm-re centrált, egyre szélesedő sávok);
- $2 \times 180^\circ$ -os sávban (6,5–18 és 17–36 nm között) az ekliptika mentén 20-szor érzékenyebb felmérés (hátha van új típusú, halvány forrás);
- A felmérést befejezve az észlelt források egyenkénti követése közepes felbontású (0,05–0,2 nm) spektroszkópiával 7–76 nm között.

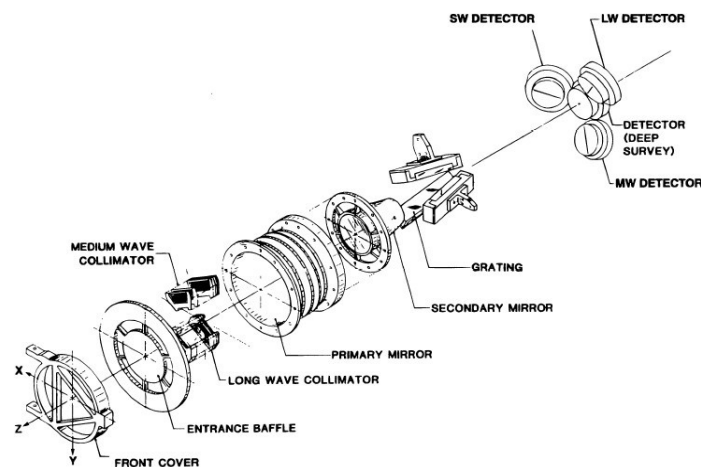
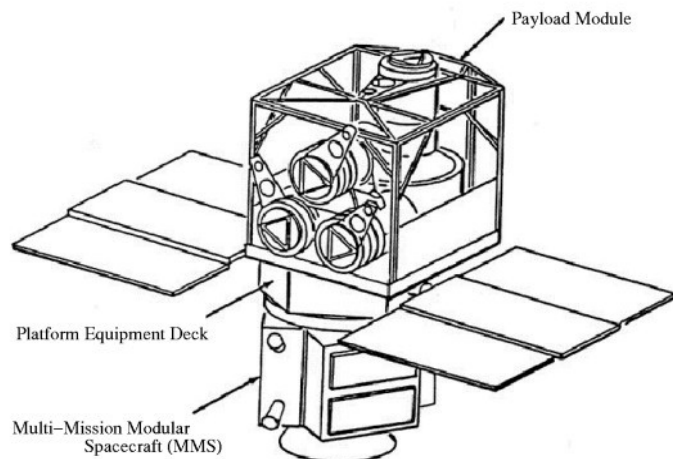
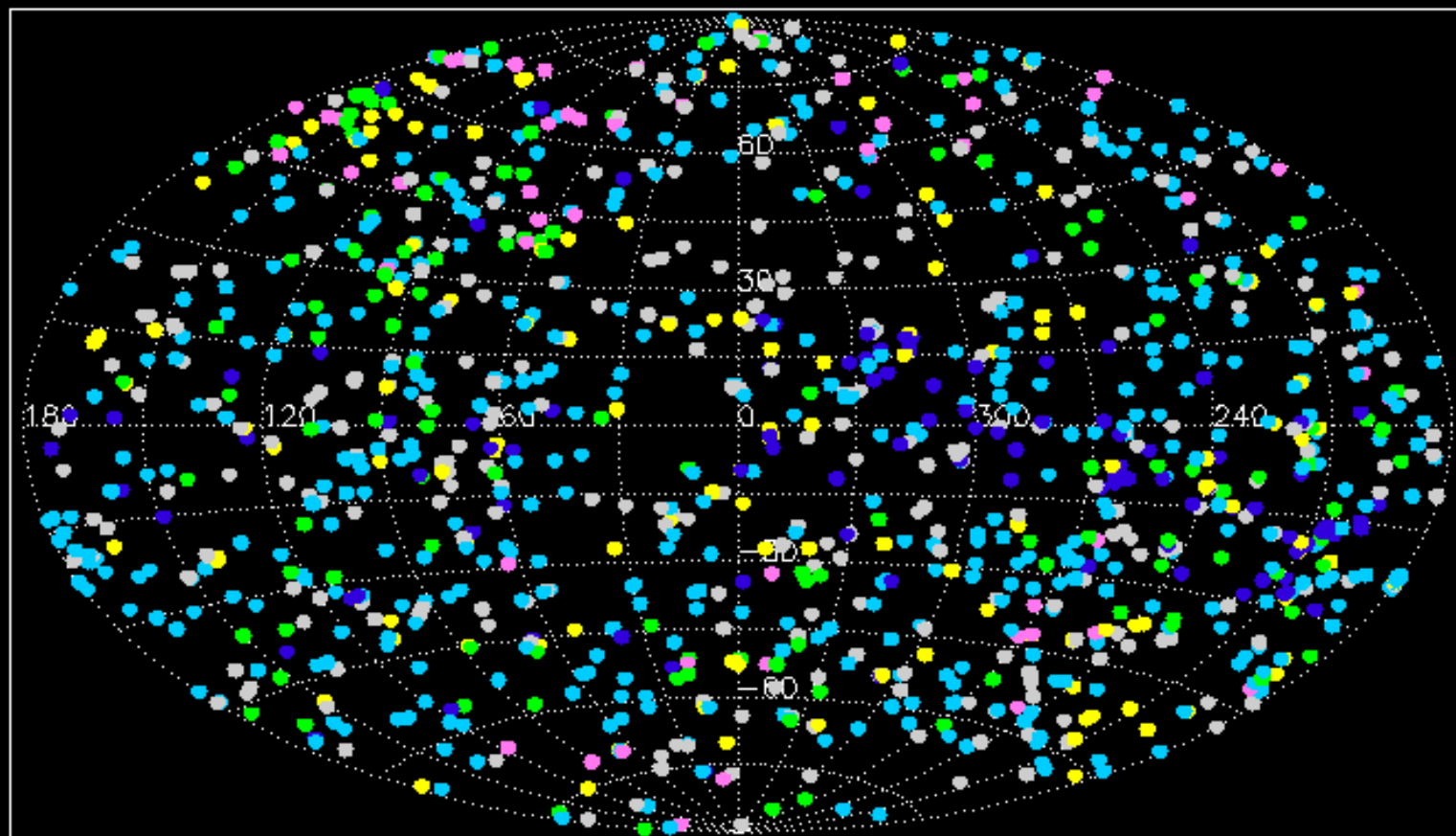


Figure 5: Exploded view of the EUVE Deep Survey/Spectrometer telescope. The axes

Figure 4: Schematic diagram of the EUVE payload, showing the all-sky survey scanners

EUVE Photometric Detections



Other

Late Stars

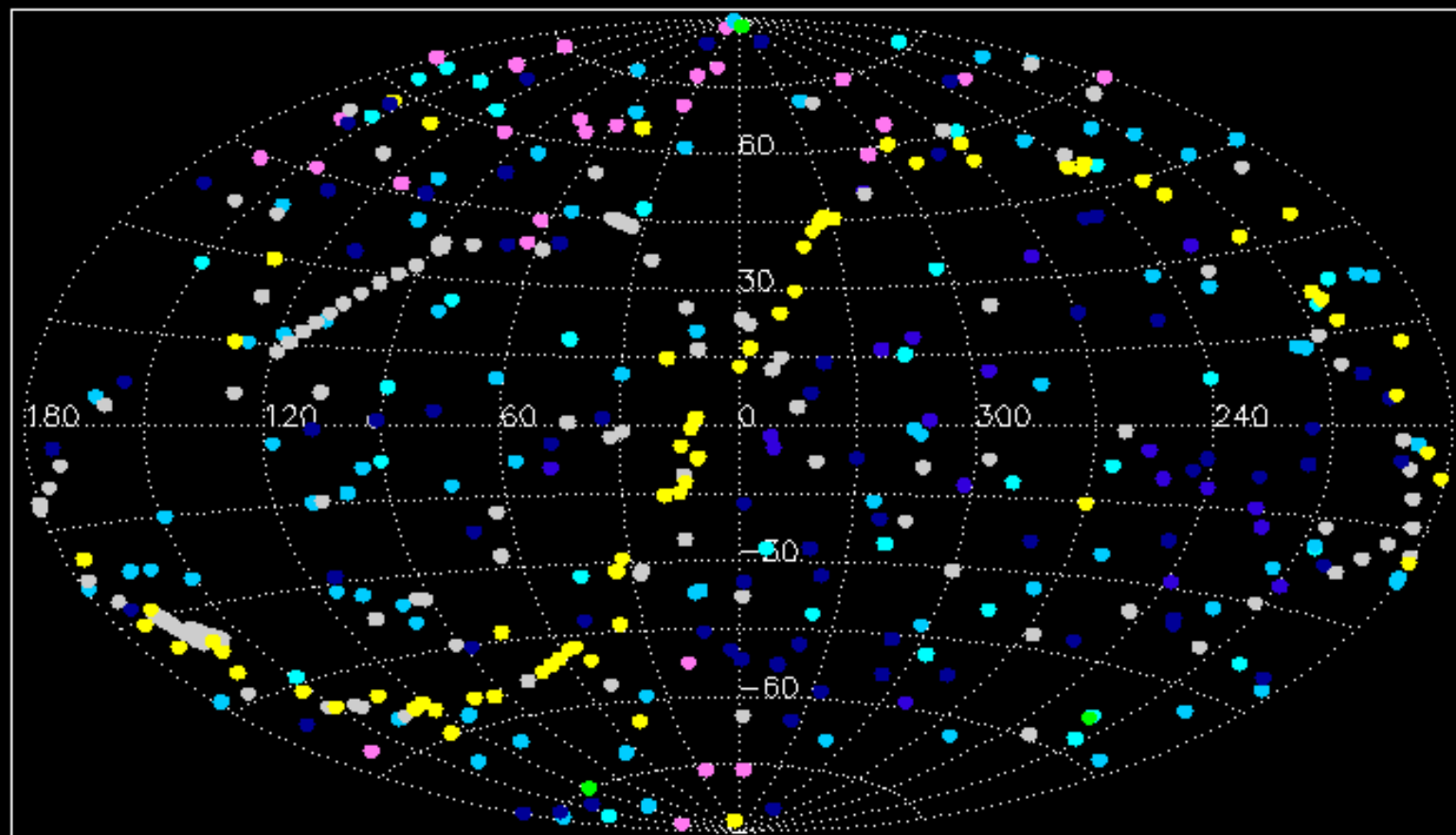
Extragalactic

Early Stars

White Dwarfs

No ID

EUVE Observations

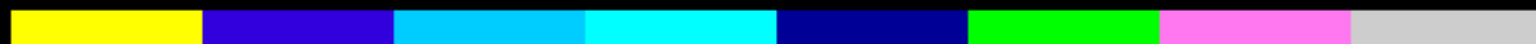


Solar System

Cool Stars

Compact Obj.

Extragalactic



Hot Stars

Variables

Nebulae

Other

EUVE

A teljes égfelmérést (97%) 1993. januárra befejezte. Spektrumot csak éjjel lehetett mérni, 30-40% az erre fordítható idő. A fehér törpék mérése mutatta a műszer stabilitását. A kis műszerrel napokig tartó expozícióra volt szükség, és így is alacsony volt a jel/zaj viszony.

Előzetes katalógus (1994): 356 forrás (ebből 128 volt a WFC-katalógusban is); az 1996-ban közreadott 2. EUVE-katalógusban 734 forrás van.

A spektroszkópia alatt a spektrométerre merőleges irányban távcsővel érzékeny határmagnitúdóval kerestek forrásokat (Right Angle Program). Az ég ötödét mérték így. Új típusú forrást nem találtak, de 169 új forrást igen (1999-re). Az összes EUV forrás 25%-ának (halványak) nincs optikai megfelelője.

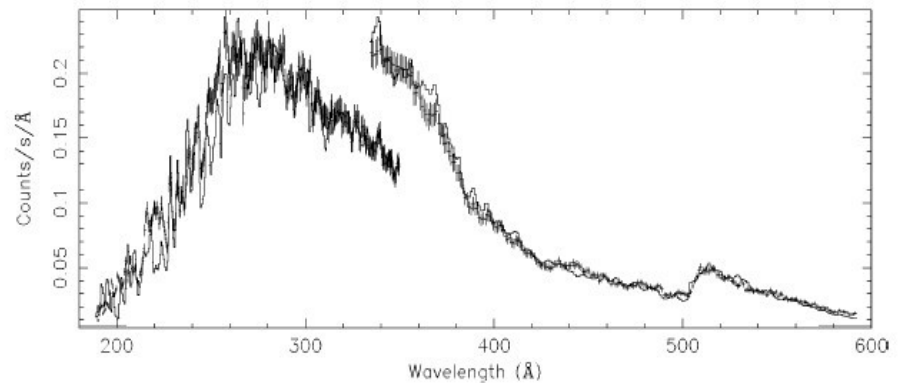
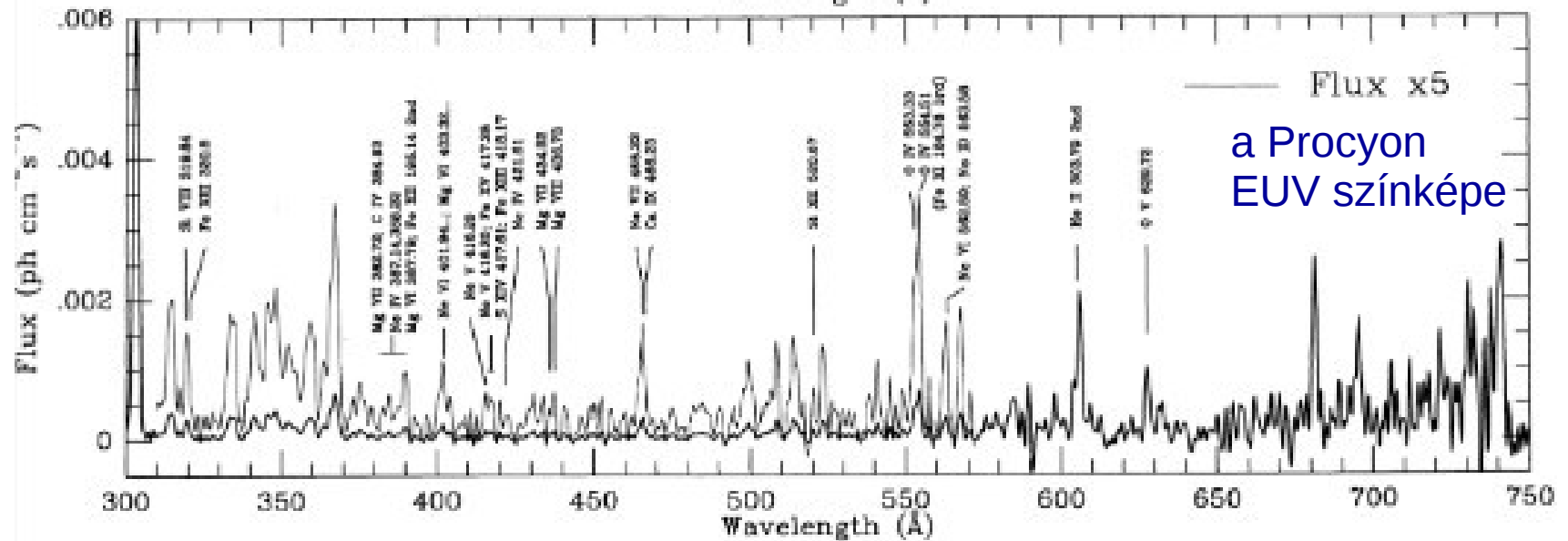
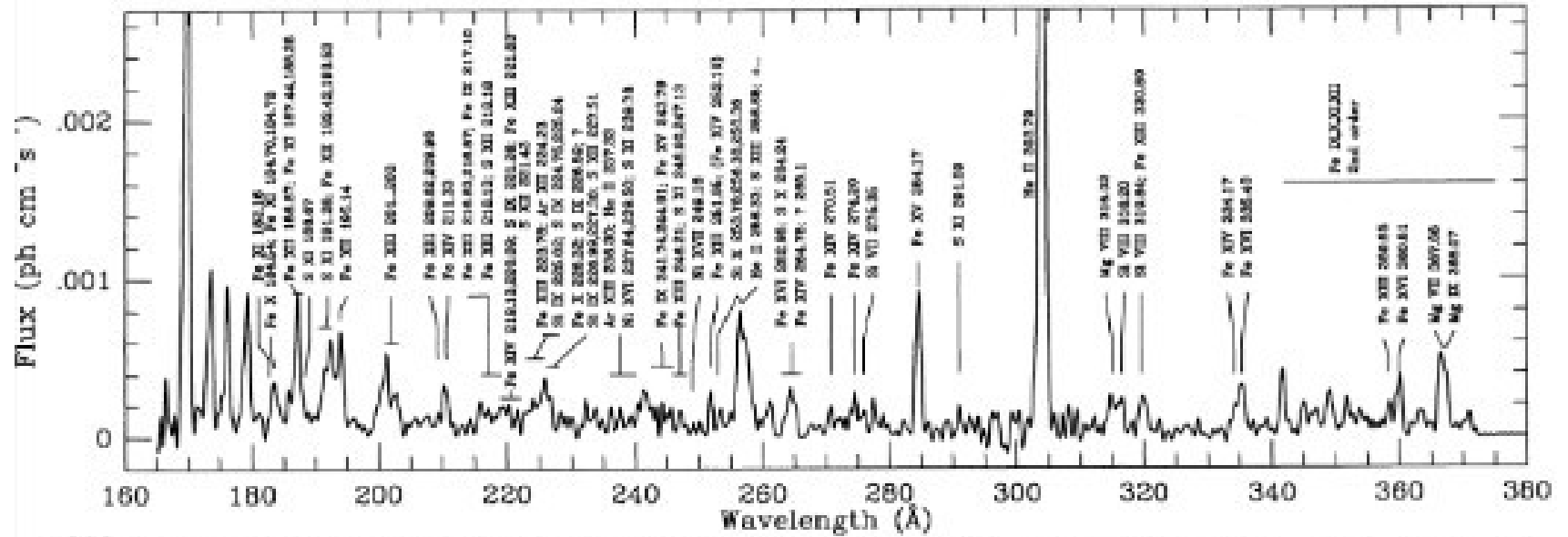


Figure 7: EUVE count spectrum of G191-B2B covering the wavelength range 180-600Å. The data points (error bars) are compared with the predictions of a non-LTE model atmosphere calculation including the effects of interstellar absorption (H I, He I and He I column densities are 2.1×10^{18} , 1.8×10^{17} and $7.9 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$ respectively). The discontinuity near 320Å arises from differing spectrometer effective areas for which these data are not corrected.

EUVE



Az EUVE eredményeiből

A Lokális buborék hosszúkás (kémény alakú).

Jupiter: a S-L-9 üstökös becsapódása után 2-4 órával a HeI 58,4 nm emisszió átmenetileg többszörösére emelkedett. Korábbi EUV-színképek a Voyager mérései alapján is voltak. Az Io esetében nem tapasztaltak új színképi jellegzetességeket, még a vonalak sem erősödtek, ami az Io-tórusz bizonyos modelljeit kizárta.

Üstökösök: EUV- és lágyröntgen-sugárzást tapasztaltak, ez teljes meglepetés volt (a ROSAT WFC is kimutatta). Az emisszió maximuma az üstökös magjától a Nap irányában van. A ROSAT égfelmérésében visszamenőleg további 4 üstököstől származó jelet találtak. A sugárzás 80%-a 0,4 keV-nél kisebb energiájú. A sok modell közül a legvalószínűbb: töltéscsere a napszél ionjai és az üstökösgáz között, az energia kisugárzódik.

Késői csillagok légköre (átfedés a röntgencsillagászati eredményekkel): csillagkorona (a Nap analógiája), egyes koronavonalak észlelhetők az EUV-színképben. A kémiai összetétel eltér a fotoszféráétól. A korona hőmérsékleti szerkezete is meghatározható. A legfényesebb koronák tízszer forróbbak, mint a Napé. EUV emisszió időfüggése is vizsgálható. Az RS CVn csillagok idejük 40%-át flerezés állapotában töltik. Az EUV-periódus 2%-kal hosszabb, mint az optikai keringési idő. Differenciális rotáció a fotoszférából a korona felé.

Az EUVE eredményeiből

Korai csillagok: OB-csillagoknál az EUV sugárzás két oka: forró fotoszféra (hosszabb hullámhosszon) és a nagy sebességű csillagszél keltette lökés. Pl. a β Canis Majorisnál (B1 II-III) a pulzáció során 0,1 magnitúdó változás EUV-ben a fotoszferikus hőmérséklet változása miatt.

Fehér törpék: 100-nál több DA fehér törpe (homogén minta) alapján hűlési sorozat. A 15 legnagyobb tömegű (>1,2 naptömeg) fehér törpe közül 12-t EUV-ben fedeztek fel. Keletkezésük rejtély (talán 2 degenerált csillag összeolvad?). A nagy tömegűek negyedének erős (mérhető) a mágneses tere, a normális populáció 4%-ánál mértek csak mágnességet.

Normális vagy gyengén aktív csillagnál az EUV emisszió láthatatlan kísérő (fehér törpe) jele lehet.

Kataklizmikus változócsillagok: nóva, nóvaszerű, törpenóva, mágneses CV (AM Her [polár], DQ Her [közbenső polár]). SS Cyg és U Gem kitörését észlelték.

Csillagközi anyag: magas galaktikus szélességen még extragalaktikus források is észlelhetők EUV-ben. A lokális üreg nyitott a galaktikus pólus irányában, nem buborék, hanem cső vagy kémény.

Az EUVE méréseiből 20 galaxist találtak a végső feldolgozás után. Az NGC 5548 (Seyfert 1) galaxisban rengeteg emissziós vonal van (NeVII, NeVIII, SiVII). A Virgo- és a Coma-halmaz is EUV-forrás.

ALEXIS

ALEXIS: Array of Low Energy X-ray Imaging Sensors.

Amerikai misszió a Los Alamos National Laboratory vezetésével.

Főként az EUV tartományt vizsgálta, de volt lágyröntgen-detektora is.

1993 áprilisában indították, és 2005 áprilisáig működött.

Három pár EUV-távcső volt rajta, egyenként 33 fok átmérőjű látómezővel, amelyek kissé átfedték egymást. Egy-egy tükör felülete 25 cm^2 volt. A tükrökön többrétegű bevonat (Mo, Si) biztosította a rövid hullámhosszú fotonok visszaverődését.

Az égbolt felét szkennelte gyenge szögfelbontással.

Tudományos programja:

- A diffúz UV háttér mérése 3 emissziós vonalban
- Pontforrások keskeny sávú felmérése
- Tranziens források keresése lágyröntgen-tartományban
- Változó intenzitású lágyröntgen-források monitorozása kataklizmikus kettősök, flercsillagok)

Jól kiegészítette a ROSAT és az EUVE kutatási programját.

CHIPS

Extrém-UV misszió a CHIPS (Cosmic Hot Interstellar Plasma Spectrometer) is.

NASA + Univ. of California at Berkeley, az első UNEX (University Class Explorer) szonda.

Indítás: 2003. I. 13., 60 kg tömegű szonda, spektrográfiával 9–26 nm között 0,14 nm felbontású színeképeket készített.

Főleg a Lokális buborékbeli forró plazma hőmérsékletének és ionizációs állapotának vizsgálatára küldték fel.

Az ionizált vasnak 18 nm körül sok vonala van: FeIX (17,1 nm), FeX (17,5 nm), FeXI (18,0 nm), FeXII (18,7 nm).

5×26,7°-os sávokat mért 150000 s integrálással. 30 foton/cm²/s/szteradián várható legalább, de ahol sűrű a csillagközi anyag, ott 400 foton/cm²/s/szteradián is lehet.

Az 1 éves misszió során 316 spektrumot készített, amelyek alapján a Fe mellett más elemek (Si, S, Ne, Ni) előfordulási gyakoriságát is meg lehetett határozni a csillagközi anyagban.

Swift

A Swift gammaaszonda egyik műszere (UVOT, Ultraviolet and Optical Telescope) közeli UV (170–300 nm között) fotometriát végez (és optikai fotometriát is). 30 cm-es távcsövének látómezeje $17' \times 17'$. Az UVOT az 1999 végén indított XMM-Newton fedélzetén levő OM mintájára készült.

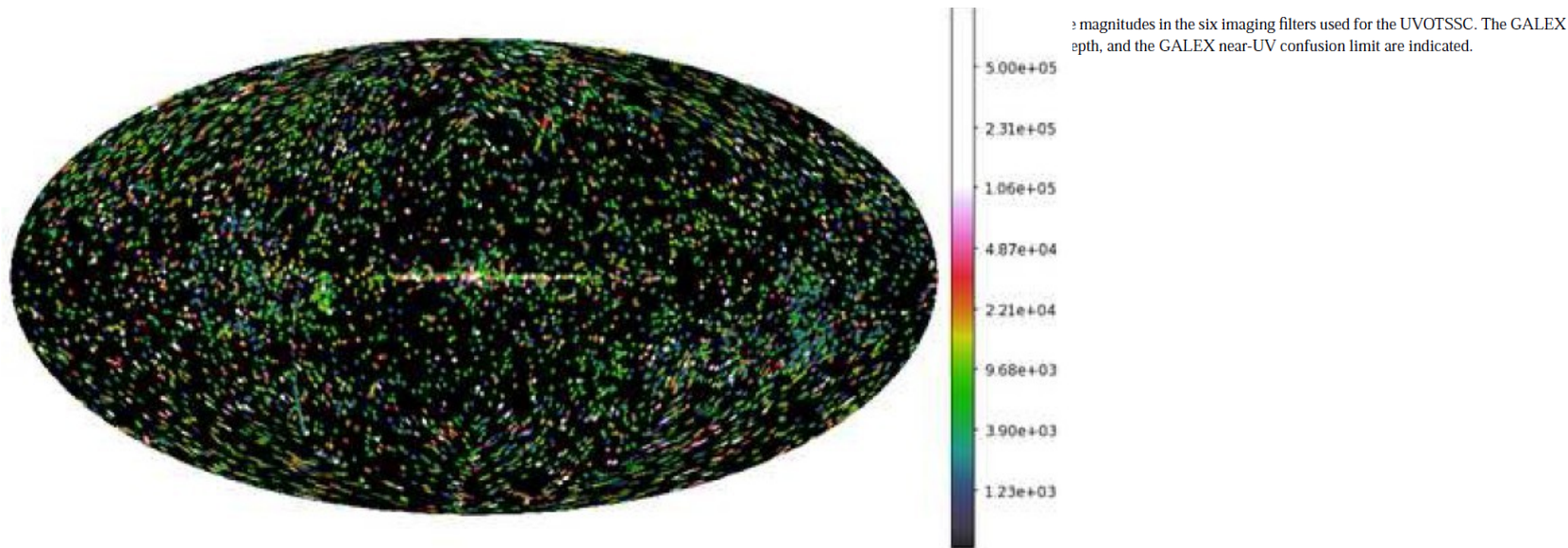
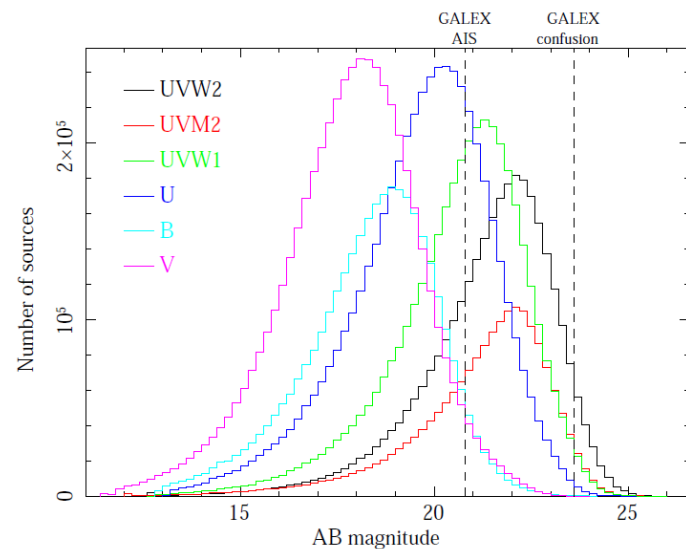
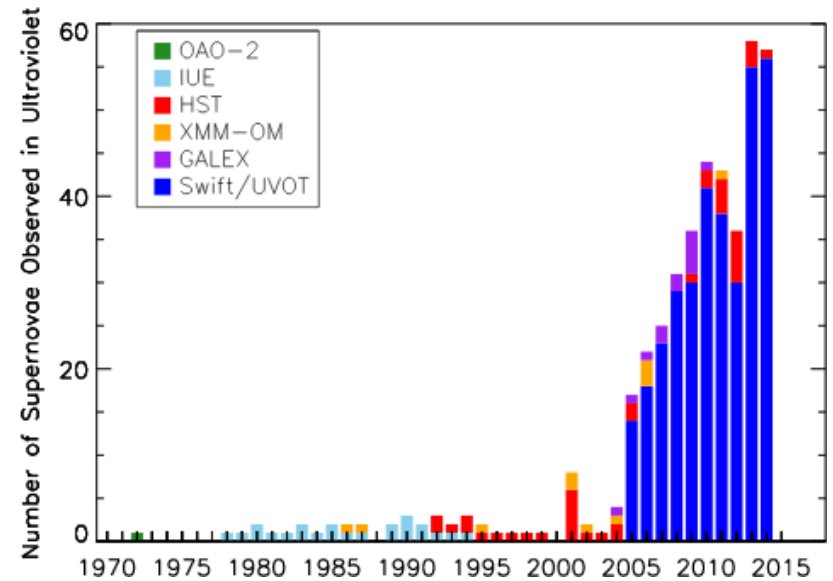
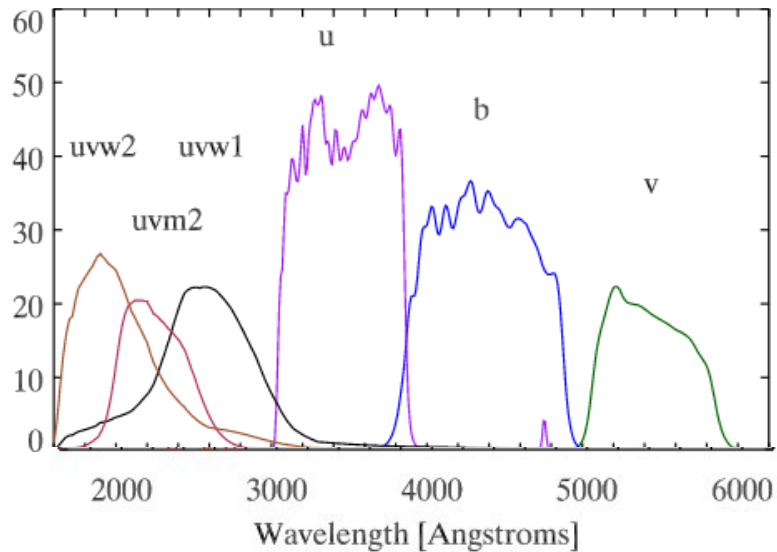
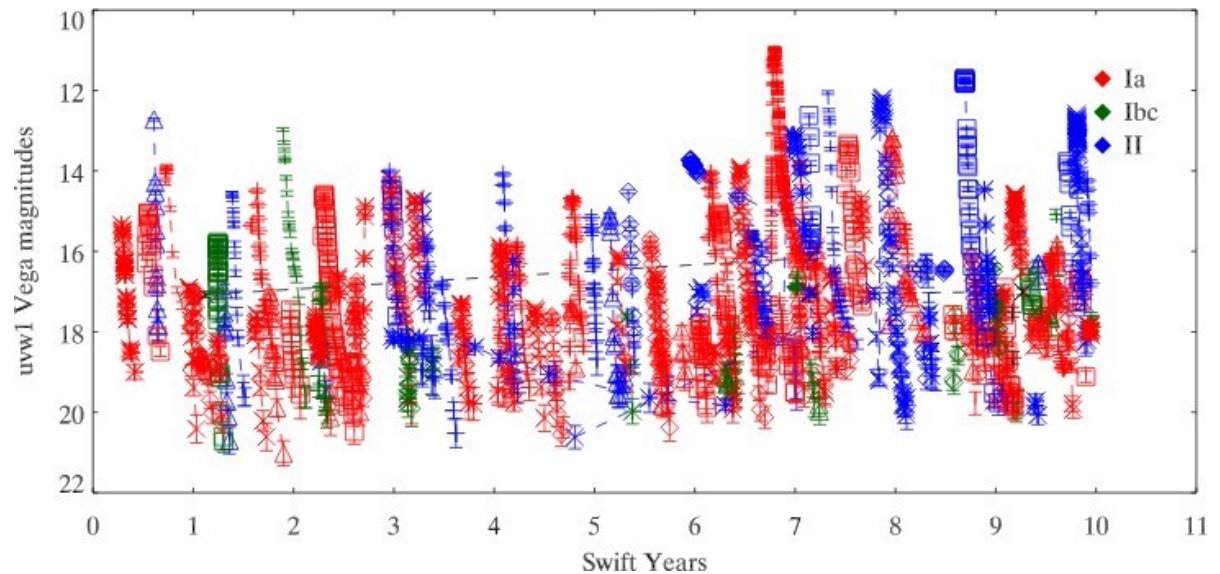


Figure 1: Swift pointings from 2005-2010, colour coded by the total UVOT exposure time in seconds

Swift UVOT

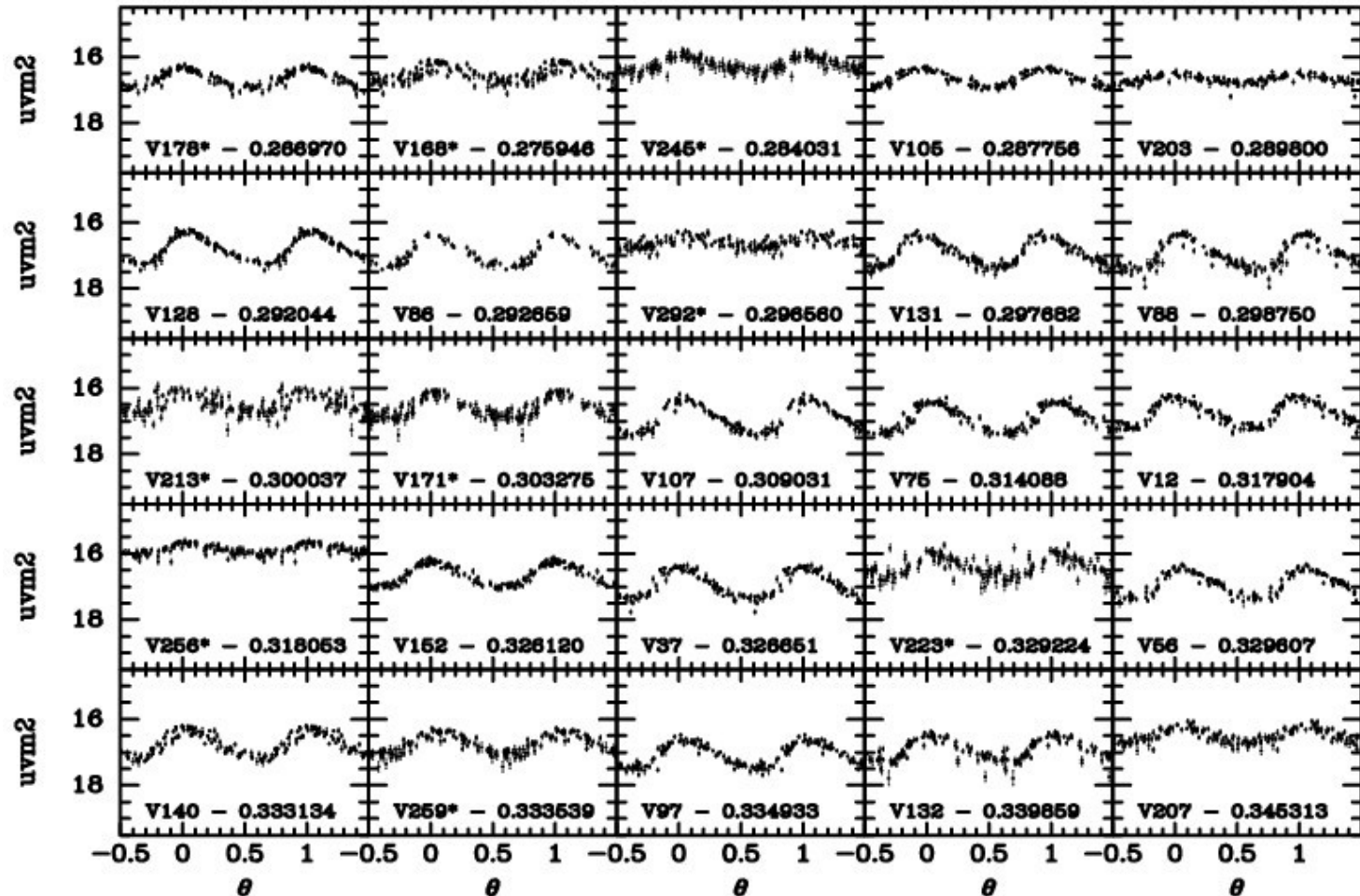


Szupernóvák
észlelése a
Swift UVOT-tal



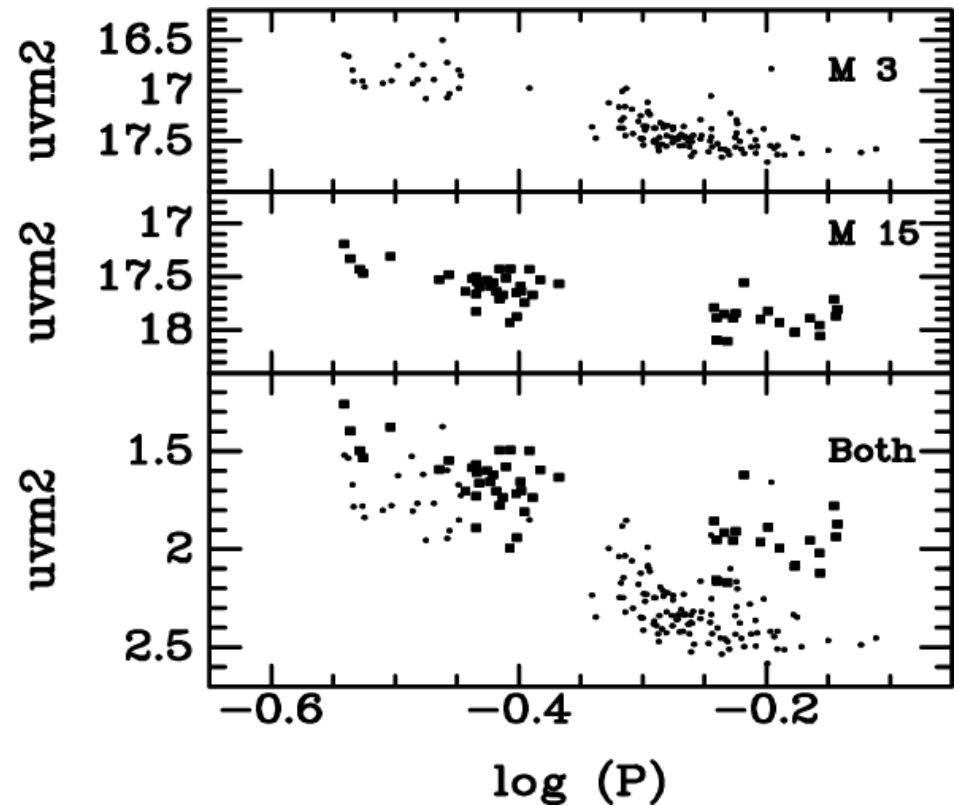
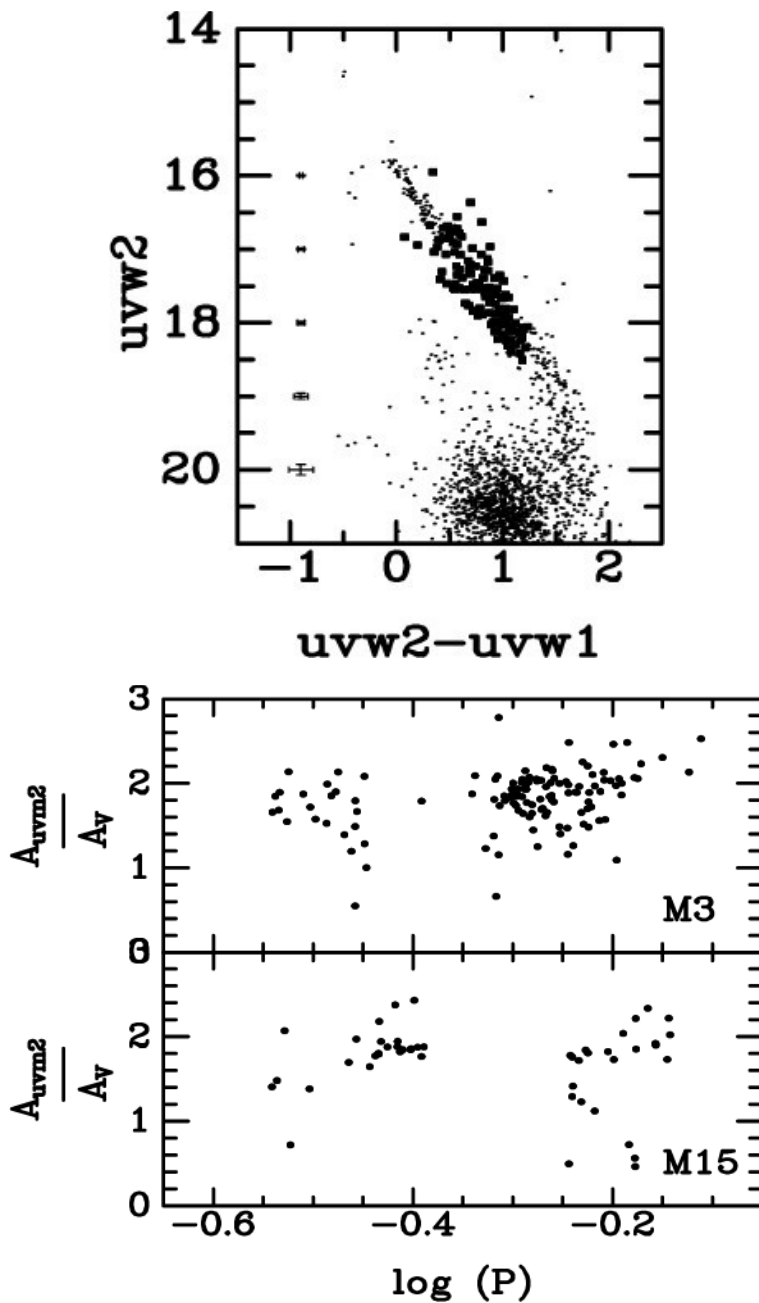
Swift UVOT

Példa a SWIFT UVOT-tal végrehajtott kutatási programra: RR Lyrae csillagok fotometriája az M3 (és az M15) gömbhalmazban (a képen az M3-belieké)



Swift UVOT

M3- és M15-beli RR Lyrae csillagokra
kapott további eredmények

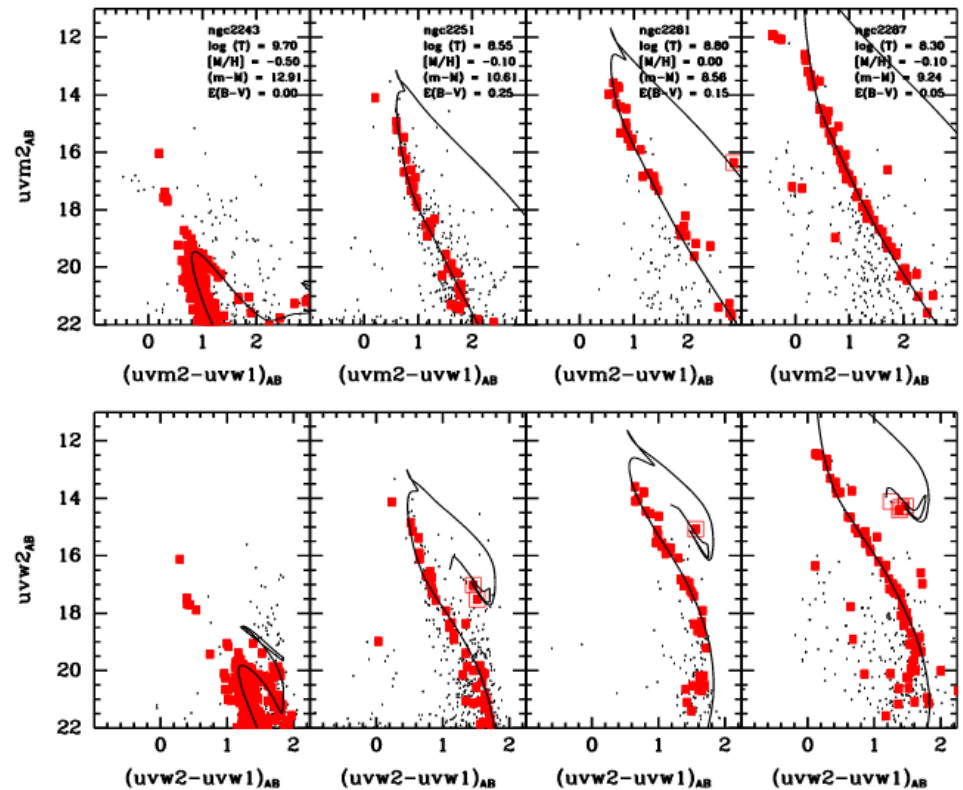


Az UVOT egyéb programjai

A Kis-Magellán-felhő közeli UV felmérése 2014-ben: több mint 25000 NUV forrást találtak.

KSwAGS: Kepler-Swift Active Galaxies and Stars survey: egyidejű röntgen- és UV felmérés a Kepler-mező 6 négyzetfokáról: 60 forrást találtak (galaxisok, csillagok és nem azonosítható objektumok). A K2 mezőire is folytatják a vizsgálatot.

Egy másik projekt során 103 galaktikus halmaz csillagainak fotometriáját végezték el. A halmaztagságot a Gaia DR2 adatai alapján döntötték el. A halmazok szín-fényesség diagramja alapján meghatározták a halmazok korát, távolságát és vörösödését is (jobbra).



Hisaki

Hisaki = SPRINT-A: a japán JAXA küldetése, az első kis tudományos szondájuk (340 kg tömegű 4 köbméter térfogatú).

Indítás: 2013. szept. 14., a felszín fölött kb. 1050 km magasságú LEO pályára, 106 perces keringési periódussal.

A SPRINT-A feloldása: Spectroscopic Planet Observatory for Recognition of Interaction of Atmosphere;

A Hisaki magyar jelentése: Tűzfok, a kagosimai indítóállomás mellett található, ahol a helyi halászok imádkoznak a zsákmányszerző út biztonságáért, másik jelentése „a Napon túl”.

Az egyévesre tervezett (végül 2015. januárban befejezett) misszió során a fedélzeti EUV-spektrométer fő feladata a naprendszerbeli bolygók légkörének és magnetoszférájának vizsgálata volt (az ekliptika ± 10 fokos környezetében, de asztrofizikai eredmények is születtek az 55 és 145 nm között felvett színeképekből.

Egyetlen példa: eddig ismeretlen galaxishalmazokat fedeztek fel a forró (10^{4-5} K hőmérsékletű) plazma által kibocsátott 58,4 és 53,7 nm nyugalmi hullámhosszú HeI-vonalai alapján.

LUT – Lunar based Ultraviolet Telescope

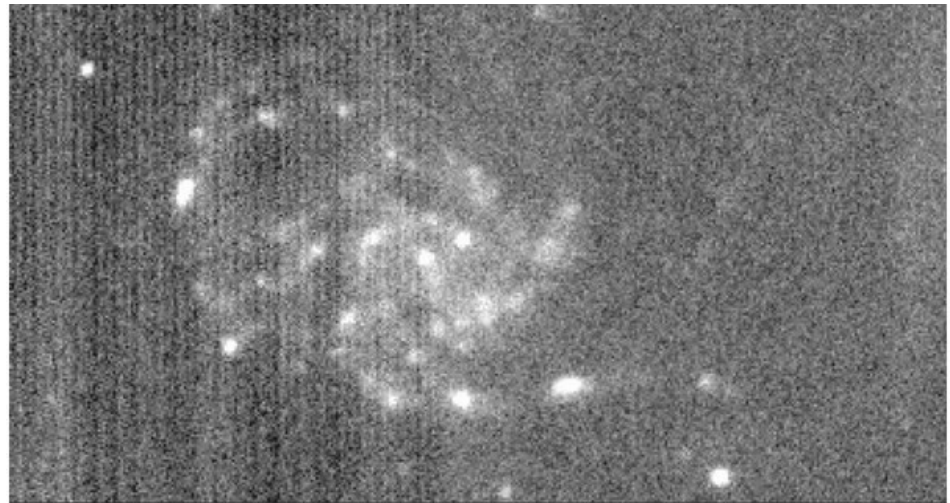
A kínai Chang'e-3 szonda juttatta a Holdra. 2013 decembere óta működik.

A 15 cm átmérőjű RC-távcsőre szerelt detektor a 245–340 nm közötti hullámhosszakra (NUV) érzékeny. Minden holdhónapban 12 napig mér (amikor a napelemek elég fényt kapnak). 13 magnitúdóig lehet észlelni, 1-1 objektumot akár folyamatosan is a Hold lassú forgása miatt.

Program:

- alacsony galaktikus szélességen teljes égfelmérést végez NUV-ben;
- galaxisok, AGN-ek, változó- és kettőscsillagok monitorozása, általában 2 napig.

Standardként az IUE által észlelt fényes csillagokat használja. Havonta kb. 10000 kép készül. Másfél év tapasztalata szerint a fotometriai rendszer stabil.



Above: An image of the Pinwheel galaxy captured earlier by the UV telescope on the Chang'e-3 lander (NAO).

UV űrcsillagászat – múlt és jövő

Néhány lényeges UV csillagászati felfedezés az elmúlt fél évszázadból:

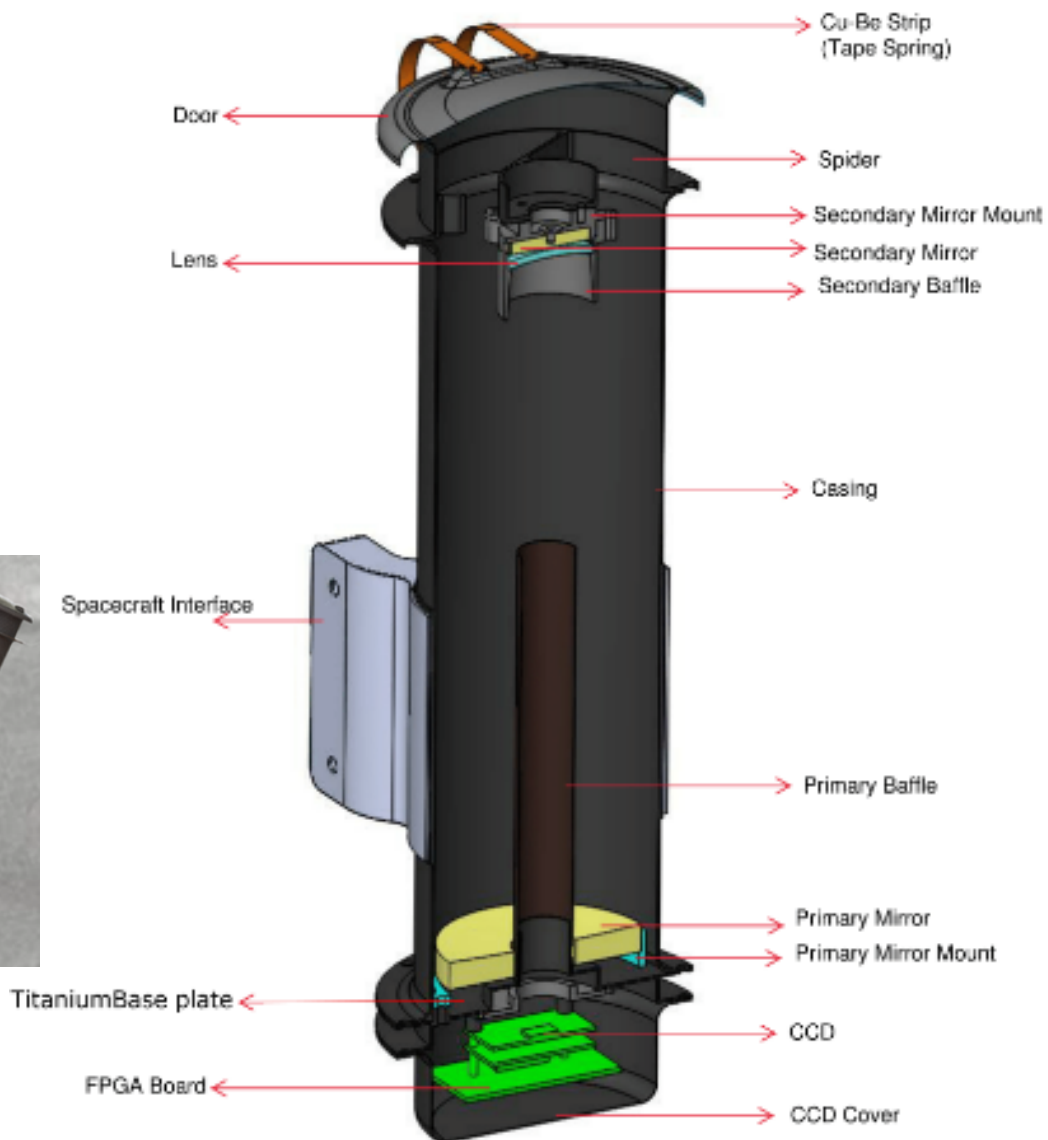
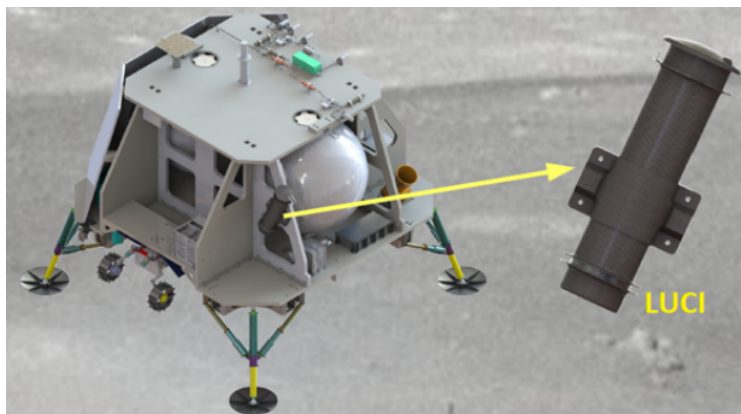
- A H₂ molekula felfedezése a kozmikus térségben (Aerobee rakétán levő műszerrel, 1970);
- A kozmikus D/H arány kimérése (Copernicus, 1973);
- Az intersztelláris anyag „forró” komponensének kimutatása (Copernicus, 1974);
- A csillagok kémiai összetételének és tömegvesztésük mértékének pontos meghatározása a HR-diagram minden részére vonatkozóan (IUE, 1978–1996);
- Az intergalaktikus anyagban levő meleg és forró barionos anyag „raktárainak” azonosítása (HST, FUSE);
- Előrehaladás az üstökösök, a bolygóléggörök és az exobolygók exoszférikus fizikájának megértésében (HST).

Fontos kutatási témák a jövőben:

- Az intergalaktikus anyag barionos összetételének meghatározása;
- Galaxisok sötétanyag-halóinak kialakulása és barionos összetétele;
- Csillagok és galaxismagok nagyenergiás jelenségei;
- Extraszoláris bolygók légköri kémiai összetételének meghatározása;
- Gravitációs hullámokat keltő csillagok fizikájának megismerése.

Az UV űrcsillagászat jövője

A Holdra kerülhet az indiai LUCI műszer (Lunar Ultraviolet Cosmic Imager) a Team Indus által tervezett szondával (mikor???). A műszer készen van, és a közeli UV-ben észlel majd.



Az UV űrcsillagászat jövője

WSO-UV: World Space Observatory – Ultraviolet.

Eredetileg az ESA és a Roszkoszmosz projektje, de közben a spanyolok is betársultak. Oroszországban **Szpektr-UF** néven ismert a projekt. (A 2011-ben indított RagyioAsztron a Szpektr-R volt.)

5-10 éves működés van tervbe véve. Az 1,7 m tükörátmérőjű, 30 ívperc látómezejű távcsövet tartalmazó szondát jelenleg 2023-ban tervezik geoszinkron körpályára helyezni.

Műszerei:

- WSO-UV spektrográf (WUVS),
- Field Camera Unit (FCU): detektora 115 nm és 176 nm között érzékeny mikrocsatornás lemez.

Egy másik komoly terv: **LUVOIR** (Large Ultraviolet, Optical and Infrared telescope) – azonos távcső és detektálási technika az UV, optikai és infravörös tartományban.

LUVOIR-A: 15 m átmérőjű főtükr, LUVOIR-B: 8 méter átmérőjű főtükr. A Nap–Föld rendszer L2 pontjába telepítve működtetik legalább 5 évig a 2030-as évtized végétől. Képalkotó spektroszkópia koronagráf üzemmódban is.

Az EUV tartomány új vizsgálatára nincs jelentős űrcsillagászati terv.

