

ŰRCSILLAGÁSZAT

ULTRAIBOLYA- CSILLAGÁSZAT

Összeállította: Szabados László

Szegedi Tudományegyetem
2023

Az ultraibolya színeképtartomány

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

Az ultraibolya (UV) tartomány felosztása:

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

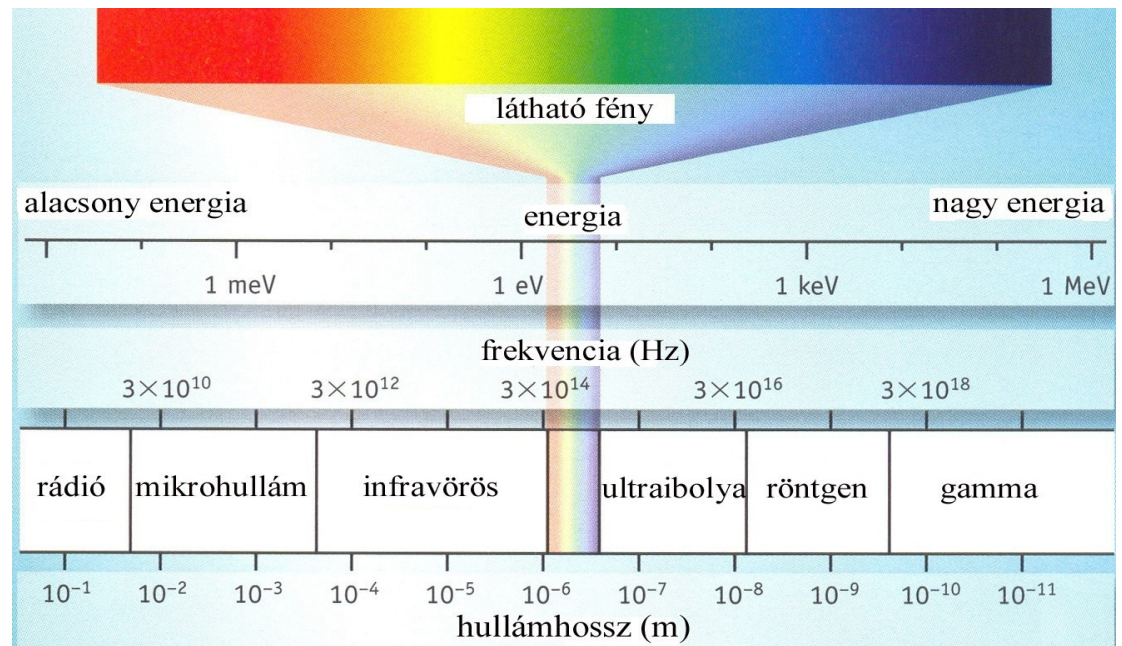
távoli UV: $91,15 \text{ nm} < \lambda < 200 \text{ nm}$

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

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

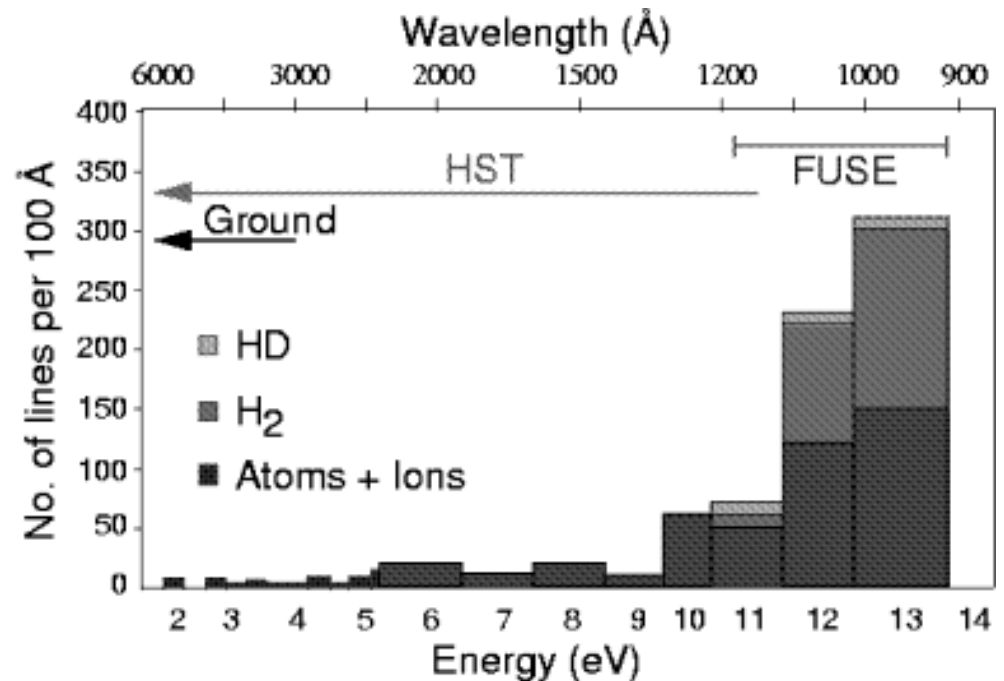
röntgensugárzás.

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 stb.); a rezonanciavonalak erősebbek, mint két 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, a 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.



Az UV színeképtartomány jelentősége

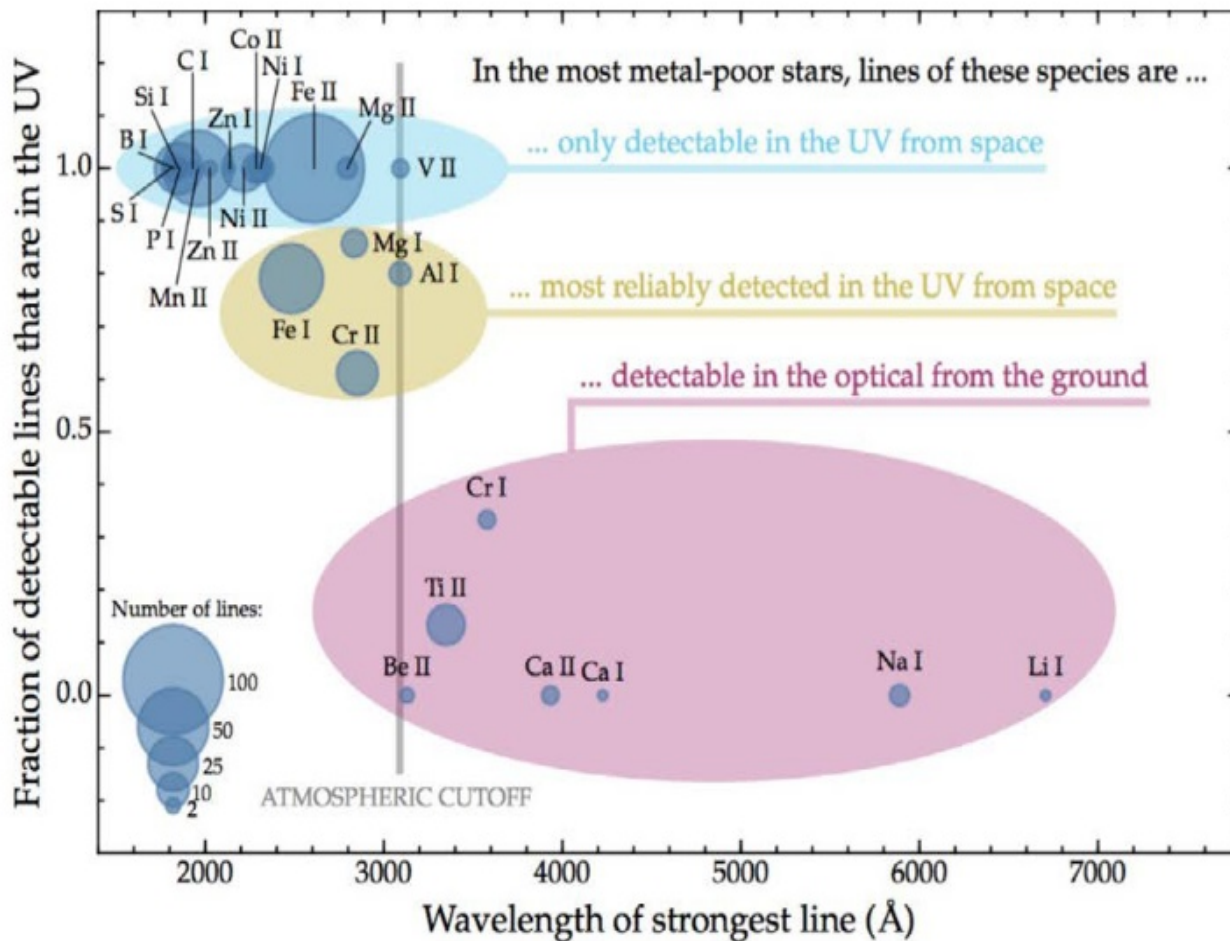


Figure 2-6: Improvement in metal detections in the most metal-poor stars is enabled by UV spectra. Typically ~8-10 elements can be detected in the optical alone, but UV spectra can enable the detection of ~20 elements, probing supernova physics (carbon through zinc, $6 \leq Z \leq 30$) and Big Bang nucleosynthesis, stellar evolution, and spallation reactions (lithium, beryllium, and boron, $3 \leq Z \leq 5$). (Figure credit: Ian Roederer)

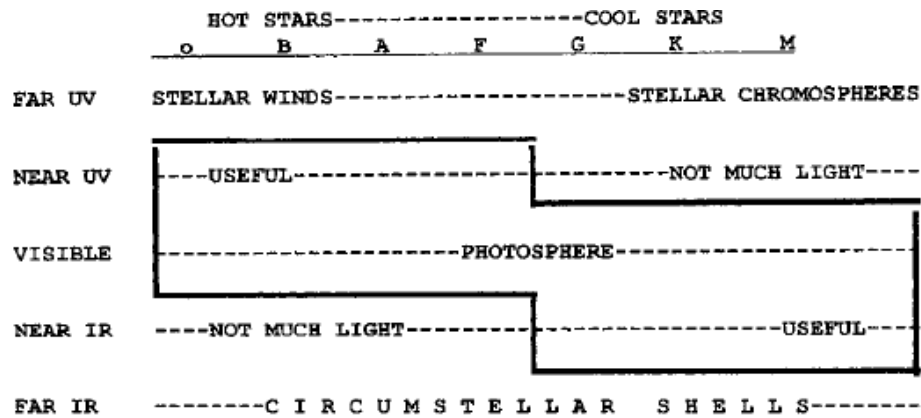
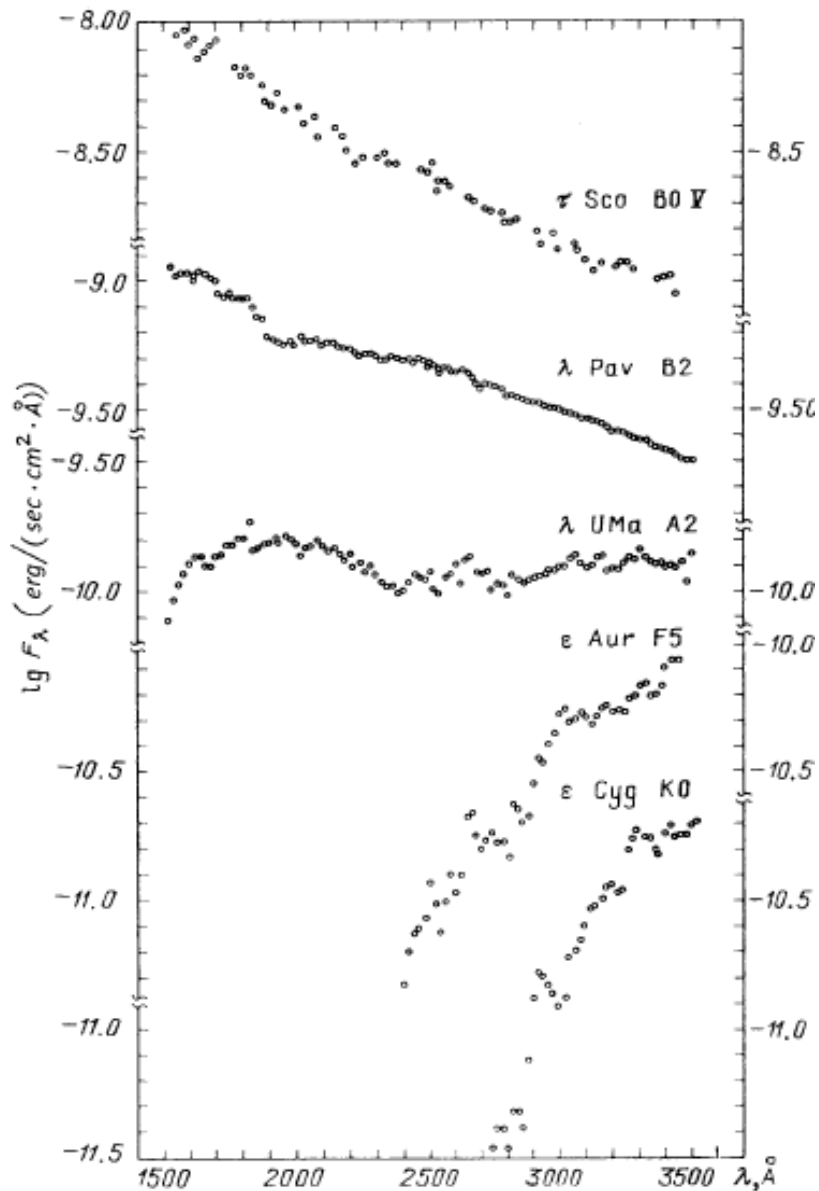
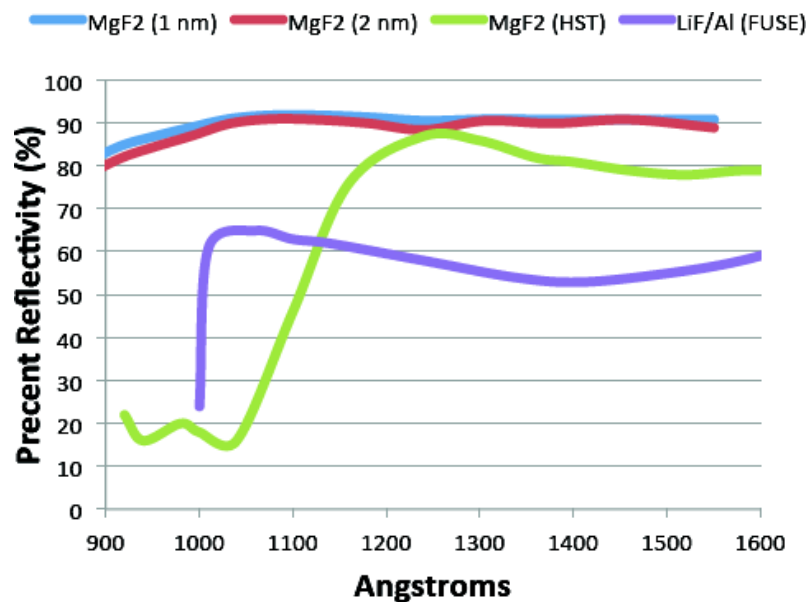


Figure 4. Table summarizing the choices of wavelength regions, as well as some of the general advantages and disadvantages for the various types of stars.



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).

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

Mikrocatornás 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 hatásfok javítására a csatorna bemeneténél alkáli-halidot (CsI vagy KBr) gőzölnék a csatorna anyagára. A hatásfok így 70% lehet.

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

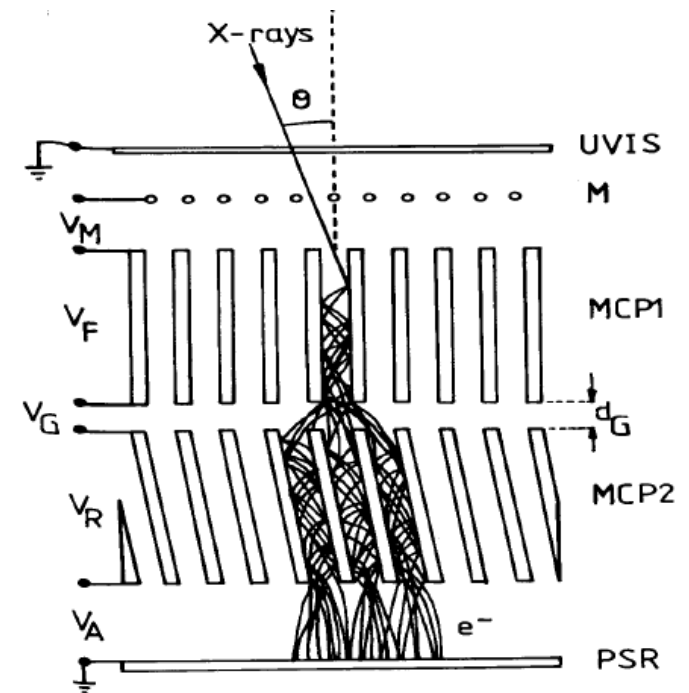


Figure 1. Schematic view of avalanche propagation in a two-stage 'chevron' MCP x-ray detector. The channels of the rear plate (MCP2) are biased at an angle (6° - 15°) to those of the front plate (MCP1) in order to stop positive ions generated at the output end propagating back to the entrance surface 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 ~ 1500 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 fényesség

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 Aerobee rakétákkal (USA). Előbb nem stabilizált, majd 3 tengely mentén stabilizált irányzással. 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 dublettnek 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.

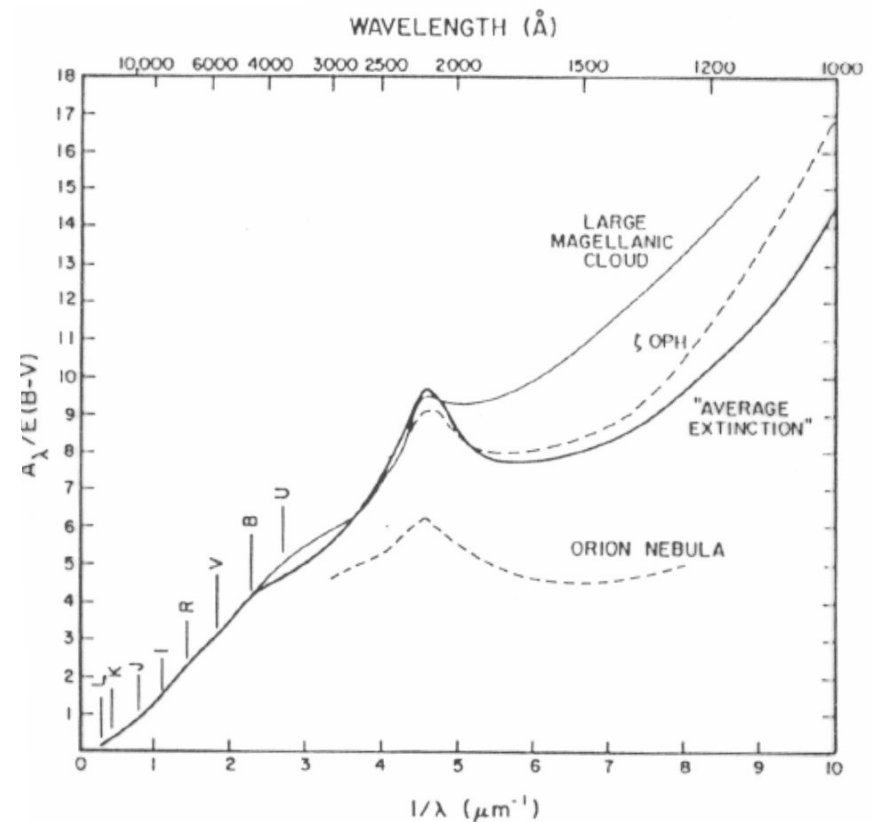
Csillagközi anyag: rengeteg elem rezonanciavonala (optikaiba csak a CaII, CaI és NaI vonalai esnek), kémiai összetétel és eloszlás.

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: sokszorosán 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), a 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

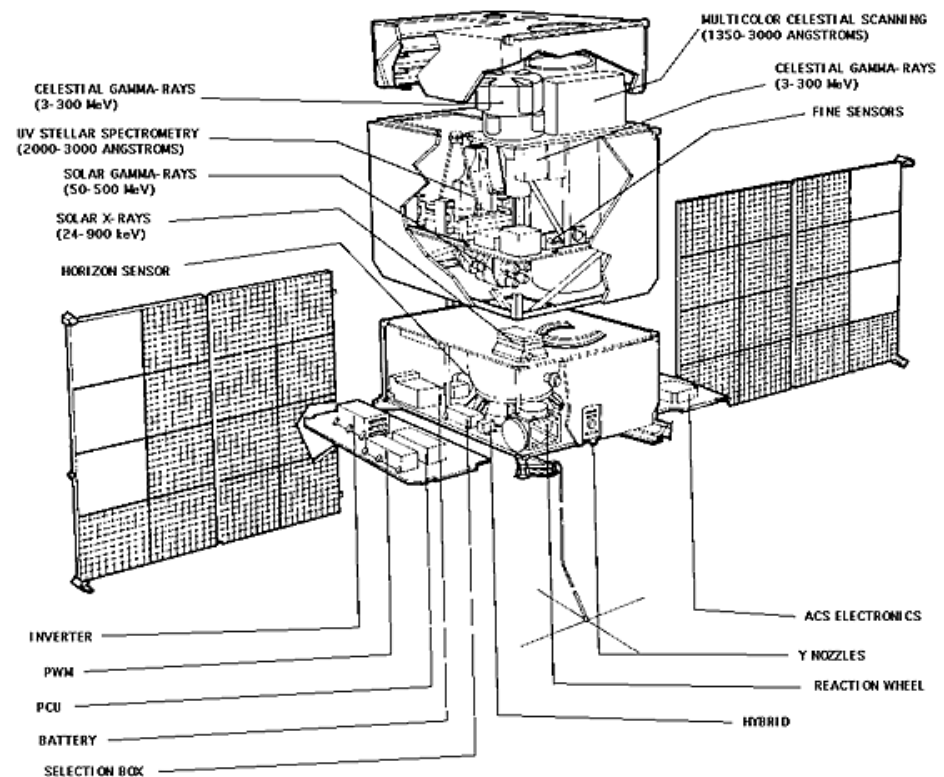
TD-1 (1972): felbocsátó: ESRO (az ESA elődje), a szonda Thor-Delta 1A rakétára volt szerelve, innen ered a neve; az első (még gyenge) égfelmérés; 156,5 nm-en 31215 forrás; nagyobb érzékenységű égfelmérést a GALEX-ig (2003) nem végeztek.

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 a TD-1.



Progress in UV astronomy

Past, present, and future missions

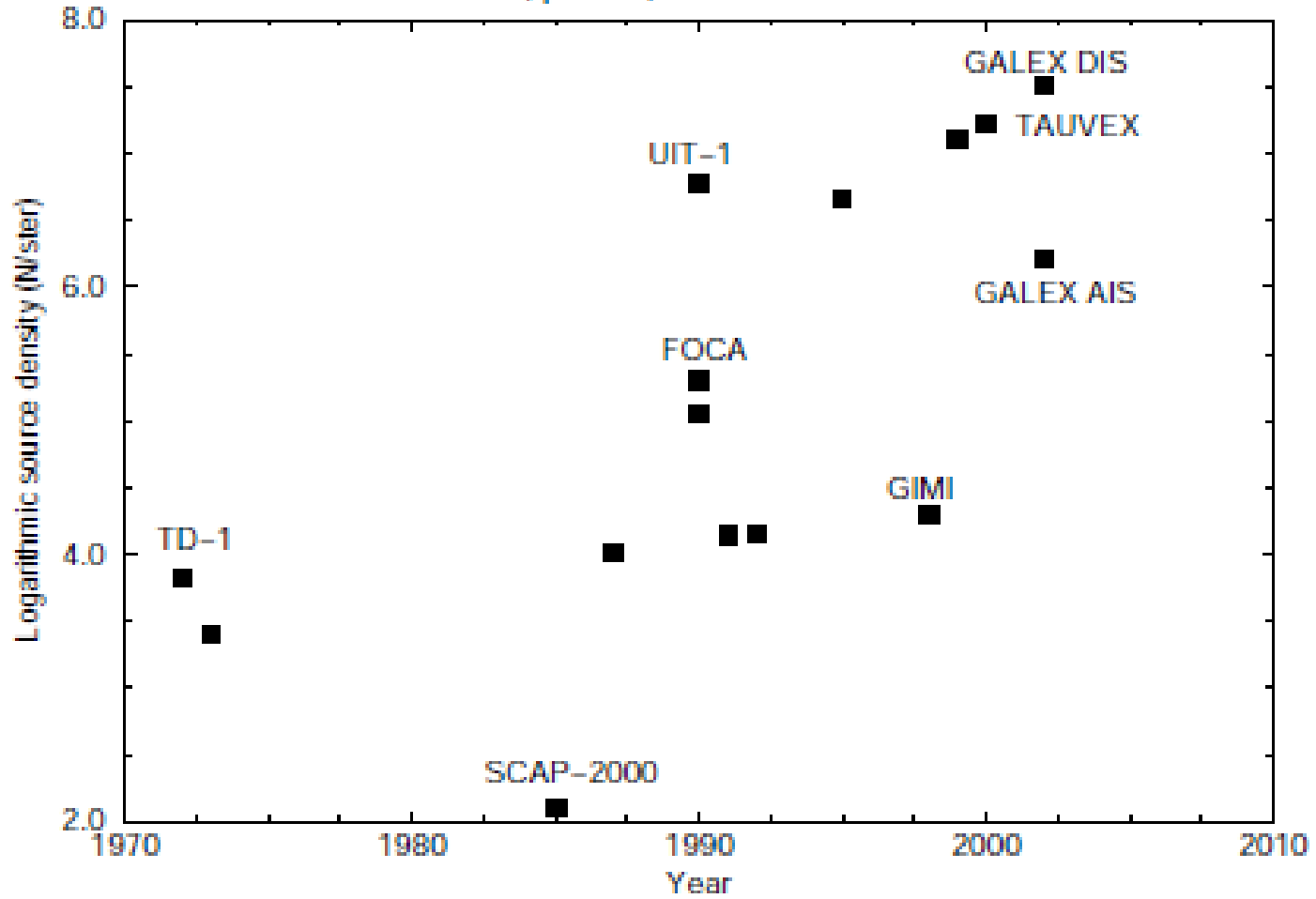


Figure 5. Source density in the UV for various sky surveys. All-sky and partial surveys (past or future) are included.

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 TAUVEV	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.

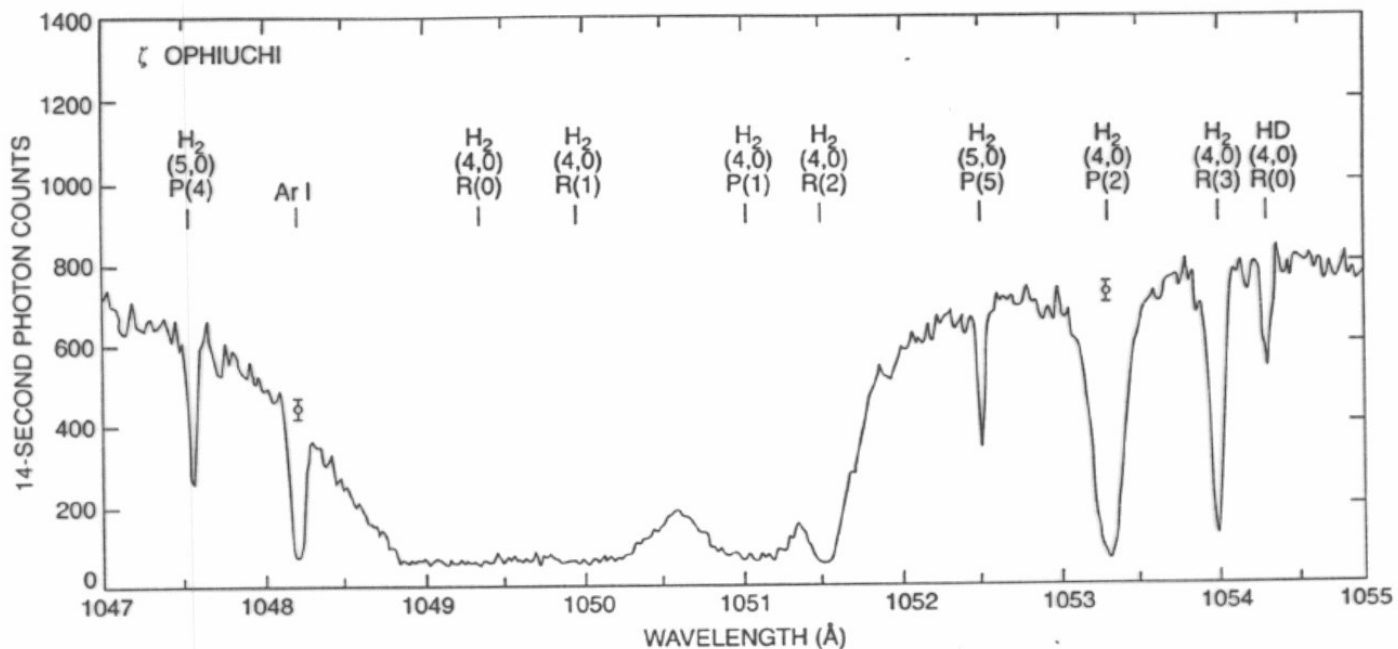


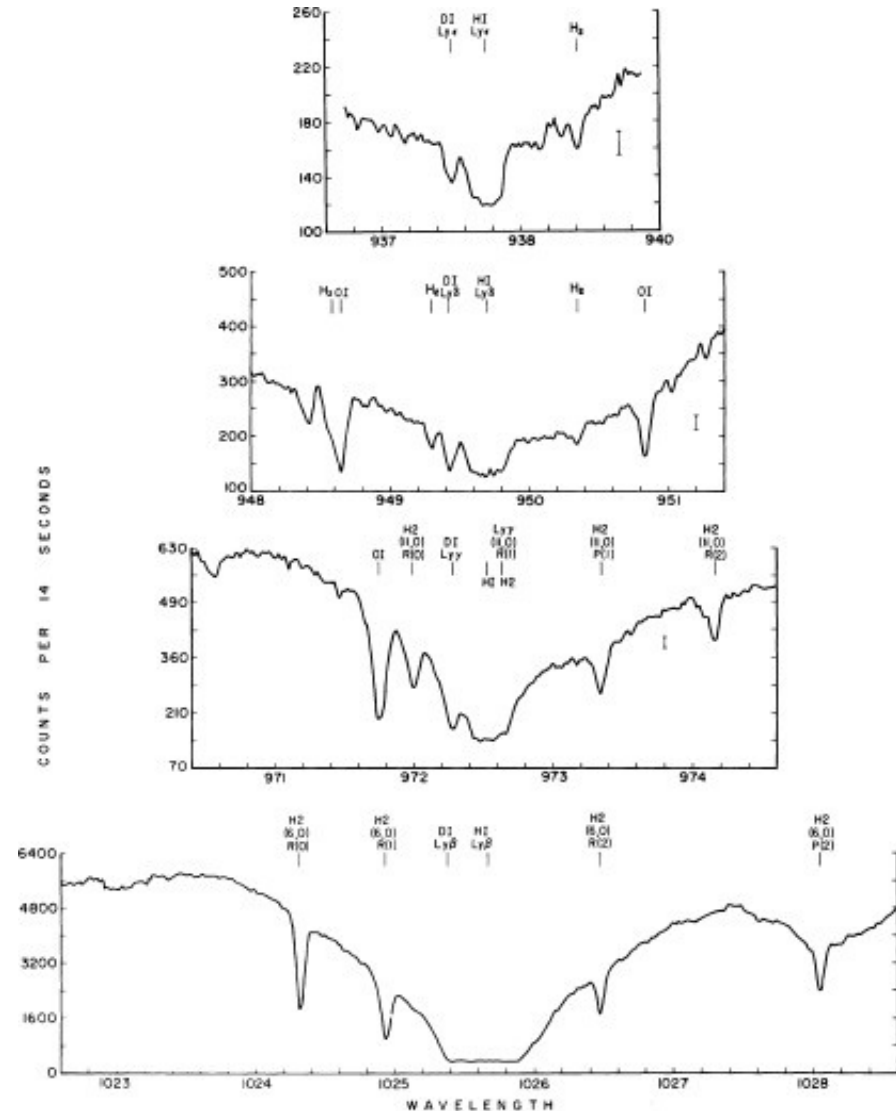
Figure 6 Copernicus Satellite high resolution (0.05 Å) scan of the O 9.5 V star ζ Oph over an 8 Å interval showing the H₂ (4, 0) absorption band near 1050 Å. Absorption from the $J = 0$ to 5 rotational states of the ground vibrational ($v = 0$) level are

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-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 elhelyezett

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. Alsó kép: a Kohoutek-üstökös távoli UV hullámhosszon

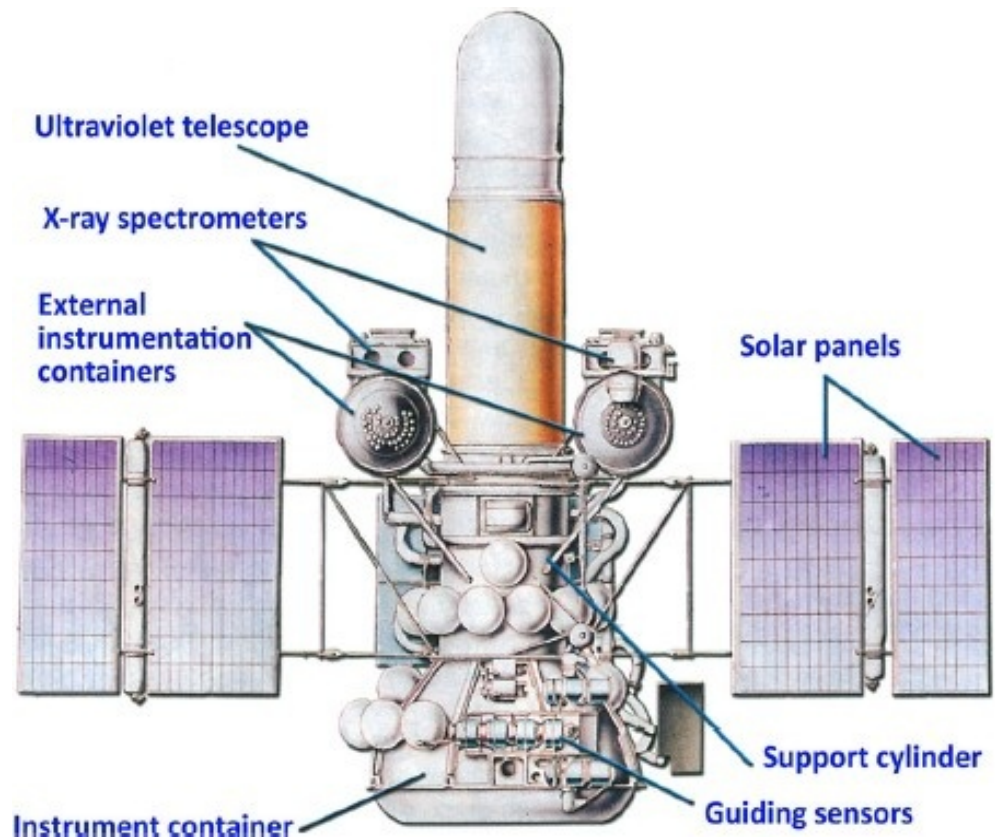


Asztron

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 4 nap volt a keringési periódusa, 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.

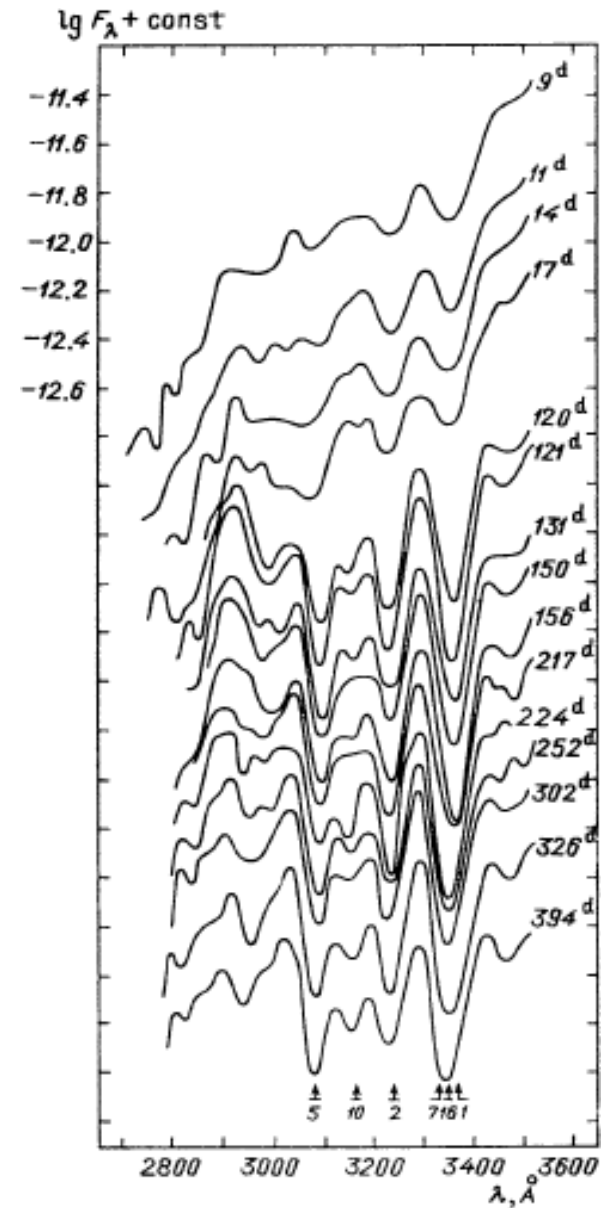
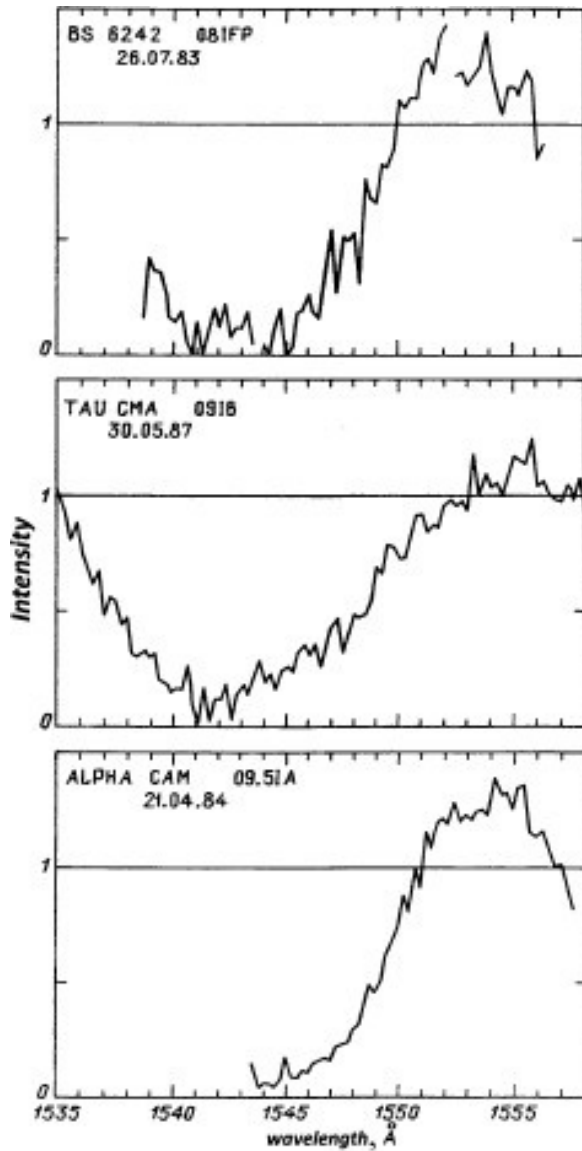
A Halley-üstökös tömegvesztése 300 megatonna minden napközel során; még 300000 évig marad üstökös.



Asztron

Jobbra:
az SN1987A
UV spektruma

Balra:
O típusú
csillagok
UV színeke



IUE (International Ultraviolet Explorer)

Eredetileg LAS (Large Astronomical Satellite), de az ESRO (1975-től ESA) nem hagyta jóvá. A javaslokat 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).

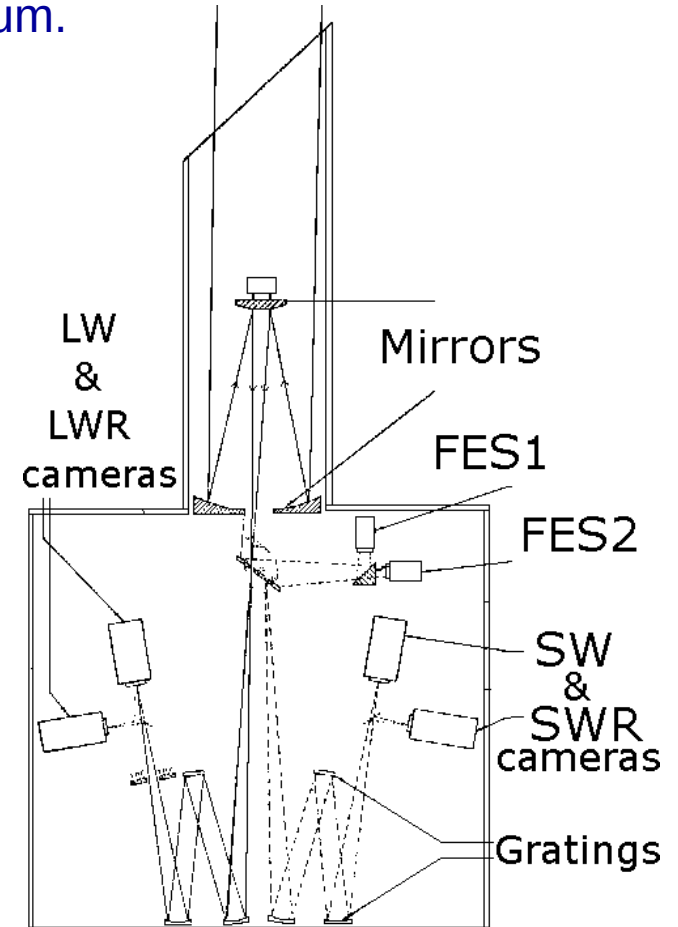
Csak színeképek (104470), végleges formában archiválva, szabadon hozzáférhetők. Távcsöve: 45 cm-es RC (Be-főtükör, kvarc segédtükör).

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 fokra már lehetett észlelni.



IUE

Az IUE céljai:

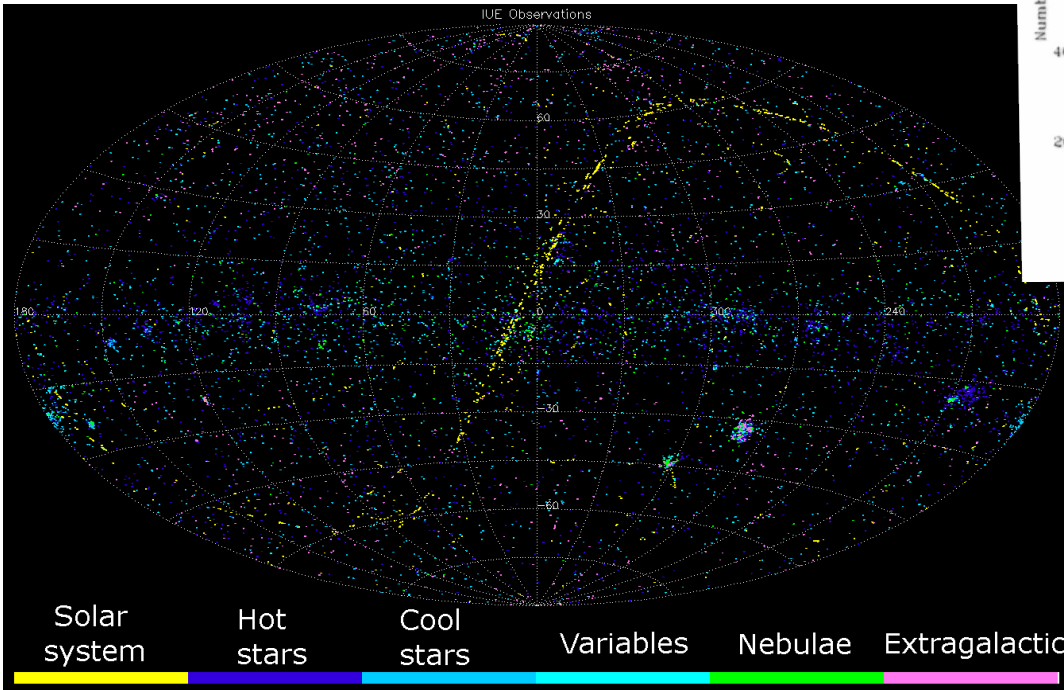
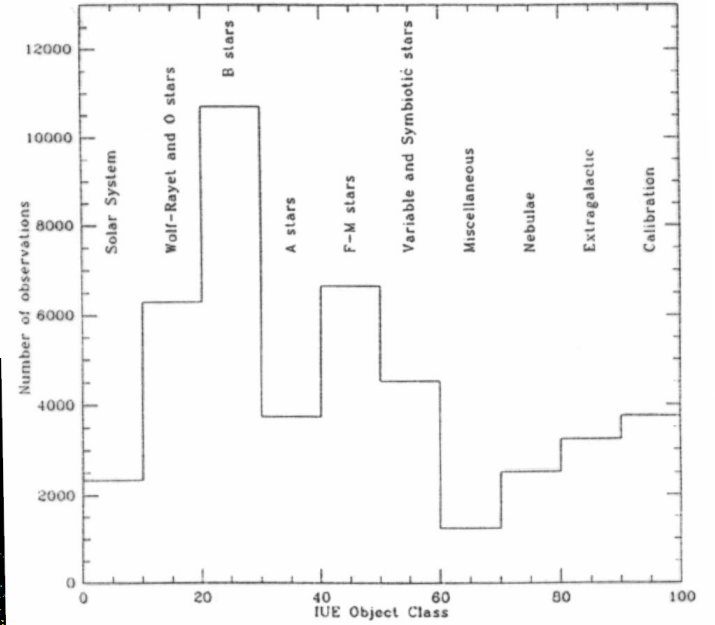
- Minden színeképtípusú csillagról nagy felbontású spektrum a fizikai jellemzők meghatározásához;
- Anyagáramok vizsgálata kettőscsillagoknál;
- Halvány csillagok, galaxisok és kvazárok kis felbontású színeképének összehasonlítása a nagy felbontásúakéval;
- Bolygók és üstökösök színeképe;
- Ismételt 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).

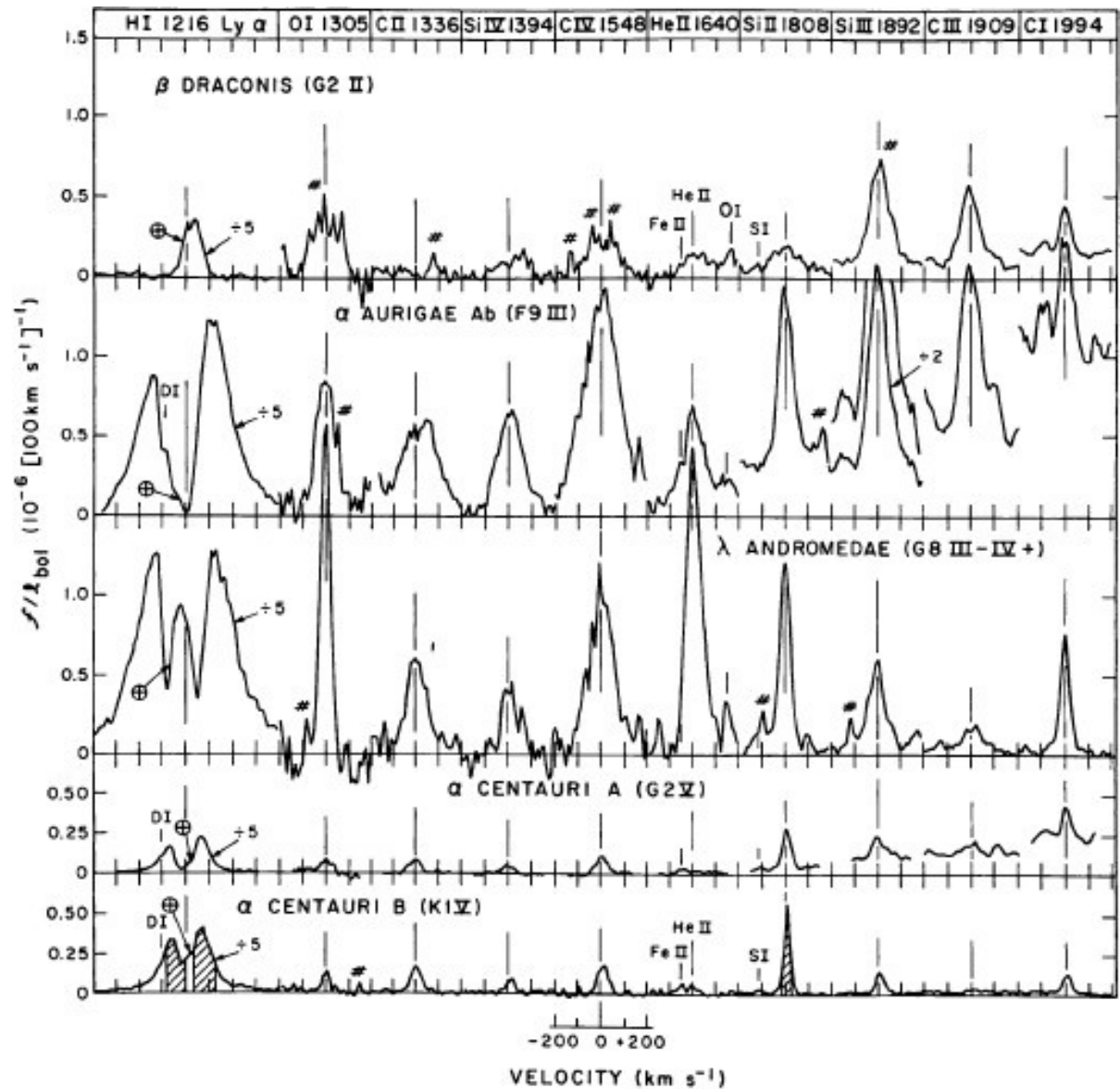
Az utolsó évben már csak az ESA észlelőállomása működött (a hosszú élettartam előnyei és hátrányai). Az 1996-os kikapcsolásának fő oka: a már működő ISO földi személyzetének kellett a villafrancai központ.

IUE



IUE

alacsony
effektív
hőmérsékletű
csillagok
IUE-színképe



IUE

Az RU Lupi klasszikus T Tauri csillag IUE-színképe

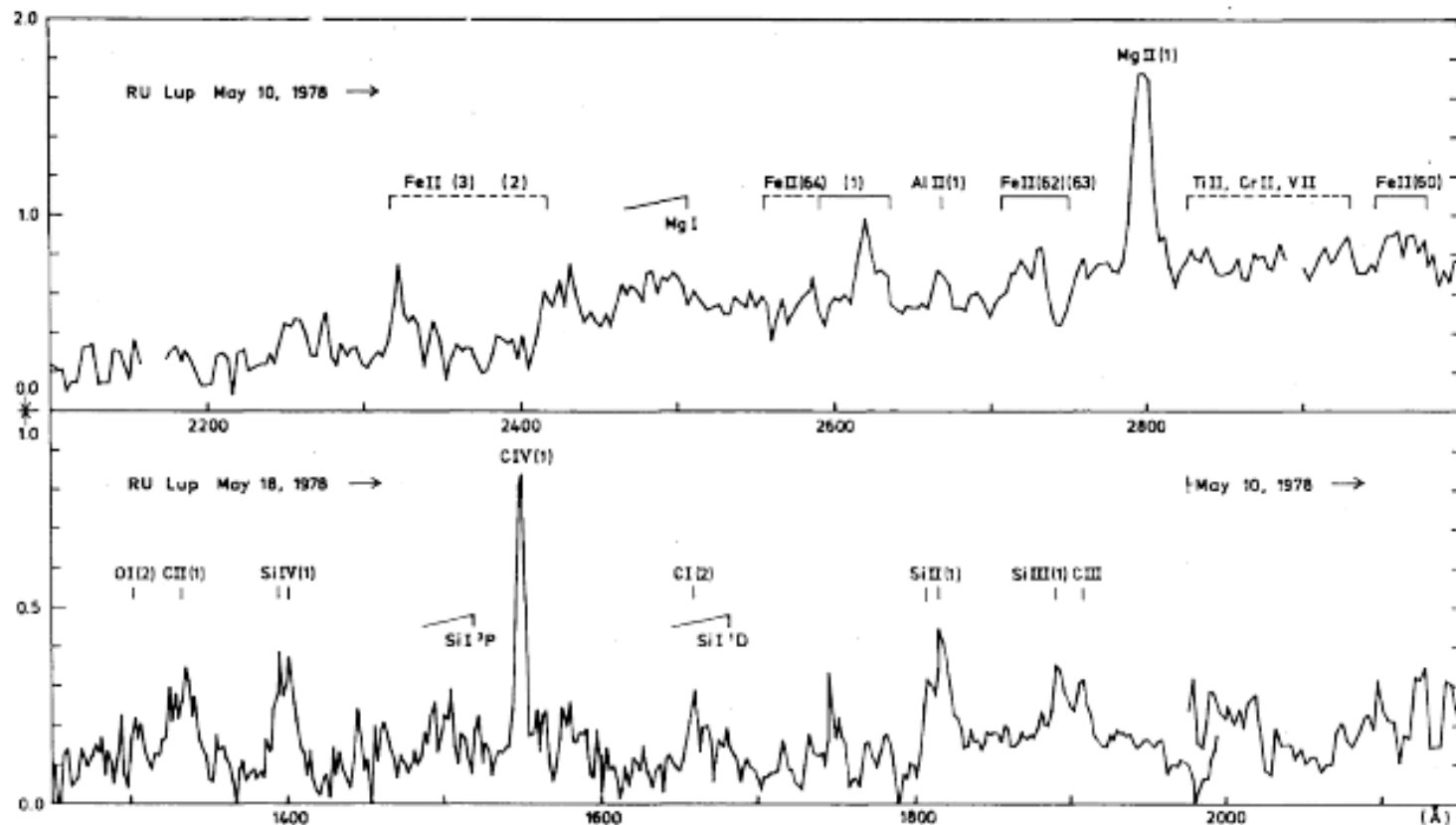


Figure 1. IUE spectrum of RU Lup (flux unit: $10^{-13} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ \AA}^{-1}$) with the main features labeled, one of the first high-fidelity FUV spectra of a classical T Tauri star (CTTS). From Gahm et al. [38]. Reproduced with permission © ESO.

IUE

A T Tauri csillagok környezete az UV-észlelések szempontjából

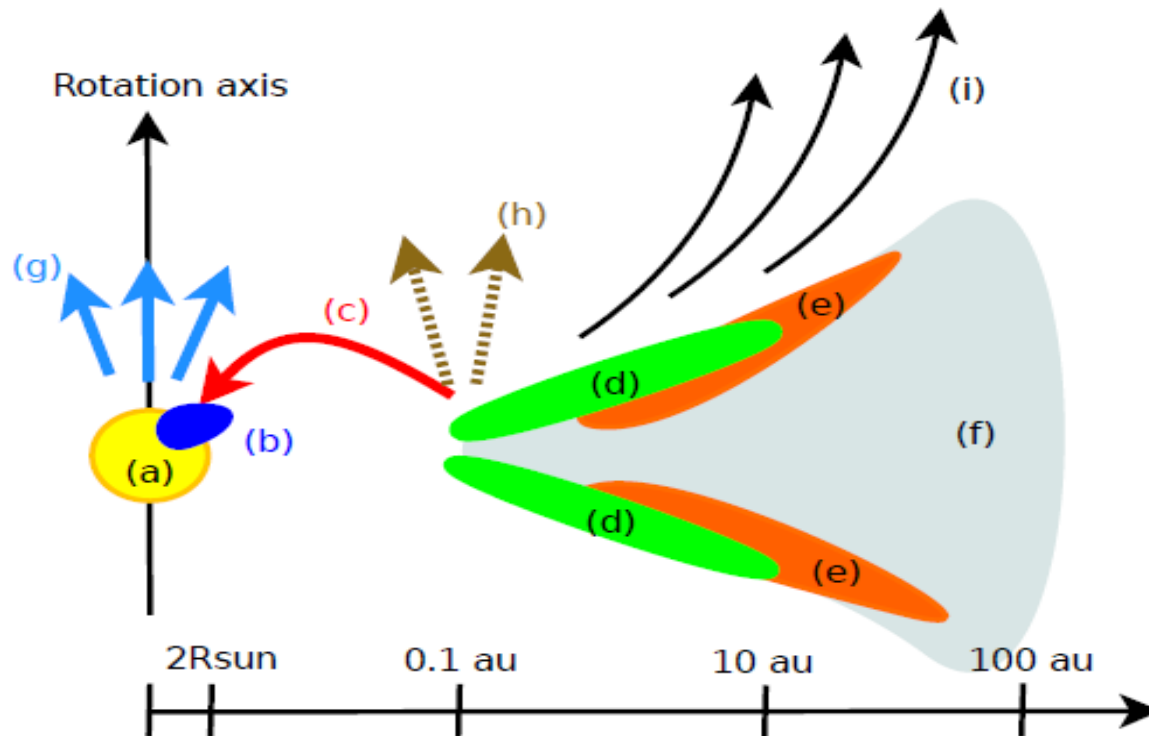


Figure 2. Sketch of a CTTS system with regions that are relevant for FUV studies labeled. Relative positions are correct, but relative distances and sizes are not. The relevant components are (a) the pre-main-sequence star, (b) the accretion shock on the stellar surface, (c) the accretion funnel, (d) the inner, hot disk region ($T \sim 2,000\text{ K}$), (e) cooler regions of the inner disk surface ($T \sim 500\text{ K}$), (f) cool protoplanetary disk material, (g) a spherical (stellar) wind, which may be seen in emission or as an absorption component in strong emission lines (e.g., C IV), (h) an X-wind, and (i) a disk wind. <https://www.overleaf.com/project/5e42c54e77c525000110cf18>.

IUE

Nagy tömegű csillagok jellegzetes UV-színképe az IUE-vel

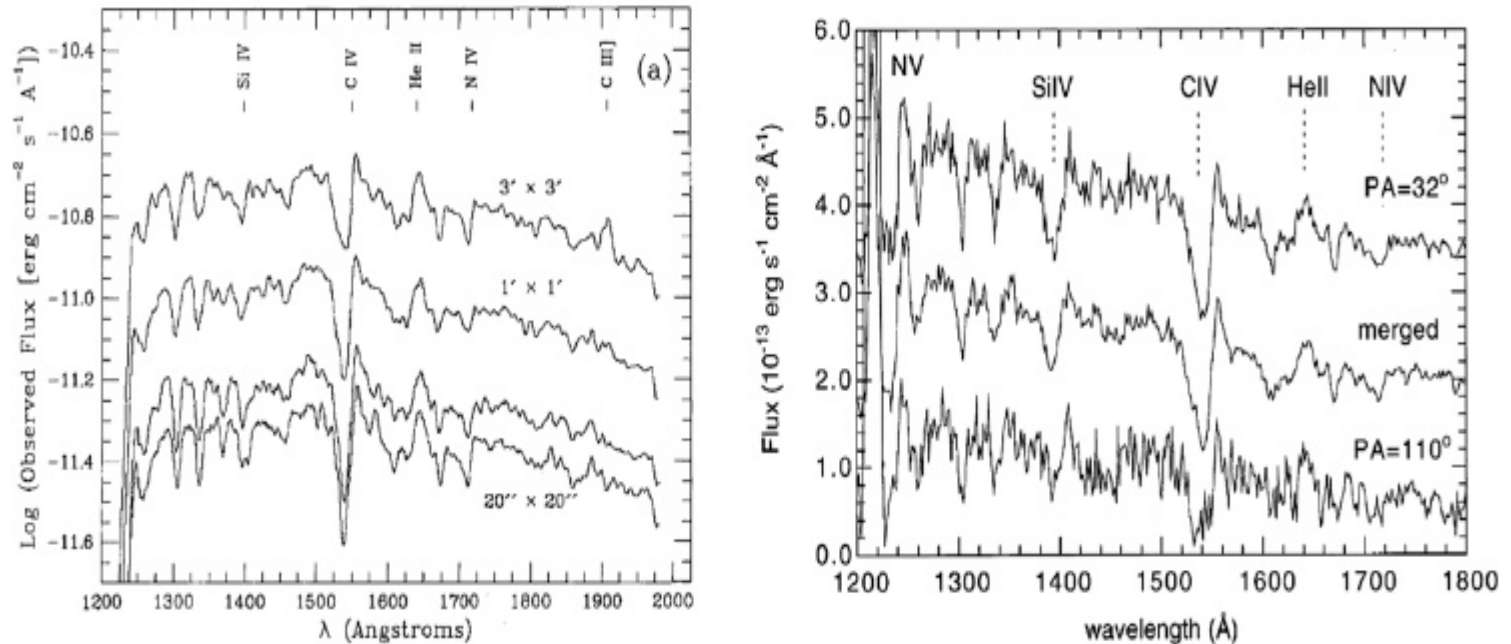


Figure 1. International Ultraviolet Explorer (*IUE*) spectra of NGC 2070 (left) and NGC 604 (right), two extragalactic massive star clusters and the Large Magellanic Cloud (LMC) and M33, respectively. The spectra show the typical UV spectral features of hot, massive stars. From [4,5].

IUE

Csillagontó galaxis (NGC 1705) alacsony diszperziós IUE-színképe

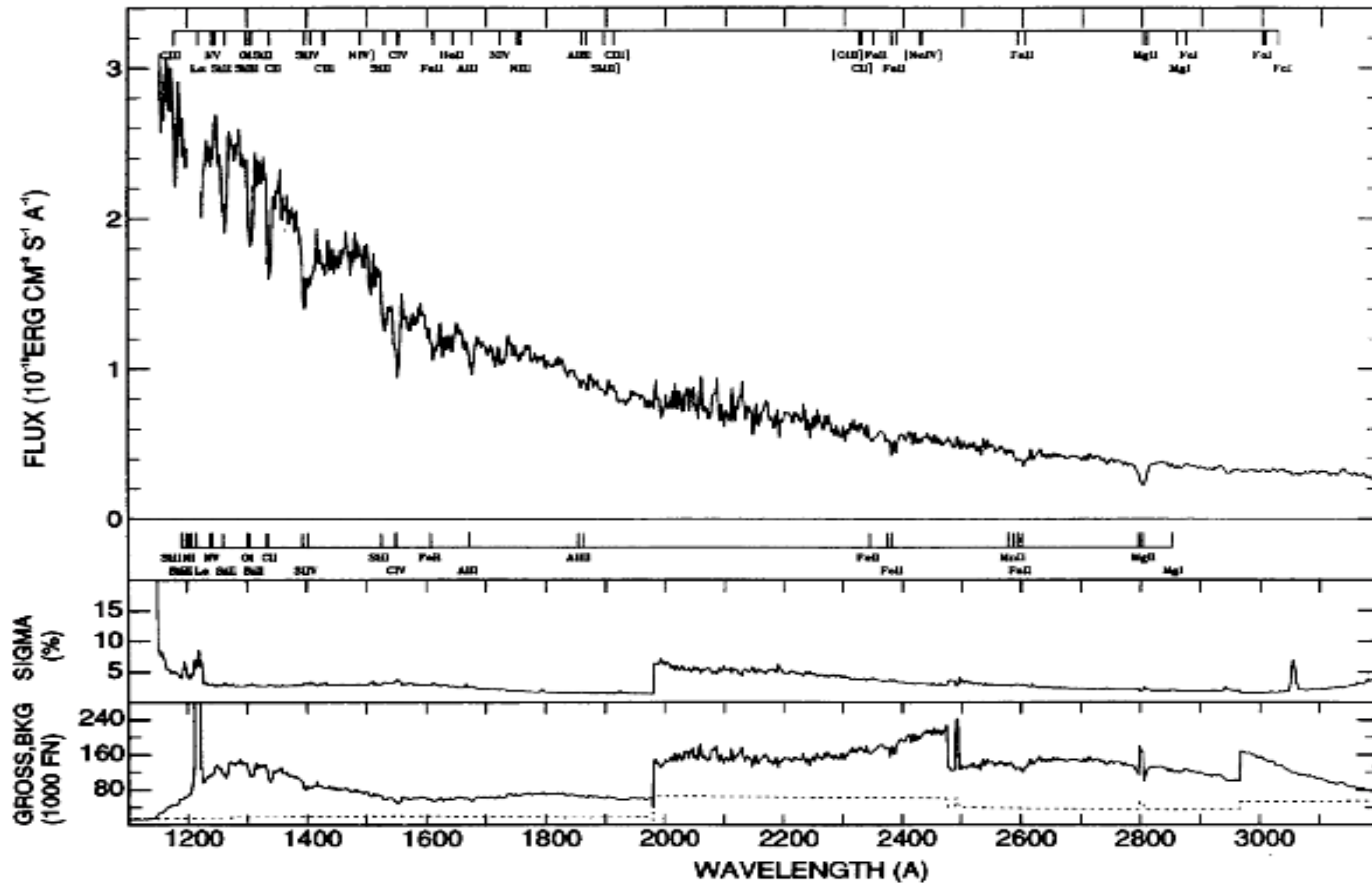
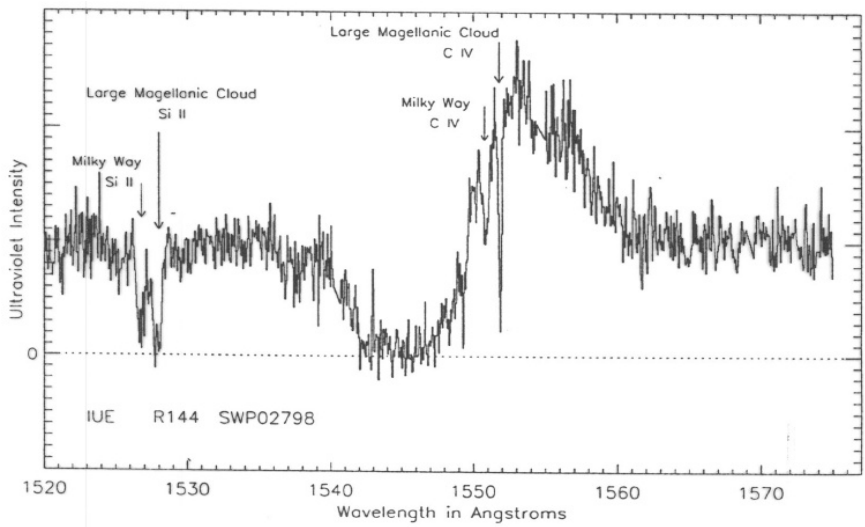
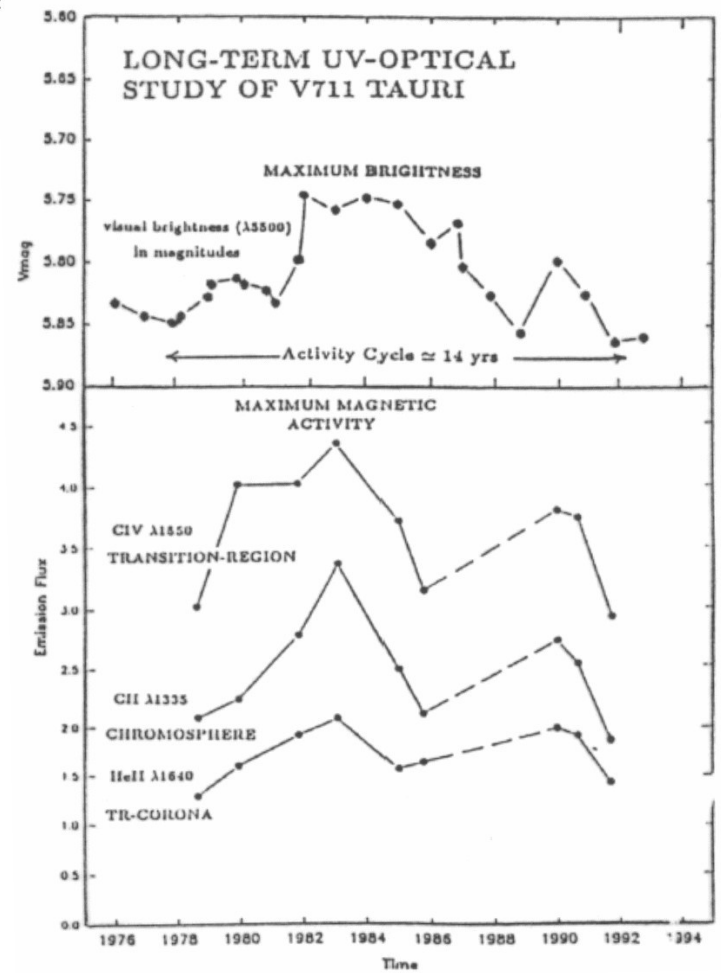
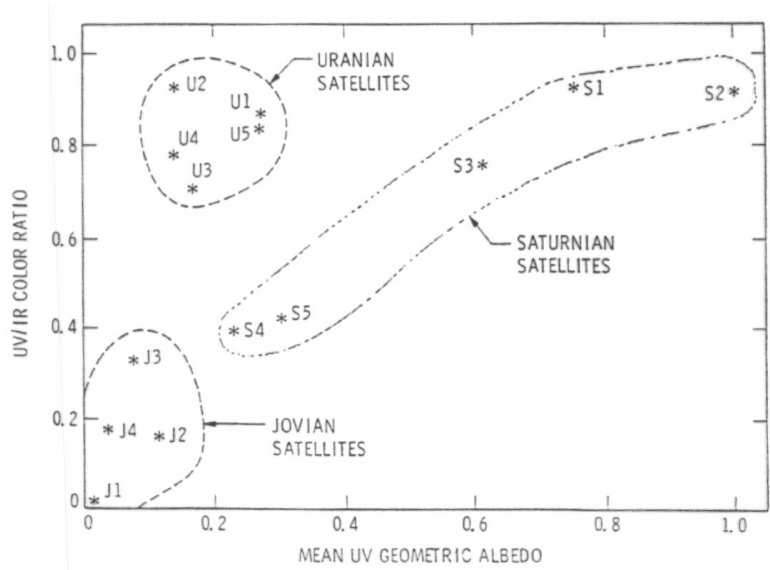


Figure 2. *IUE* low-dispersion spectrum of the nearby starburst galaxy NGC 1705, whose UV light is dominated by a bright super star cluster. The main observed and expected spectral features are identified at the top. The Milky Way foreground lines are labeled at the bottom. From [2].

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-képzéssel 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).

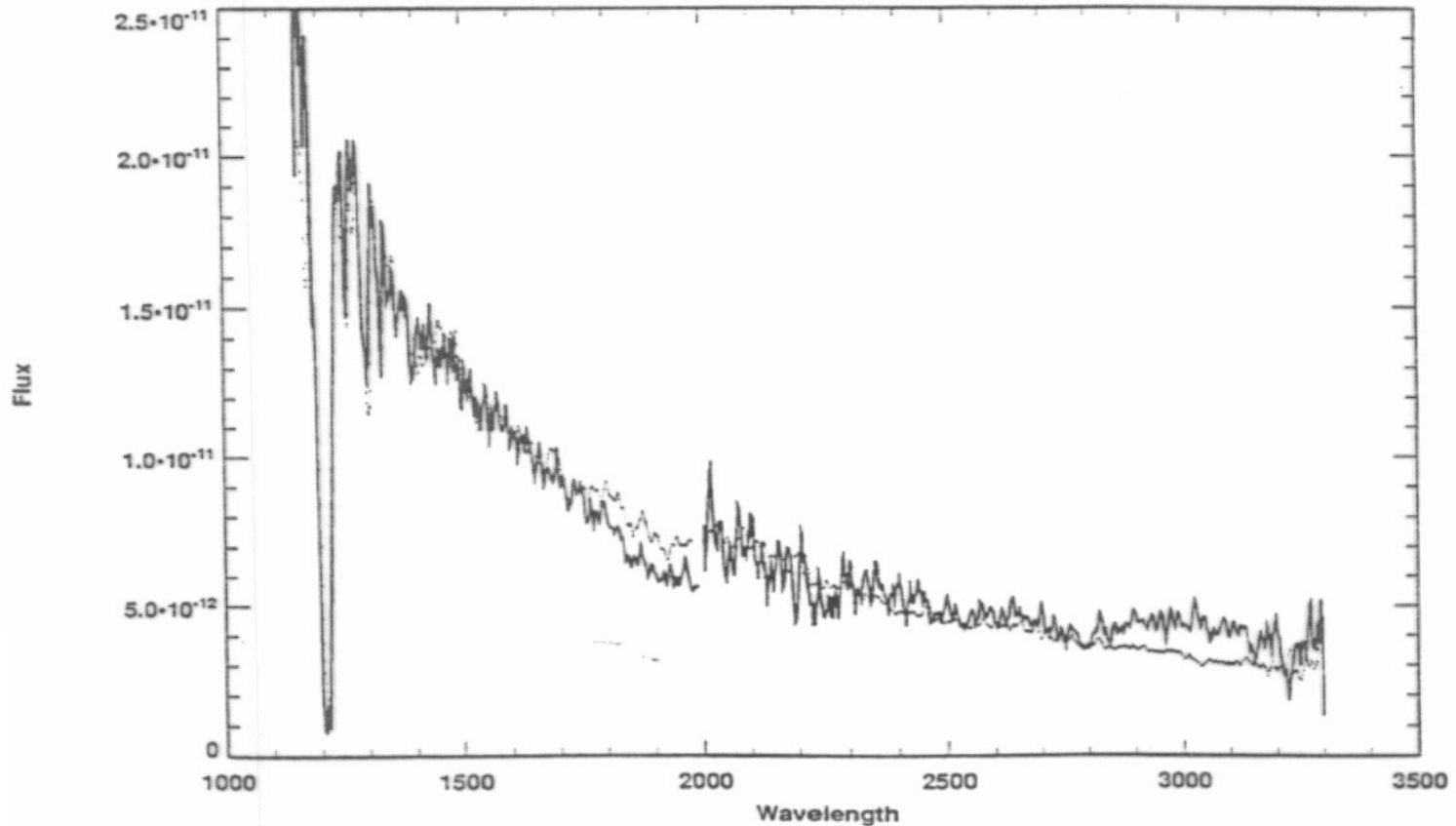
Az IUE fontosabb eredményeiből



7. An IUE high-dispersion spectrum of the LMC star R144 in the region of the stellar C IV P Cygni profile near 1550 Å

Az IUE fontosabb eredményeiből

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



ie 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; $\text{ec}^{-1} \text{cm}^{-2} \text{Å}^{-1}$. A five-point smooth has been used on the data

Az IUE fontosabb eredményeiből

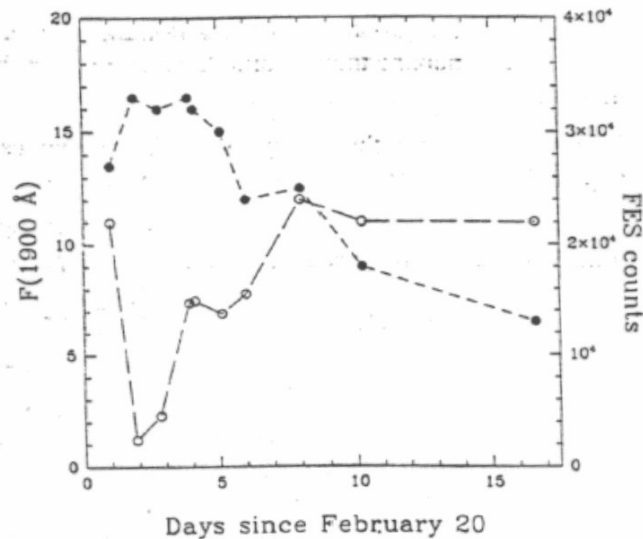
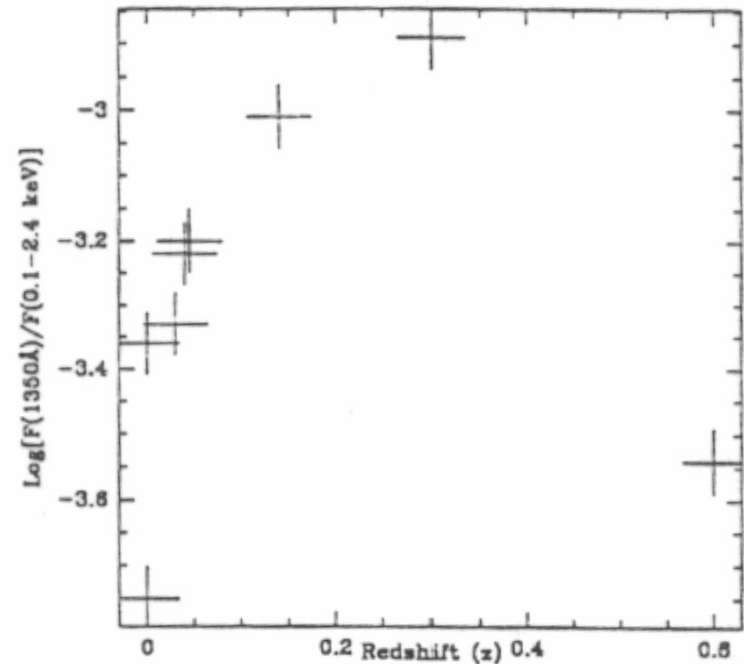


Figure 7. The light curves of Nova Cygni 1992 at 190nm (open circles) and at 550nm (filled circles; IUE-FES). This Nova was discovered before maximum and the fast response of IUE has made it possible to make UV observations before optical maximum. The steep drop in the ultraviolet with sharp rise after 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 -1000 km/sec and -1800 km/sec.



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

Az IUE minden mérési adata és maguk a kiredukált spektrumok is elérhetők az STScI MAST archívumából (lásd a HST-ről szóló prezentációt).

Közben UV-missziók űrrepülőgéppel

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

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

- UIT: 38 cm átmérőjű képalkotó távcső, 120 és 320 nm között észlelt;
- 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 lökéshullám;
- 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_{nap} /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 az EUV és FUV tartományokban 40–125 nm között.

A HST is észlel(t) ultraibolyában

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

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

1997-től ezek helyett az **STIS**:

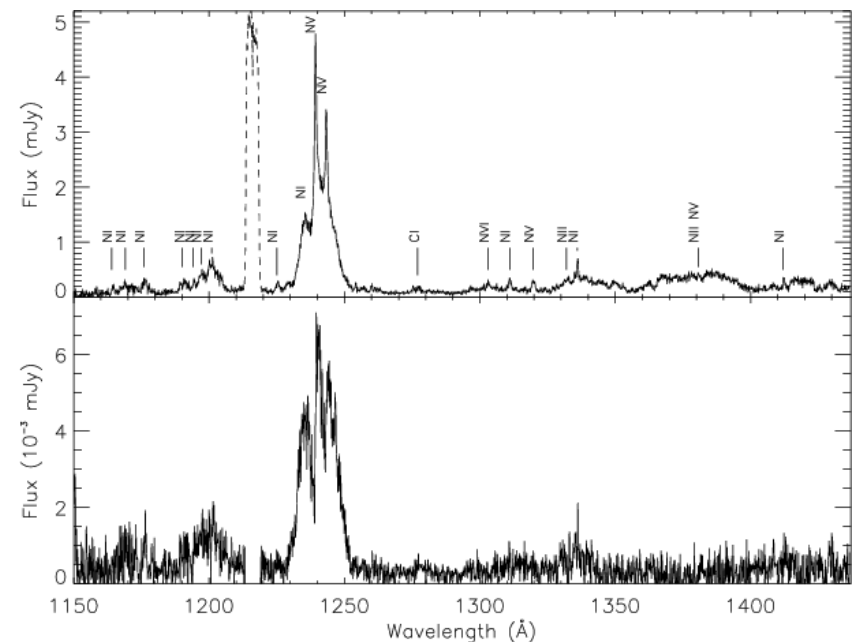
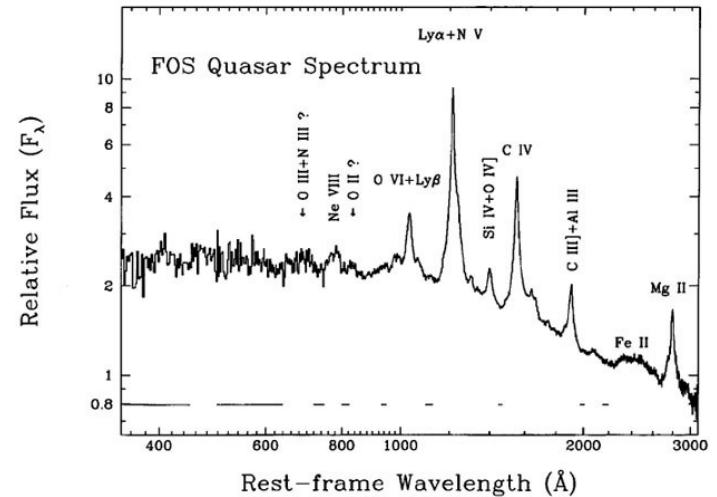
$115\text{--}1100$ nm, MAMA-detektorral, rés-spektrográffal $R=600\text{--}14000$, echelle-spektrográffal: $R \approx 100000$.

2009-től **COS**: $90\text{--}320$ nm;

FUV: $115\text{--}205$ nm (forró csillagok, kataklizmikus változók, AGN);

NUV-csatorna: $170\text{--}320$ 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).

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

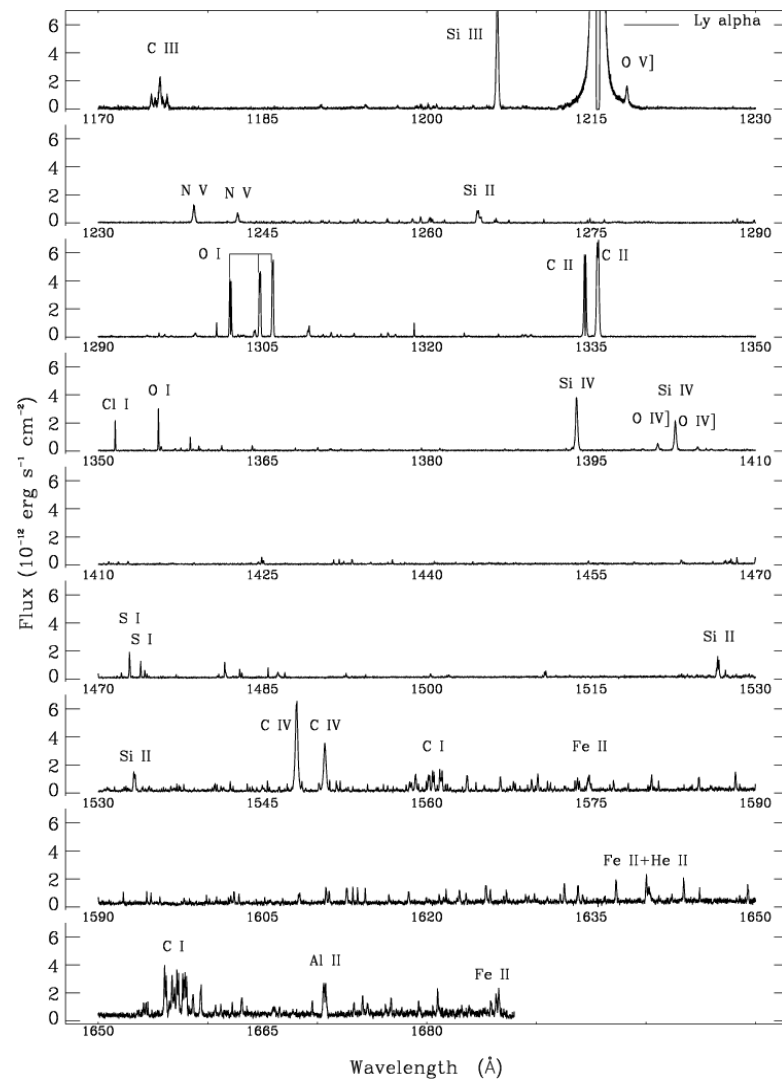
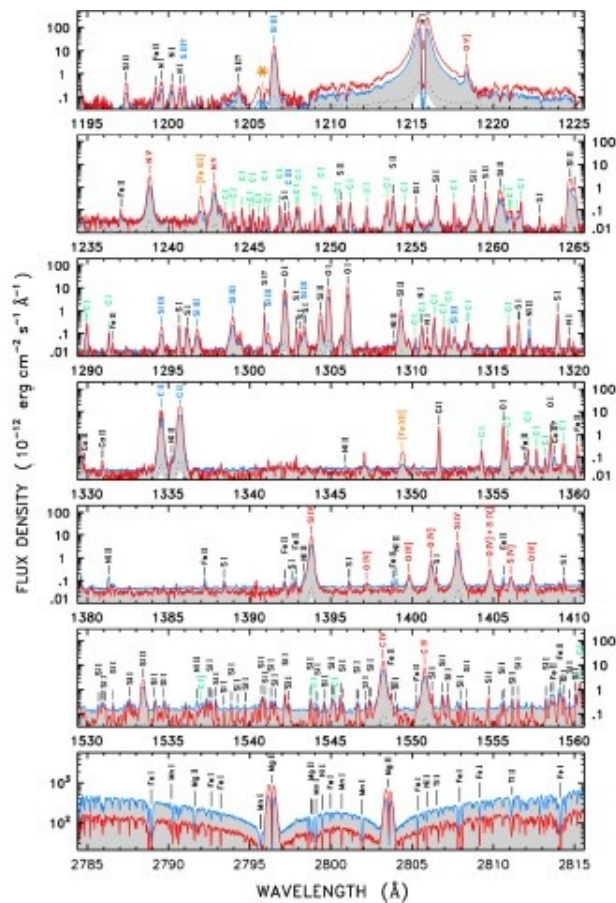


Fig. 16 COS spectrum of α Cen A (blue outline) and α Cen B (red out-

HST- és IUE-színkép összehasonlítása

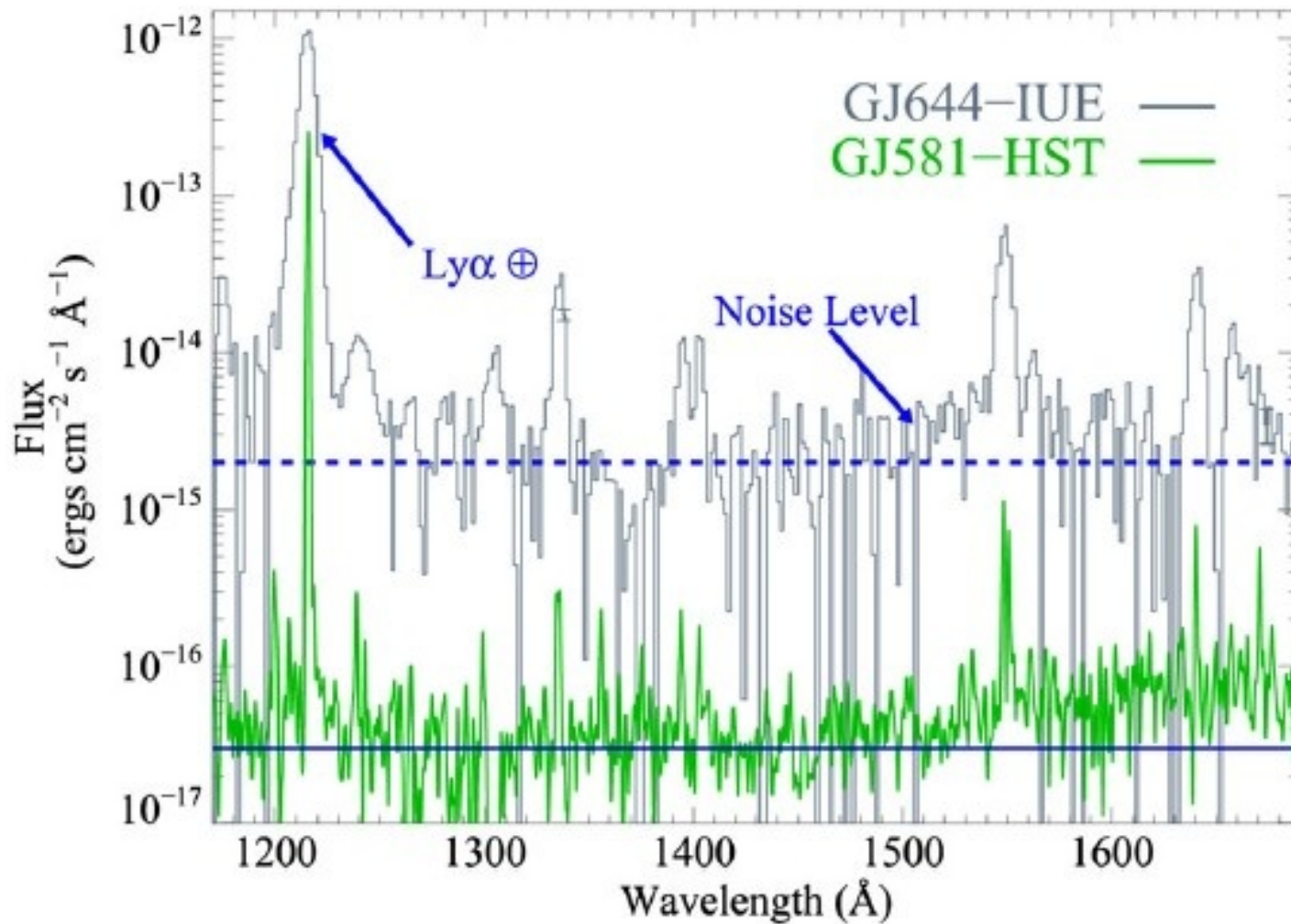


Fig. 17 Comparison of IUE and COS

HST- és IUE-színkép összehasonlítása

Az NGC 1705 központi csillagsuperhalmazának STIS-színképe. A korábbi IUE-színképben látszó vonalak itt már felhasadnak. A csillagoktól származó és az intersztelláris eredetű vonalak elkülönítéséhez 1-2 angström felbontás szükséges.

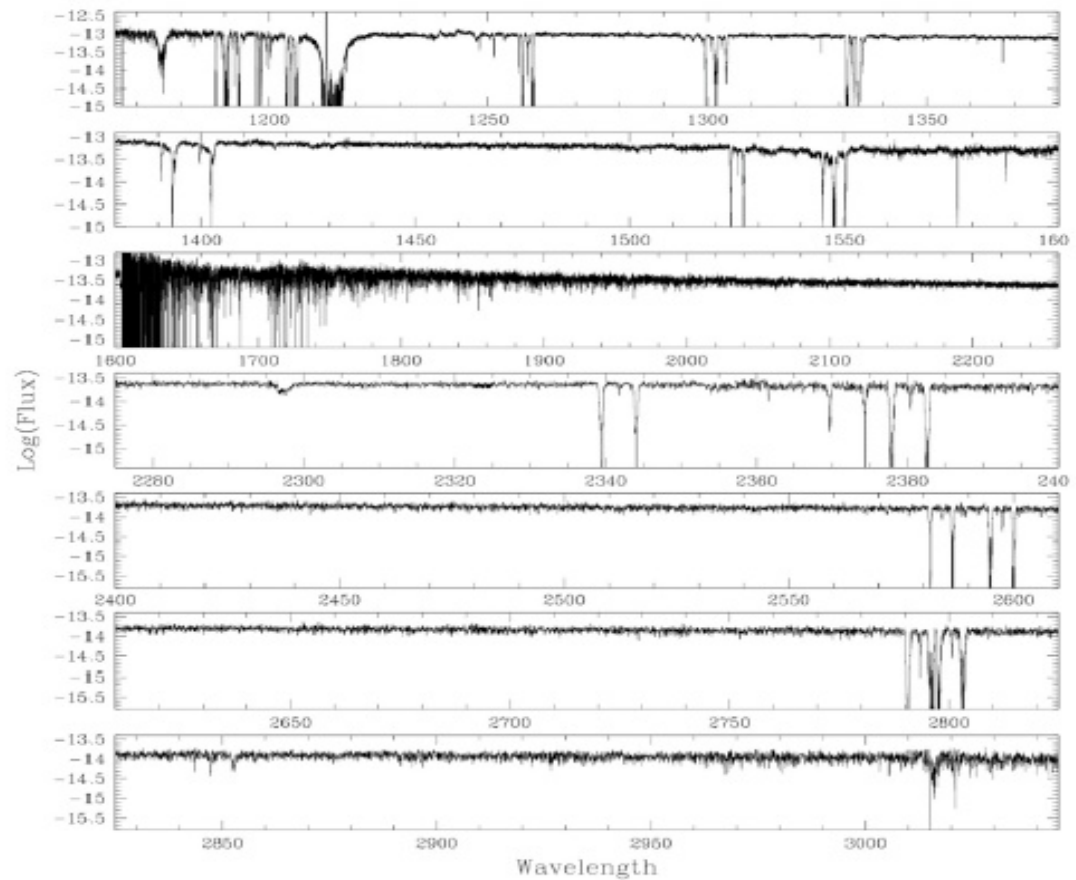


Figure 3. Hubble Space Telescope/Space Telescope Imaging Spectrograph (*HST/STIS*) spectrum of the central super star cluster in NGC 1705. The spectra were taken with the echelle gratings E140M and E230M, which have resolving powers of 46,000 and 30,000, respectively. Compare the quality of the spectrum to that shown in Figure 2. From [6].

Képalkotás UV-ben a HST-vel

Ilyet a COS
műszerrel
végeztek,
amivel színeképet
is lehet készíteni
(lásd a következő
képet)

Jobbra:
csillagontó
galaxisok
UV-képe

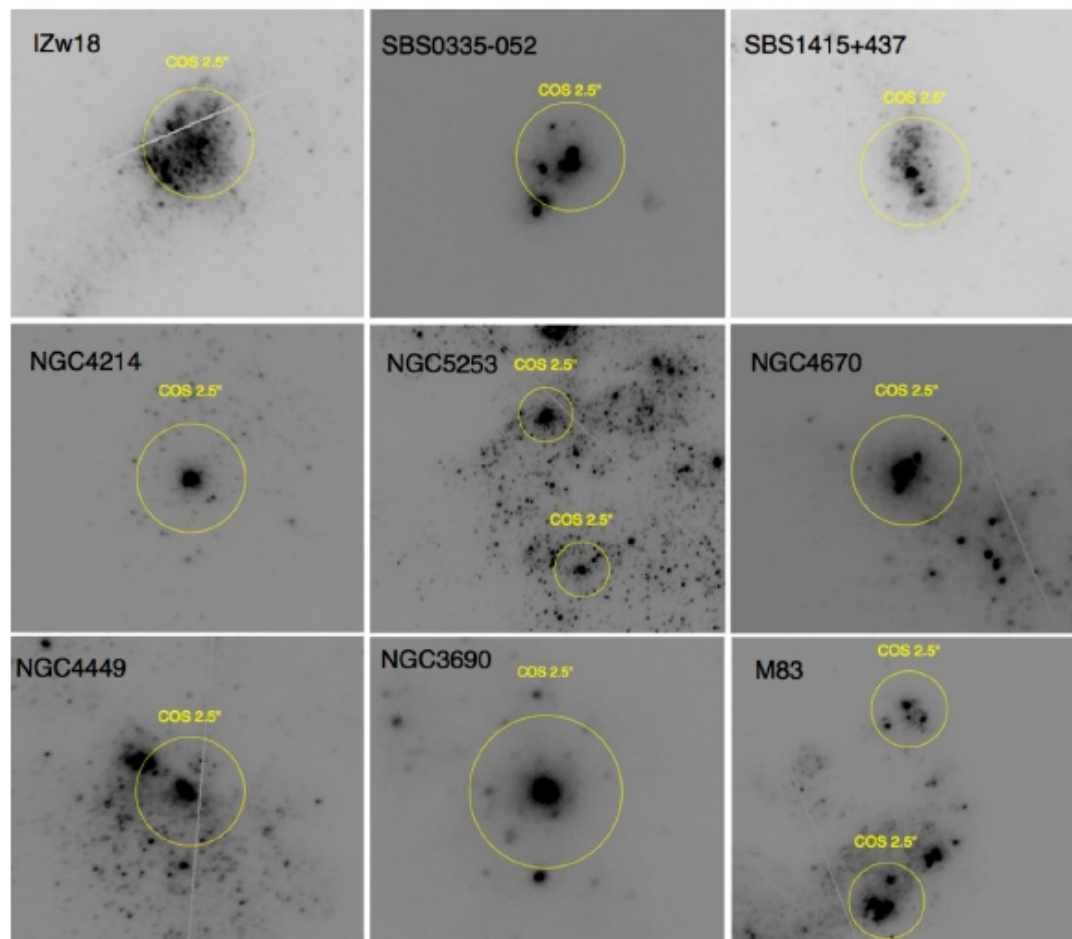


Figure 9. *HST* UV images of the star-forming galaxies hosting many massive young clusters. The overlaid circles indicate the 2.5" aperture of the *HST* Cosmic Origins Spectrograph (COS). The entrance aperture encompasses a single (NG 4214) or multiple clusters (e.g., IZw 18). The linear diameter of the field enclosed by the aperture is (from left to right, top to bottom): 220 pc, 650 pc, 165 pc, 37 pc, 46 pc, 280 pc, 46 pc, 587 pc, 58 pc. From [32].

Képkotás UV-ben a HST-vel

COS-színkép az előző képen látható galaxisokról.

A legfontosabb vonalak azonosítása legfelül látható.

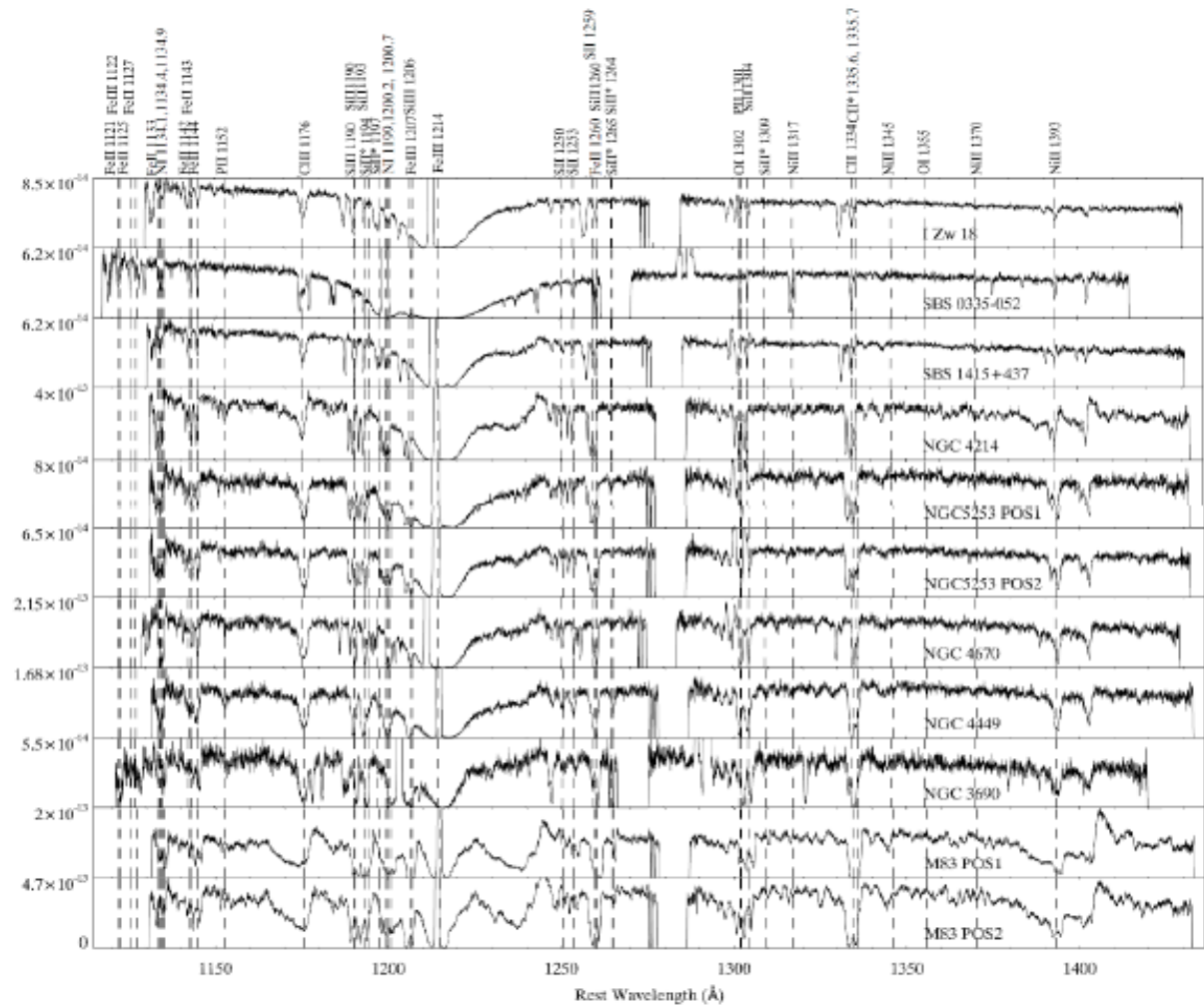


Figure 10. COS G130M spectra of the star clusters seen in the images in Figure 9. The spectra are arranged in order of increasing oxygen abundance from top to bottom. The major absorption lines in each galaxy are labeled in the uppermost panel. From [32].

Újabb UV-projektek a HST-vel

Table 1. Important Compilations of FUV Spectra.

Survey Reference	# of Gal.	z	M_B (mag)	12+ log(O/H)	Instrument/ Aperture	Mirror Diameter	Spatial Scale (pc)	Wavelength Coverage (Å)	Resol. ($\lambda/\Delta\lambda$)	Ave. SNR ^a
Kinney et al. (1993)	143	-0.001–0.053	14.8–10.1	...	IUE / 10'' × 20''	0.45 m	600–1.5 × 10 ⁵	1150–3000	6	~ 1
Leitherer et al. (2002)	19	0.001–0.029	15.0–2.8	8.0–9.3	HUT / 20'' ^b	0.90 m	6–1.2 × 10 ⁴	912–1800	1	...
Chandar et al. (2004)	18	0.001–0.014	15.5–9.3	7.8–9.2	STIS / 0''2	2.40 m	2–49	1175–3100	1	...
Grimes et al. (2009)	16	0.001–0.045	17.2–2.8	7.0–9.0 ^c	FUSE / 4'' × 0''	0.82 m	330–1.9 × 10 ⁵	905–1187	< 0.1	8.8
Leitherer et al. (2011)	12	-0.001–0.058	18.0–2.8	7.0–9.2 ^c	GHRSS / 2'' × 2''	2.40 m	32–756	1050–1700	0.9	6.6
...	17	FOS / 0''86 circ.	2.40 m	14–325	1150–5500	6.5	7.4
CLASSY / this work	45	0.002–0.182	19.8–14.8	7.0–8.8	COS / 2''5 circ.	2.40 m	87–1.1 × 10 ⁴	1200–2000	0.1	6.4

Az **ULLYSES** projektről a HST-ről szóló előadásban volt szó.

CLASSY:
COS Legacy
Archive
Spectroscopic
Survey.

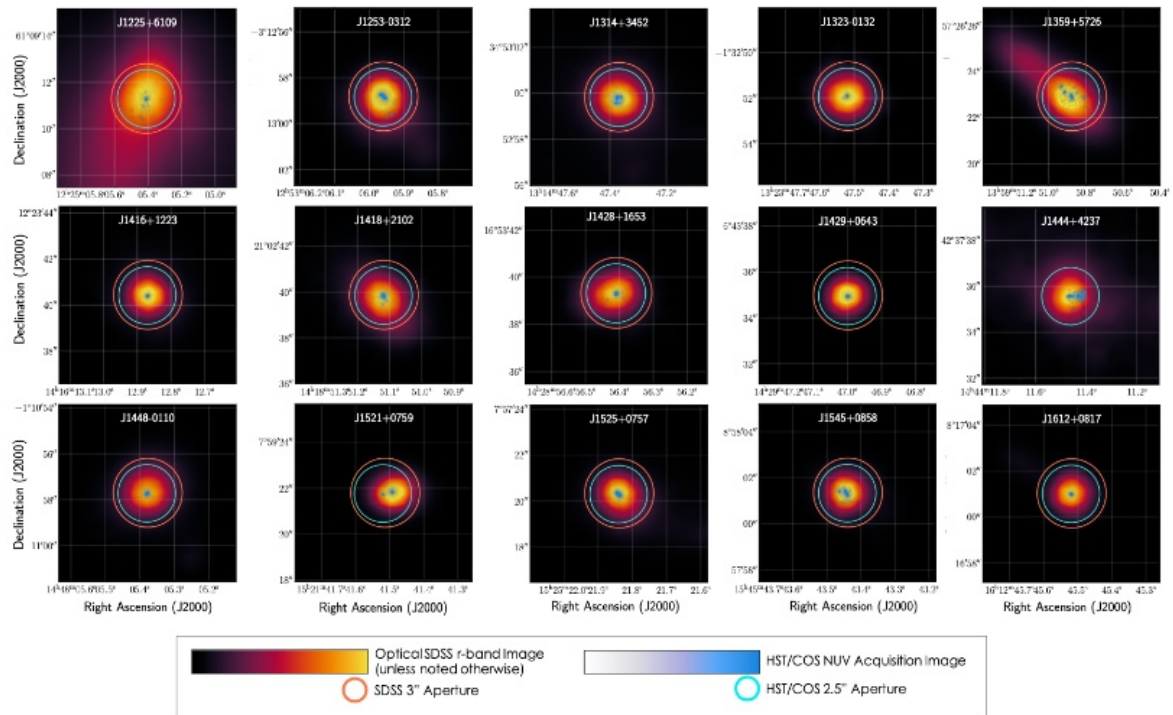


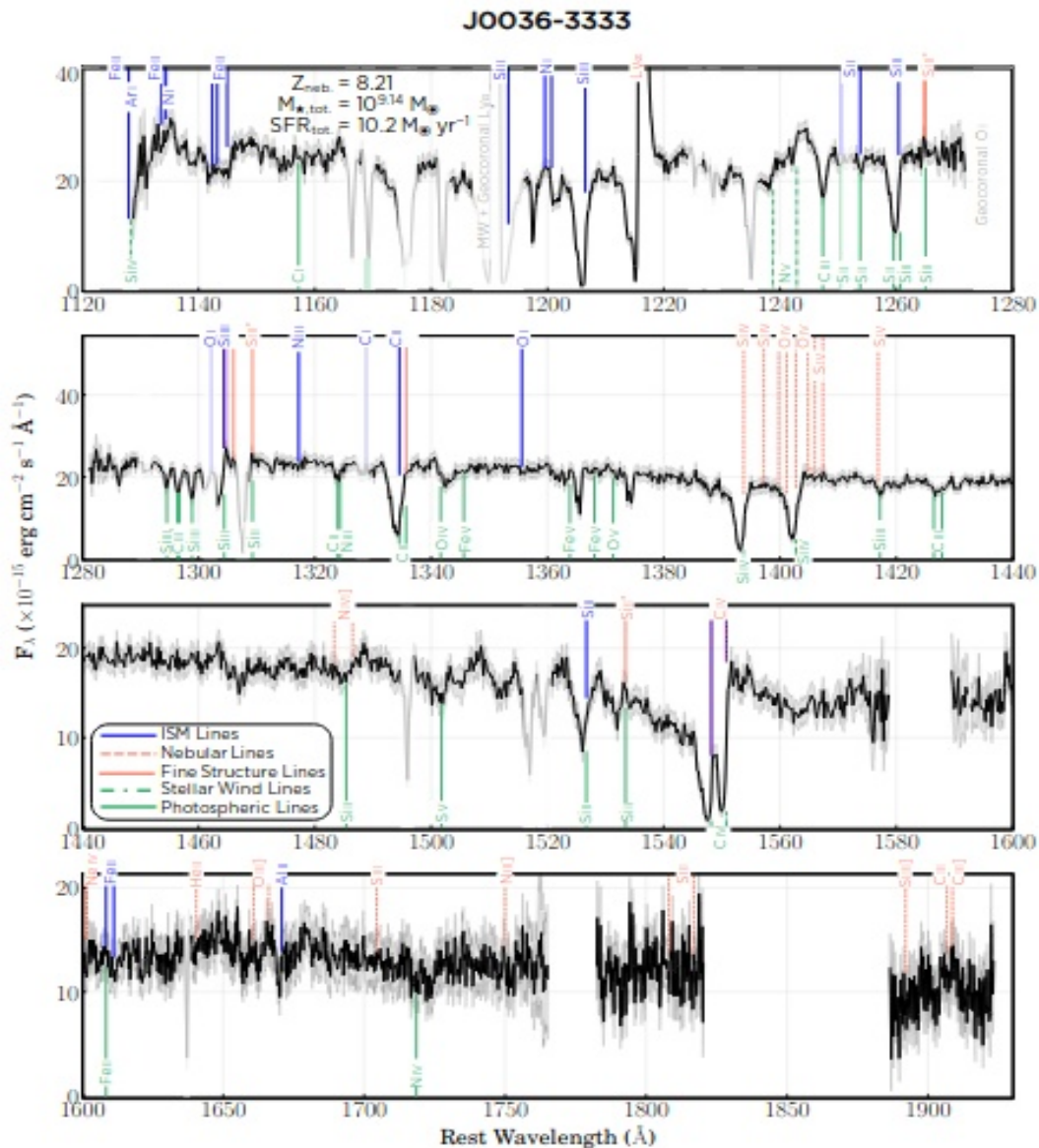
Figure 2. (continued): HST/COS NUV acquisition images of the 45 galaxies in the CLASSY sample.

Újabb UV-projektek a HST-vel

CLASSY: 2019 és 2021 között 46 csillagontó galaxisban a nagy tömegű csillaghalmazok vizsgálata (135 HST keringés + 177 keringés az archívumból).

Vizsgálati célok:

- nagy tömegű csillagok hatása a környezetükre
- galaktikus kifúvások tanulmányozása
- a kémiai fejlődés UV-diagnosztikája



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 Defense 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 pontforrás-
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) A	Bandpass A	DW A
IUN	3	2480	2300-2600	300
	4	2310	1800-3000	1200
	Nem működött 5	2230	2000-2300	300
	6	2930	2600-3000	400
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, lökéshullámok);
- Intersztelláris extinkciós görbe (porszemcsék fizikája, PAH-ok UV-ben);
- Forró, ionizált intergalaktikus közeg (Hell, Gunn–Peterson-vályú);
- Kvazárok, aktív galaxismagok (távoli UV kontinuum).

A **távoli UV-ben** végzett vizsgálatok váratlan és fontos **eredményei**:

- Intergalaktikus OVI kimutatása (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 léteire).

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: mikrocsonnás lemez; $R=30000$ -es felbontású színeképek.

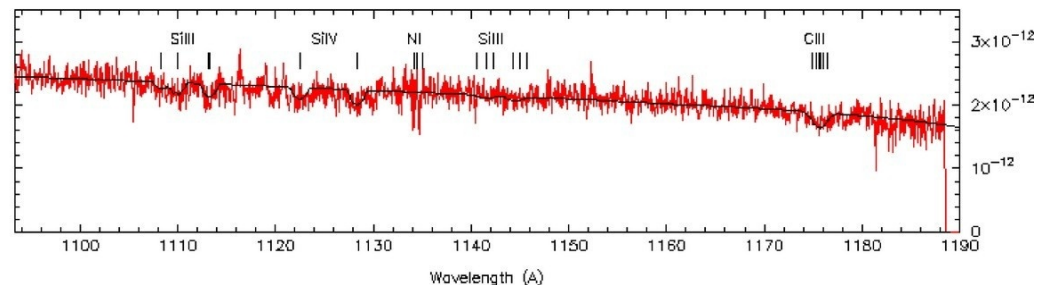
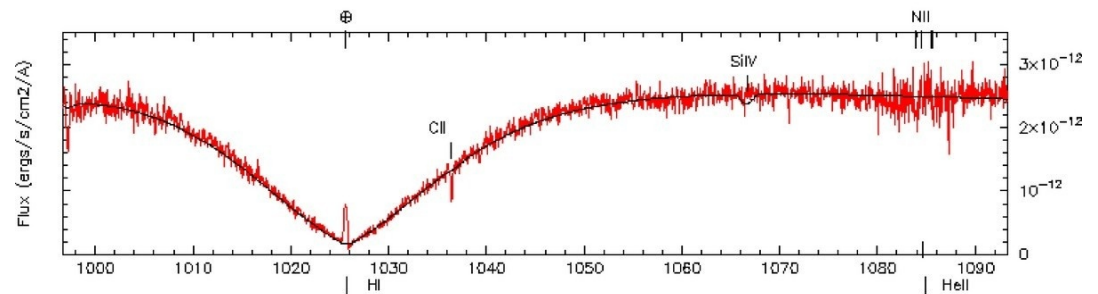
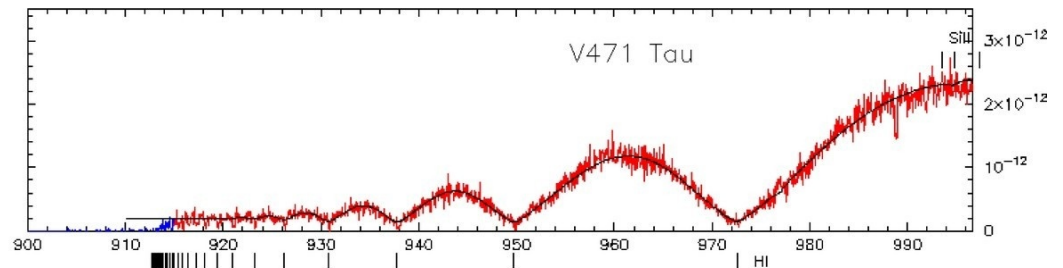
A Ly- α (121,6 nm)

kivételével a

HI és DI teljes

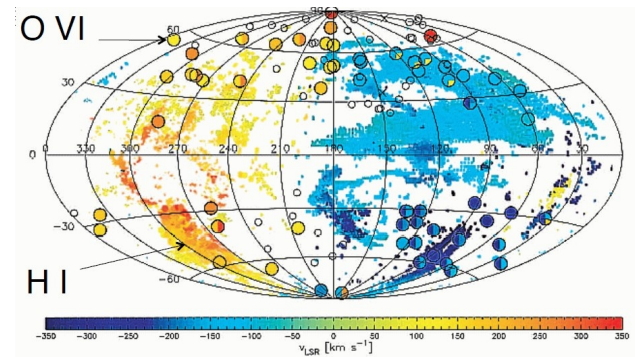
Ly-sorozata

(Lyman-ugrás: 91,2 nm).

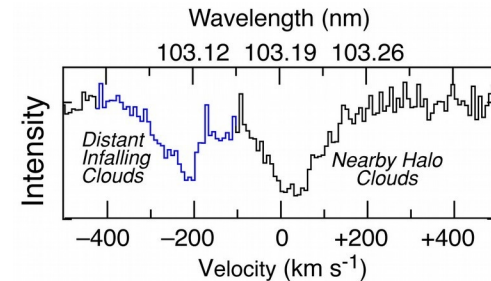
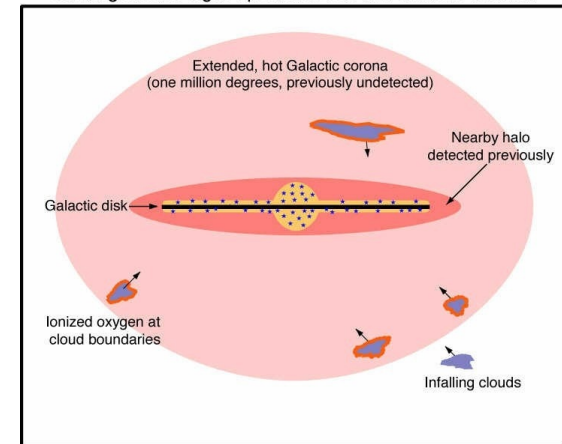


Főbb eredmények a FUSE-zal

- D/H gyakorisági arány;
- OVI a millió fokaloz 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 (a HD 124314 színképében 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);

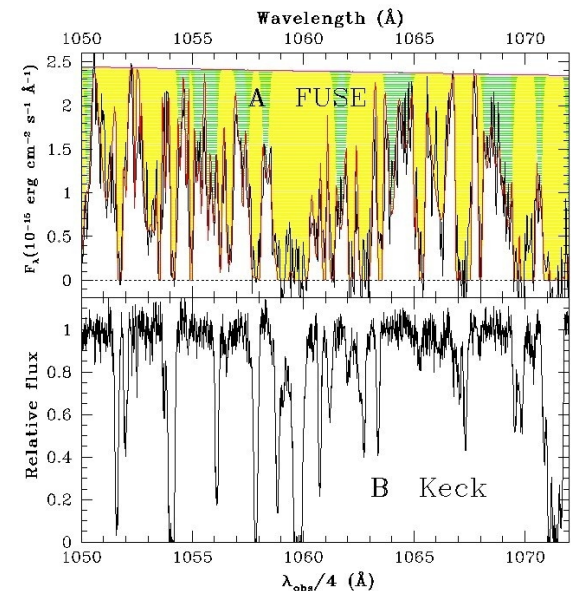
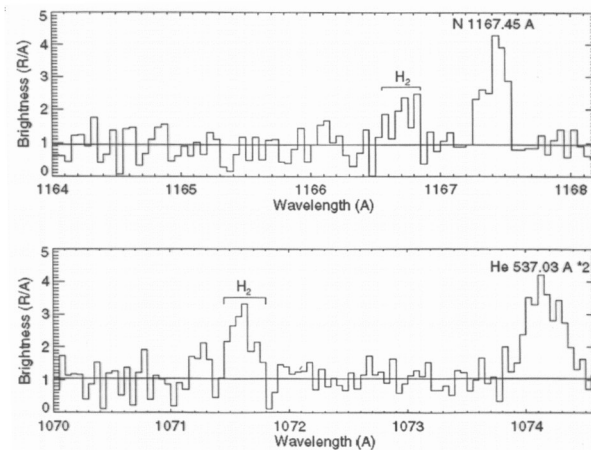
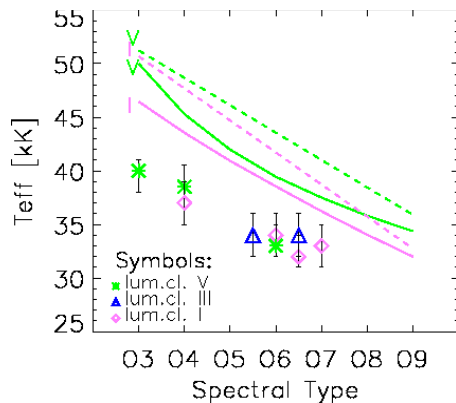


Infalling Clouds Light Up and Reveal Hot Galactic Corona



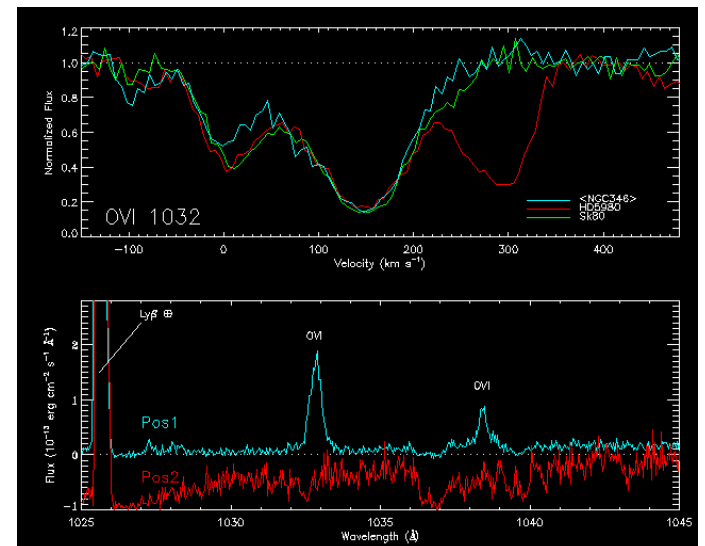
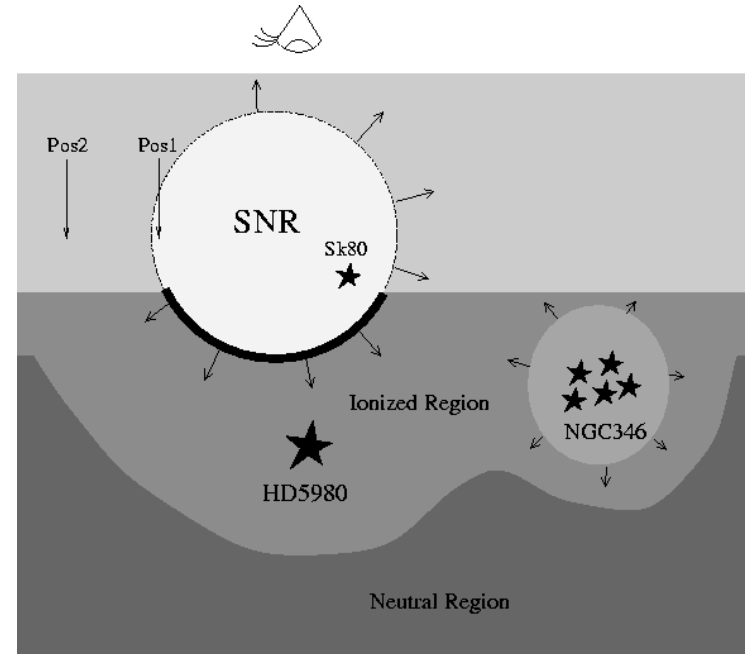
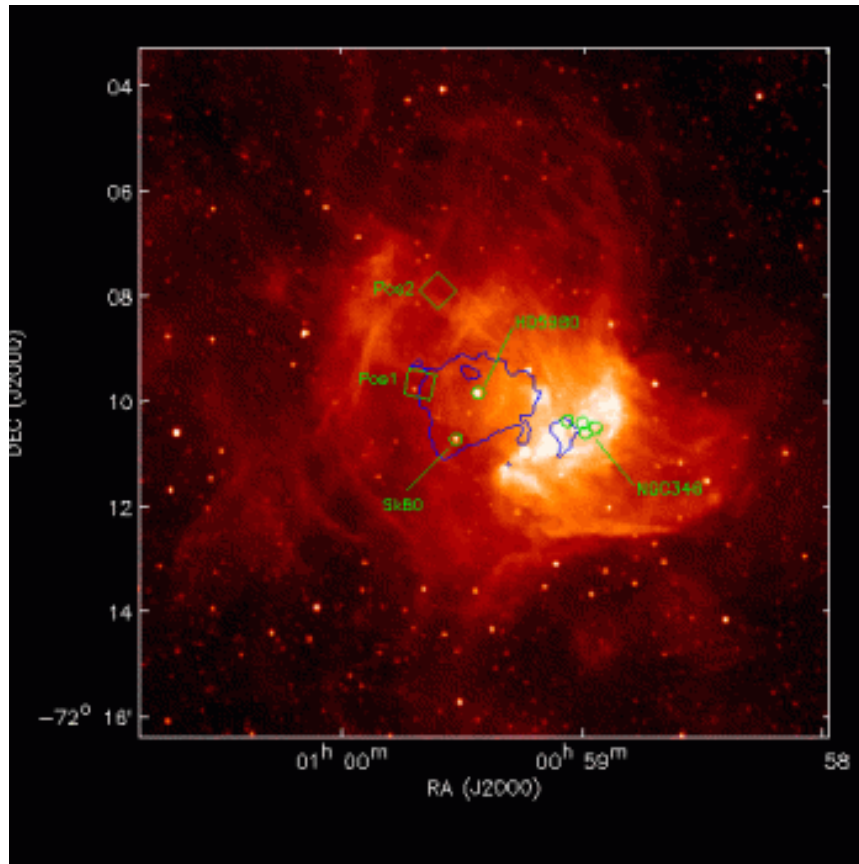
Főbb eredmények a FUSE-zal

- 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 H₂-molekula (107,1 nm emisszió);
- Intergalaktikus anyag: ionizált He kvazárok színeképében, 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

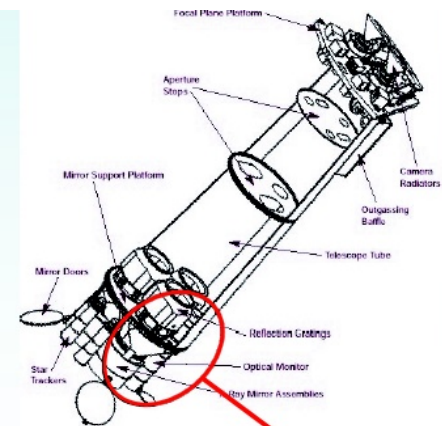
Az 1999-ben indított európai XMM-Newton röntgenszondán optikai és UV hullámhosszakon is érzékeny teleszkóp van: a 30 cm átmérőjű **XMM-OM**, 170 nm és 650 nm között érzékeny detektorral. A látóirány menti 17 négyzetívperc területet észleli a forrás röntgenészlelésével egyidejűleg.

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

Részletesebb információk az XMM-OM-ról az űrfotometriai prezentációban található.

XMM-OM basics

- 30cm telescope
- Co-aligned with X-ray instruments
- Microchannel-plate-intensified CCD detector
- Photon counting.
- On-board image tracking
- 6 broad band filters u,b,v,uvw1, uvw2, uvw2
- UV and optical grisms
- PSF is about 2" FWHM in the UV, about 1.5" in the optical.



UV-érzékelés az XMM-Newton szondán

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

Jobbra lent a Lockman-lyuk felvétele van optikai és UV hullámhosszakon.

Filter	wavelength band (nm)
Blocked	
<i>V</i>	510–580
Magnifier	380–650
<i>U</i>	300–390
<i>B</i>	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

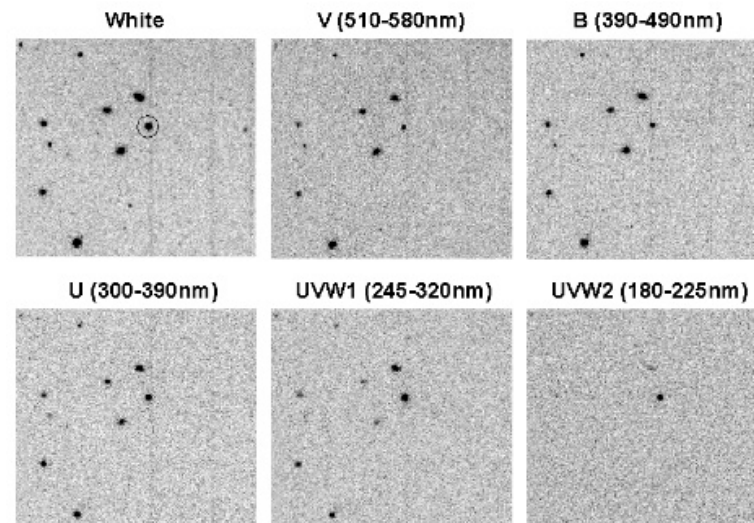


Fig. 3. An image of part of the Lockman Hole field taken in various XMM-OM filters as marked. The object circled in the White Light image is an AGN, referred to as R32 by Schmidt et al. (1998). The size of the images is about 3.5 arcmin across and the exposure times were 1500 s (white), 1000 s (*V*), 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 hosszabbítás után 2013. 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 nyálábot 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-képalkotás,
FUV- és NUV-spektroszkópia.
FUV: mikrocsatornás lemez
a detektor (a légkörfény
vonalait [OI 130,4, 135,6 nm,
Ly- α] szűrővel kivágják);
NUV: CsTe fotodetektor.

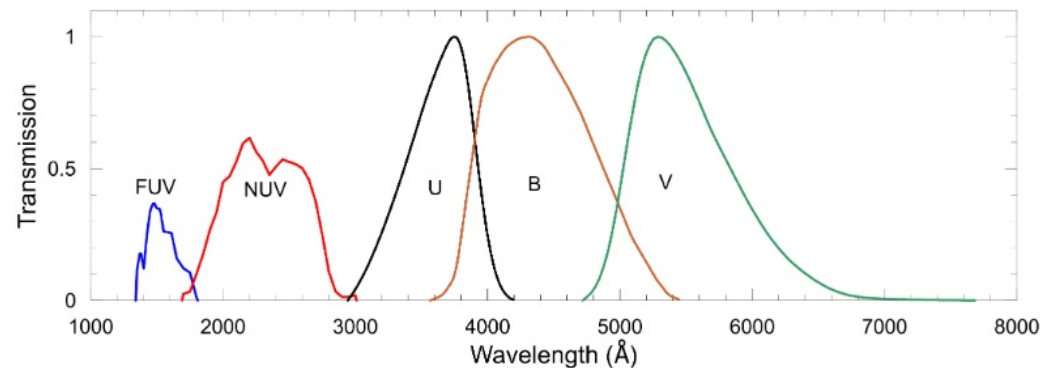


Figure 1. Normalized transmission curves of the GALEX FUV, NUV and Johnson-Morgan U, B, V filters.

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

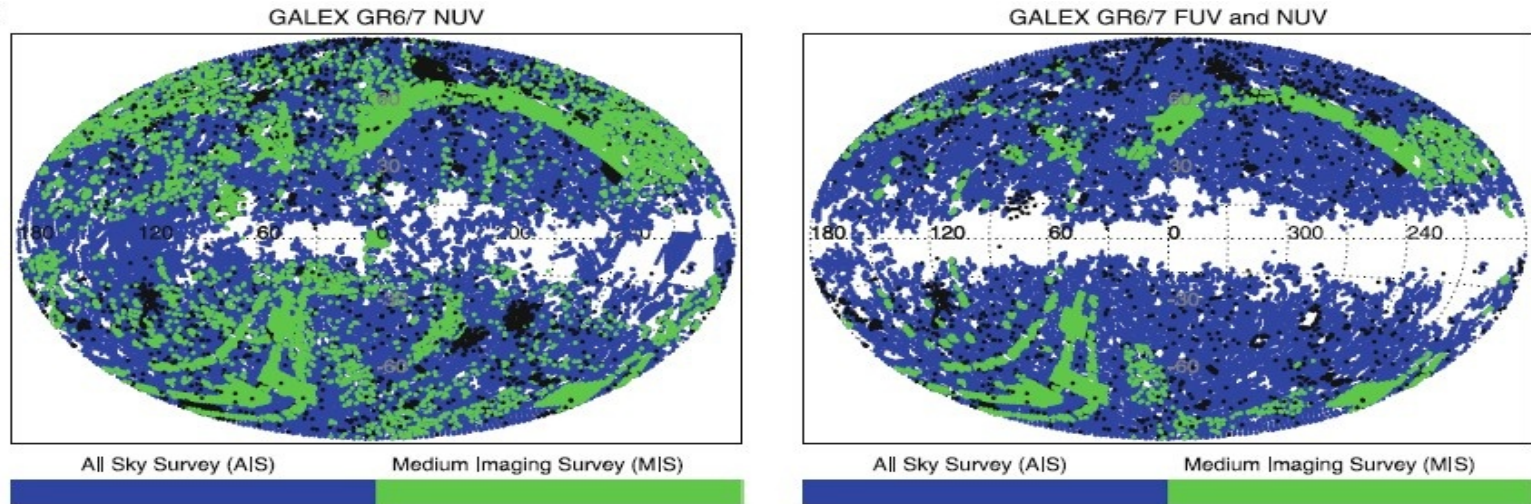
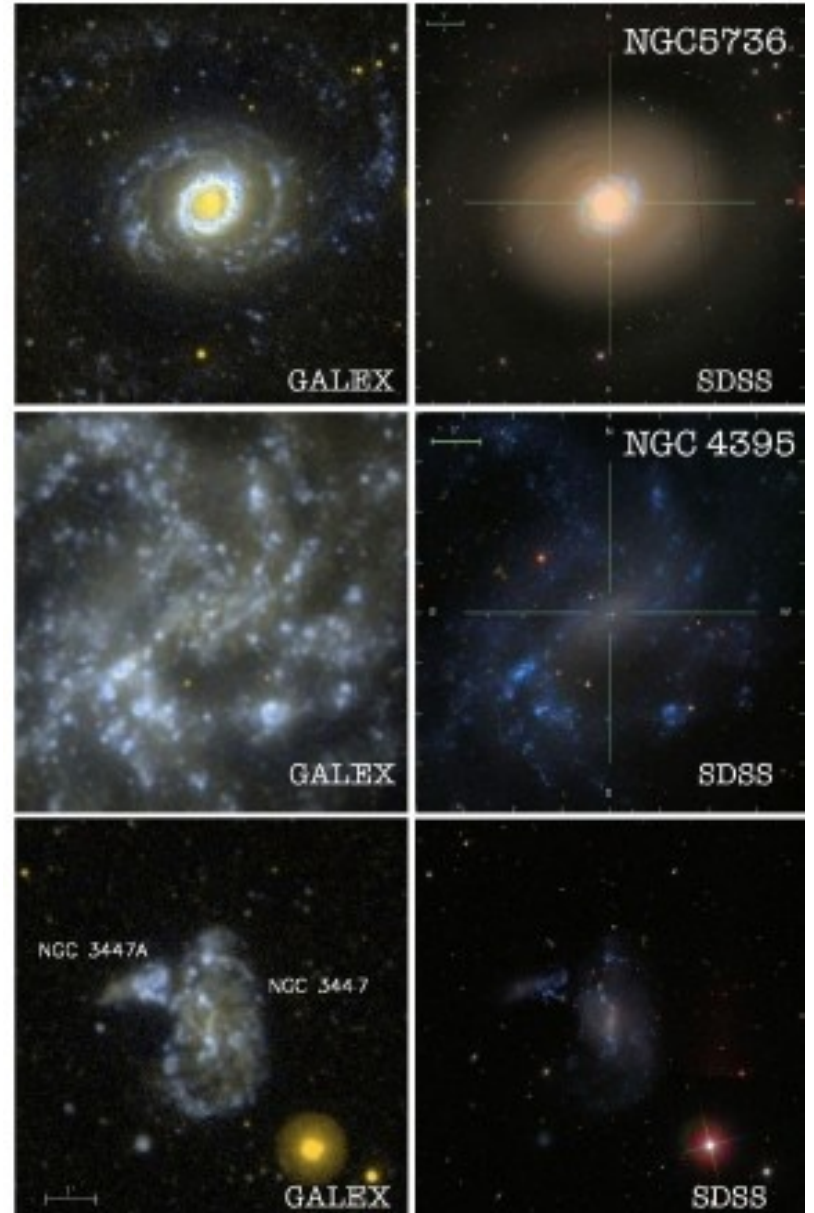
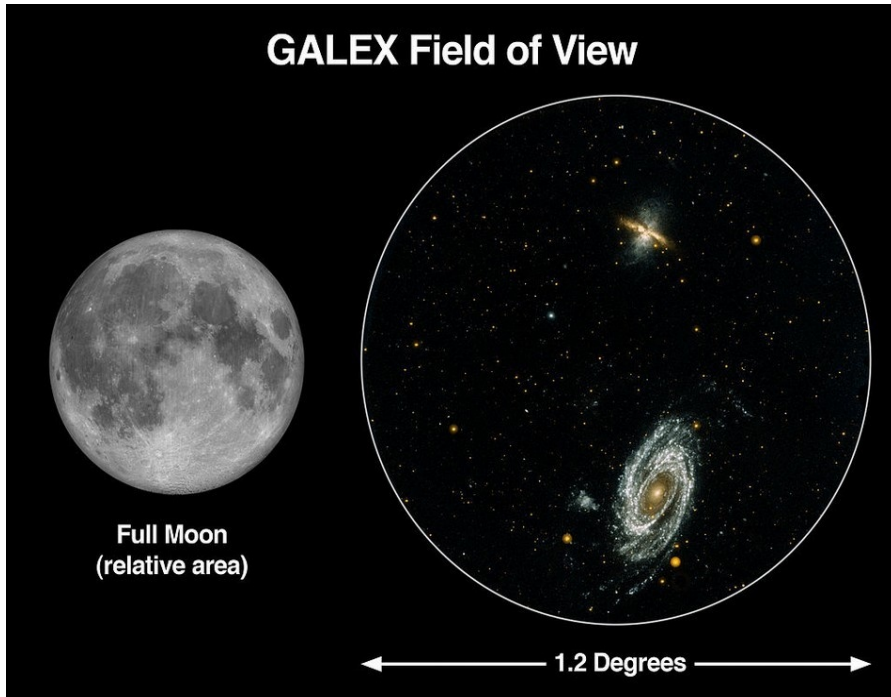


Fig. 1 Sky coverage, in Galactic coordinates, of the GALEX imaging. The surveys with the largest area coverage are AIS (*blue*) and MIS (*green*). Observations from other surveys are shown in *black* (figure adapted from Bianchi et al. 2014a). Data from the privately-funded

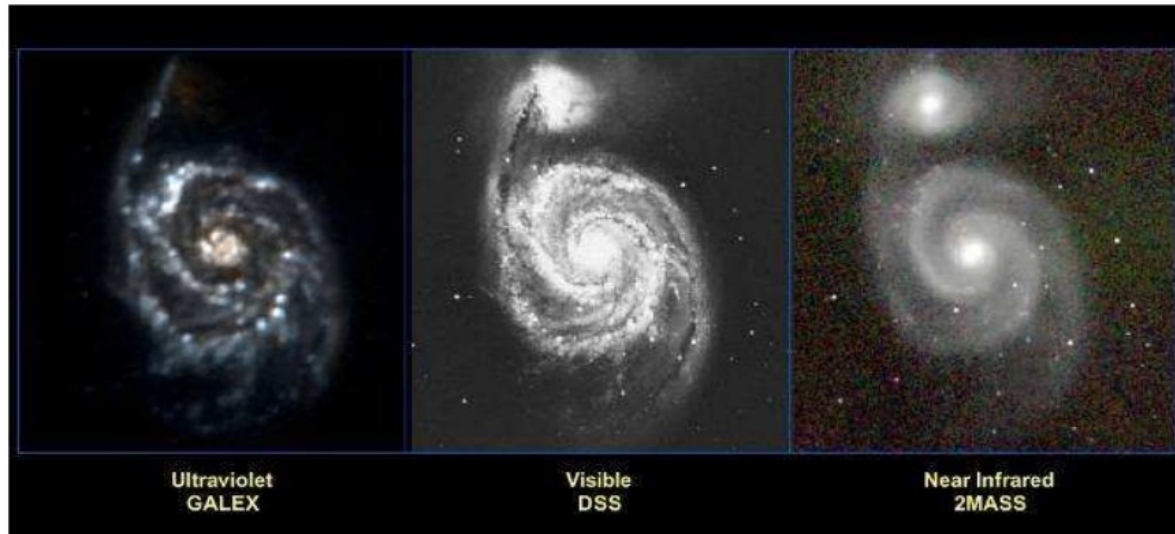
observations at the end of the mission are not shown. *Left*: fields observed with at least the NUV detector on; *right*: fields observed with both FUV and NUV detectors on. The latter constitute the BCSat's

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 forrásokot tartalmazó területeket is mértek (NUV-ben): pl. a Tejútrendszer fősíkja mentén és a Magellán-felhőkben.

GALEX



GALEX



A GALEX képein feltűnően kiemelődik a csillagképződés.

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.

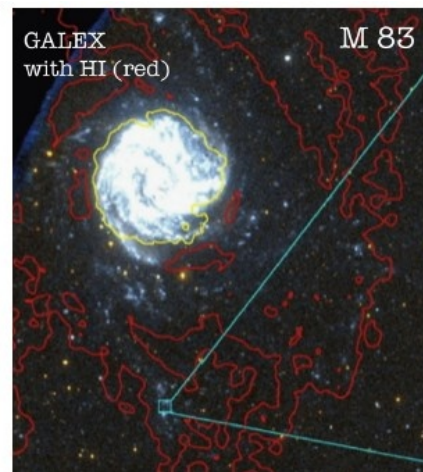
GALEX-eredmények

Az M82 körül UV filamentumok (csillagontás keltette haló); az UV szálak korrelálnak a $H\alpha$ - 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) (képe **balra lent**);

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: a épen látható 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 ilyen.

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

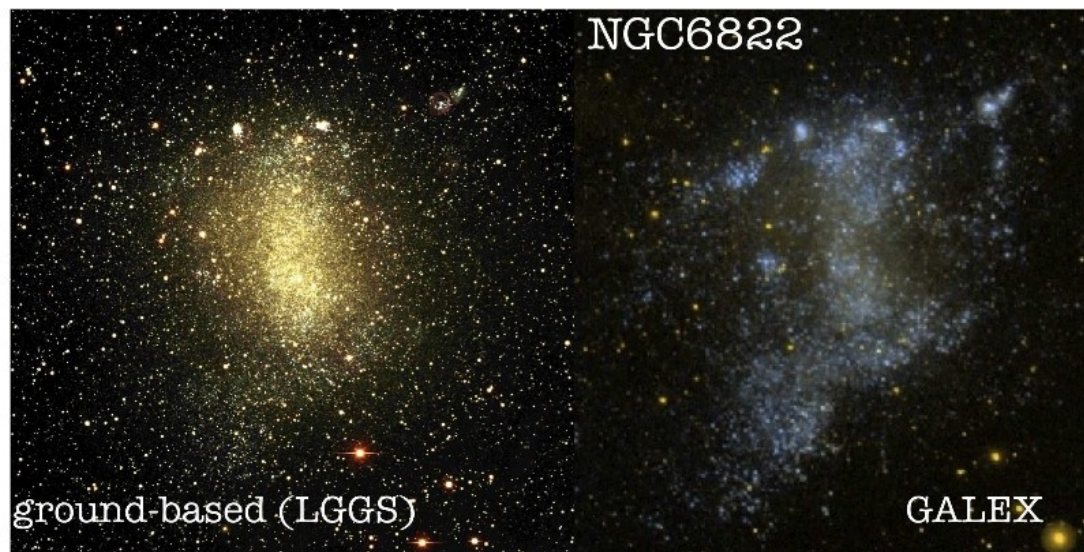


Fig. 3 GALEX images (FUV: blue, NUV: yellow) and optical color-composite images of NG

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.

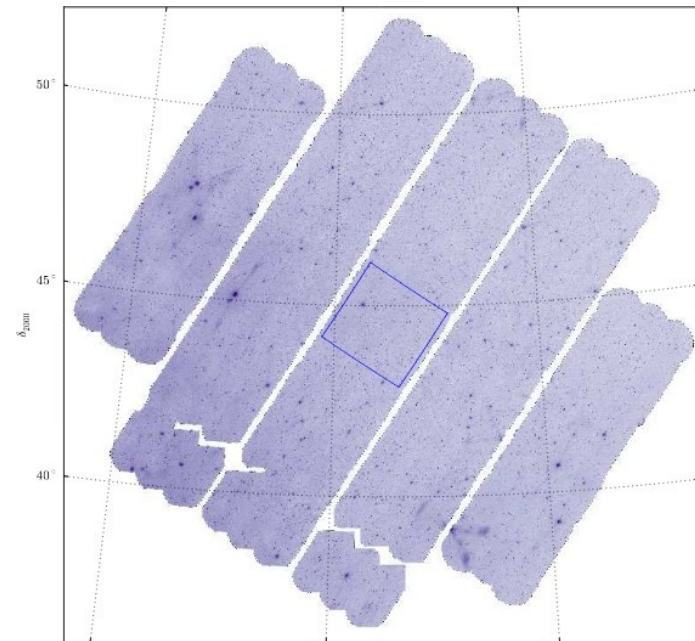
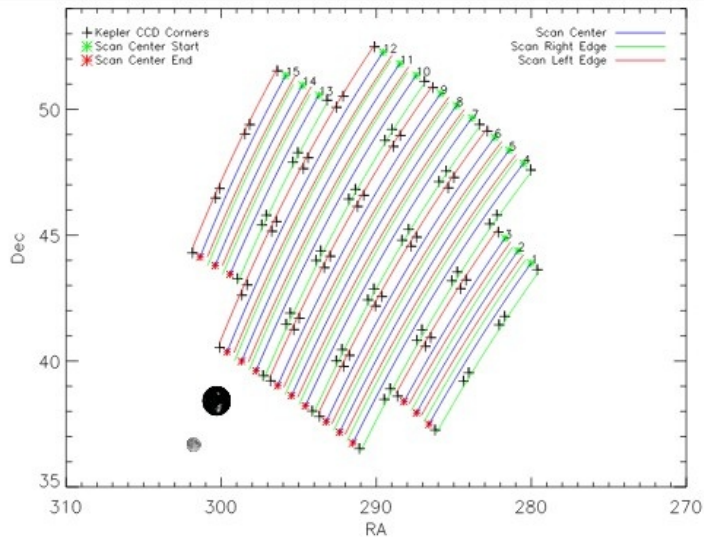
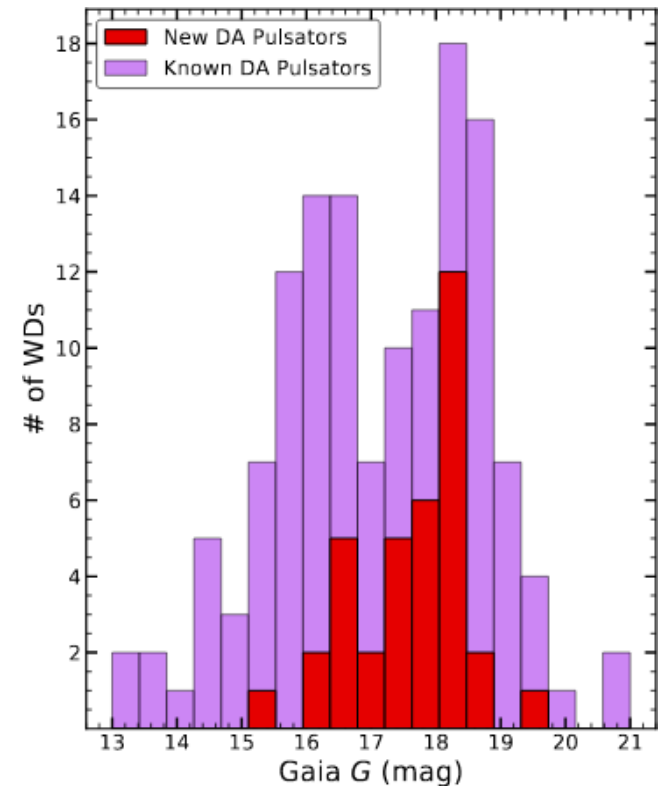
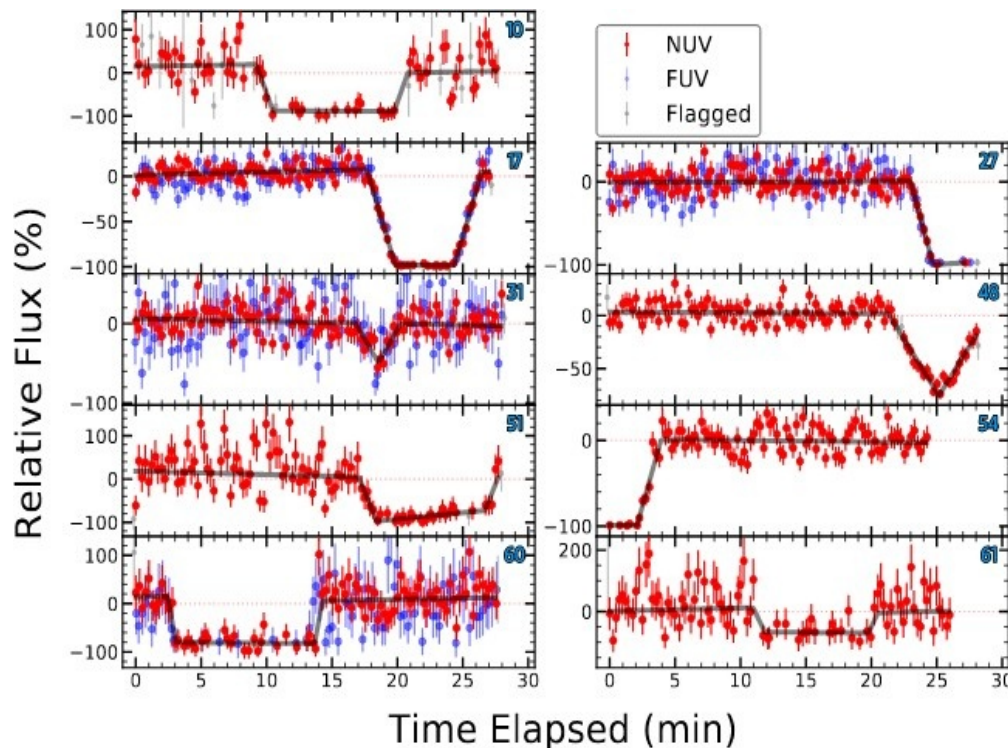


FIG. 1.— Scan mode observations of GCK survey covering the Kepler field. The field of view of GALEX and a full moon are shown for comparison. The numbers on the upper right edges correspond to the scan numbers. The plus symbols corresponds to the edges of Kepler detectors.

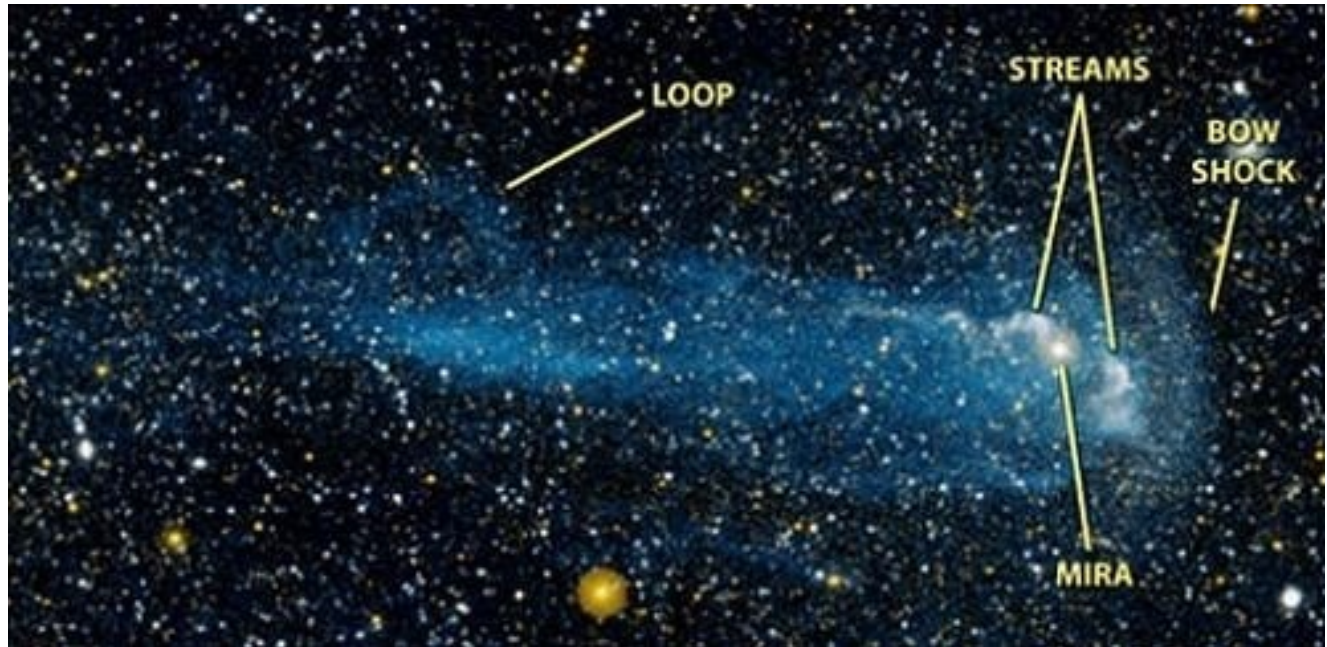
GALEX-eredmények

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).



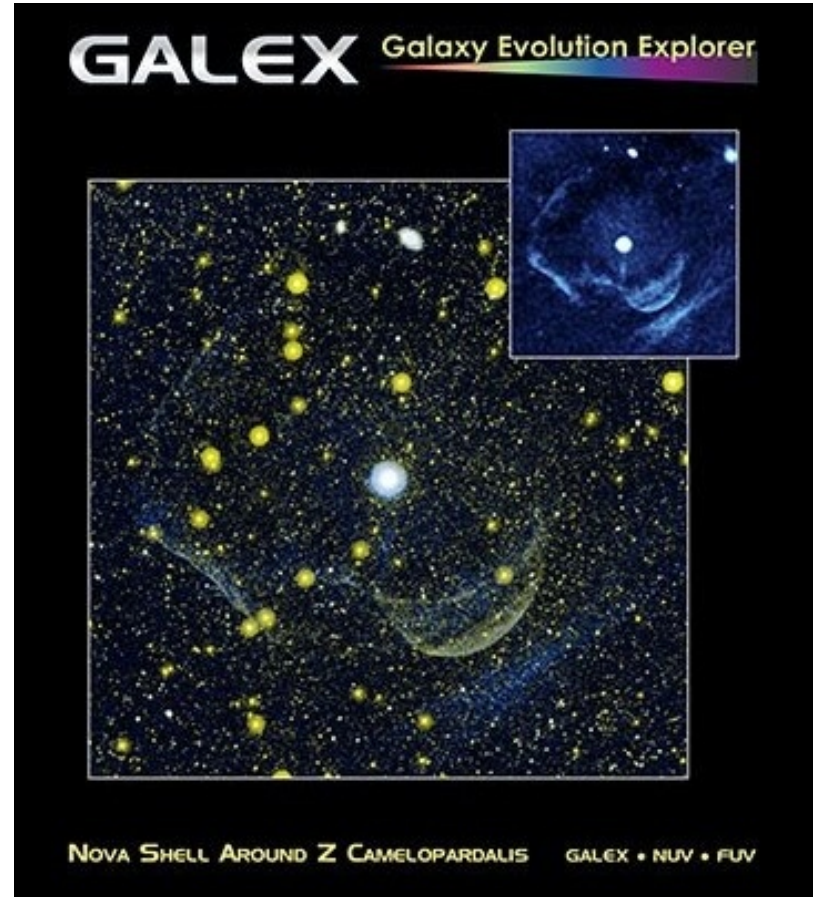
GALEX-eredmények

Fejhullám a
Mira Ceti
előtt



GALEX-eredmények

Burok a Z Cam körül (jobbra)
A Cygnus-hurok (balra)



STSat-1

STSat-1 (KAISTSat-4): dél-koreai mikroműhold. 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 észleltek vele 90 és 175 nm között 2005. októberig, de kb. 4 évig működött.

Műszerei:

FIMS: Far-ultraviolet IMaging Spectrograph

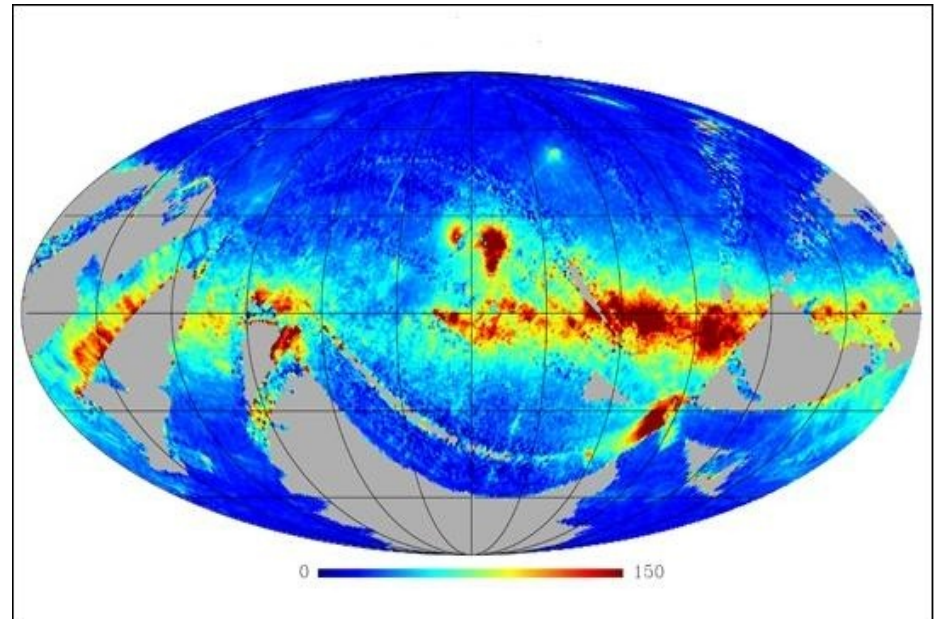
SST: Solid State Telescope

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 vártak, de jelenleg is működik.

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

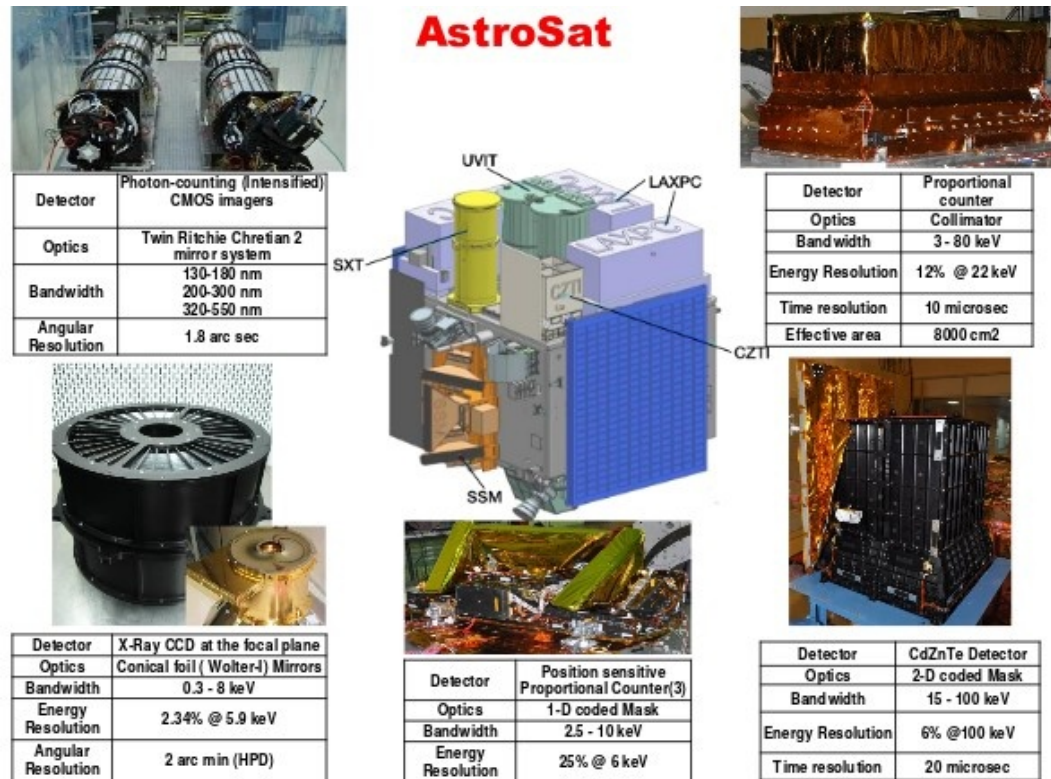
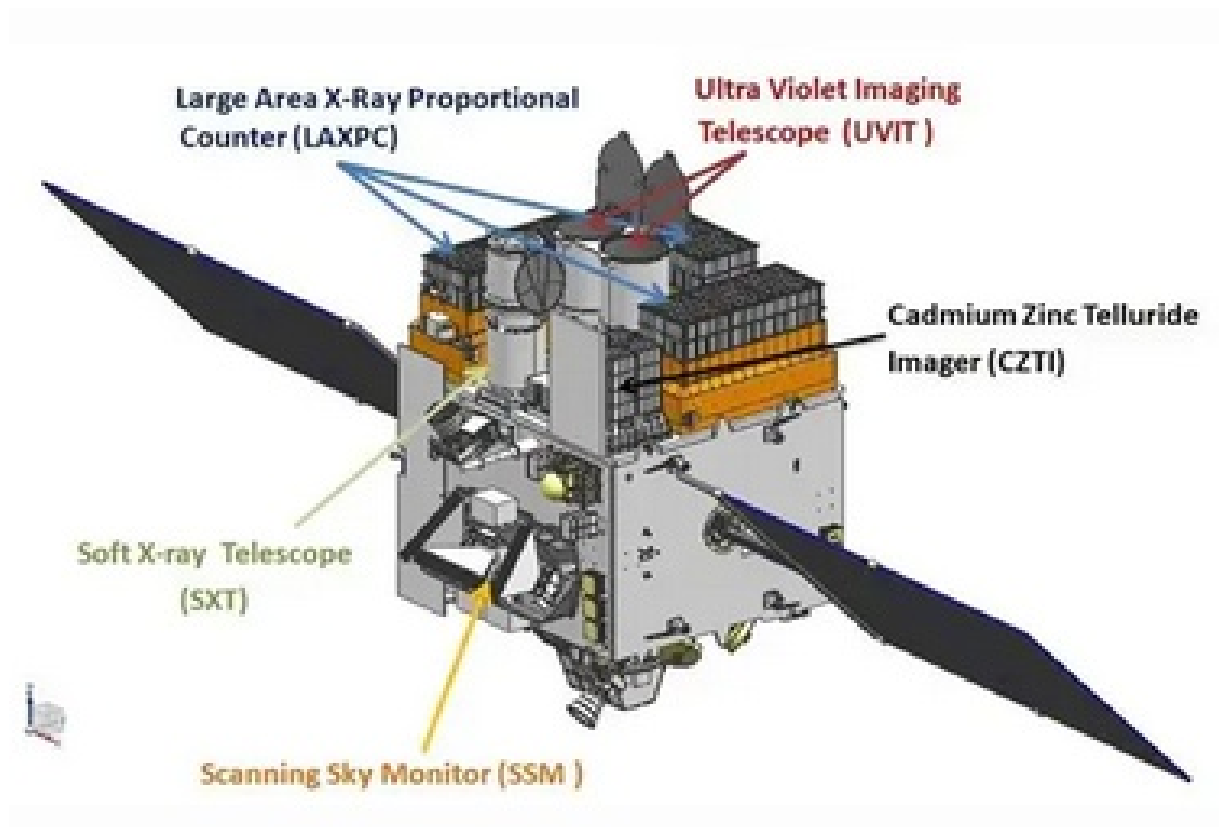


Figure 1: An assembled view of AstroSat. The pictures of the scientific instruments shown are (clockwise, from top left): UVIT telescope; one assembled LAXPC unit; final assembled CZT Imager; assembled SSM units; SXT mirror and the gold coated foils shown in the inset. The

AstroSat

UV-műszere az UVIT (Ultraviolet Imaging Telescope).
Két azonos, 38 cm-es távcső, az egyik a FUV, a másik a NUV + optikai
tartományban észlel.
Képek kaphatók a 28 ívperces látómezőről.



AstroSat

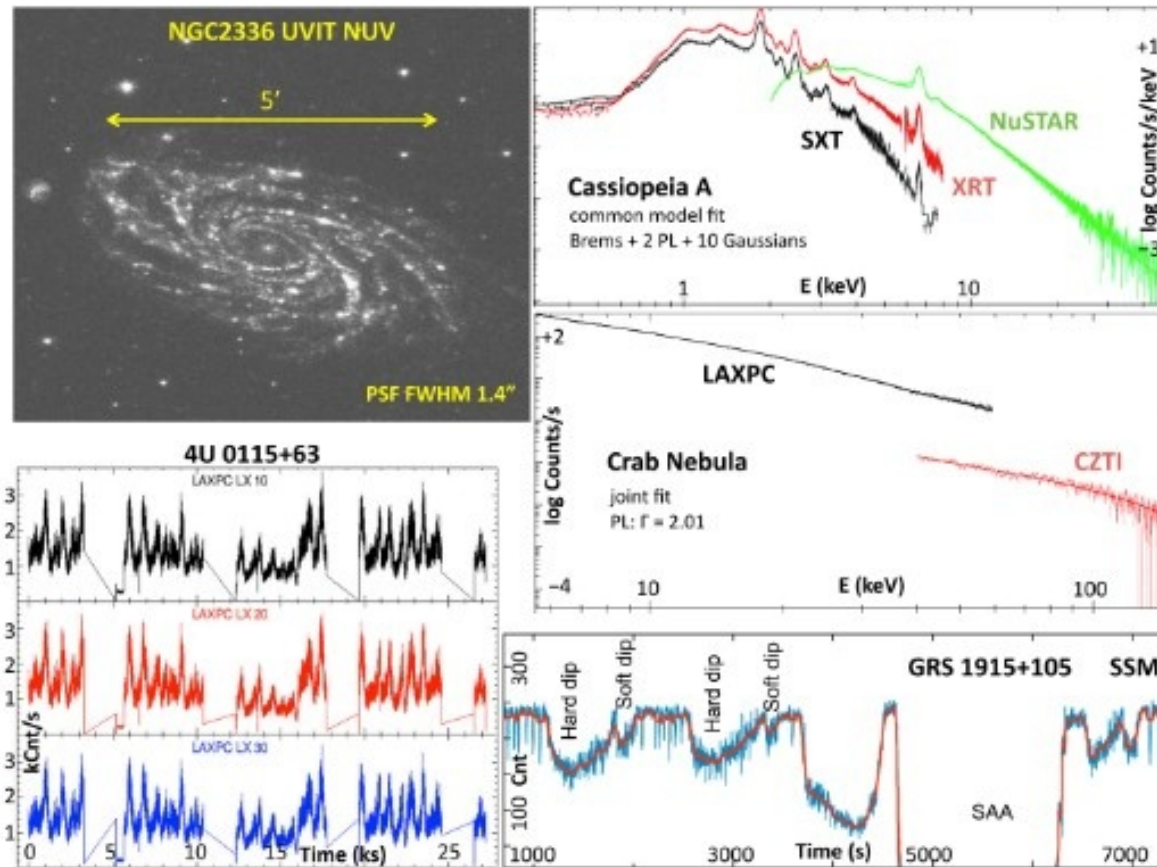


Figure 2: Top left: UVIT image of NGC 2336 in the NUV band, demonstrating very good angular resolution. Bottom left: Light curve of 4U0115+63 during outburst in the three units of LAXPC. Top Right: X-ray spectrum of Cas A with SXT which has a spectral resolution of 140 eV; the source was observed at 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.

Szozuz–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.

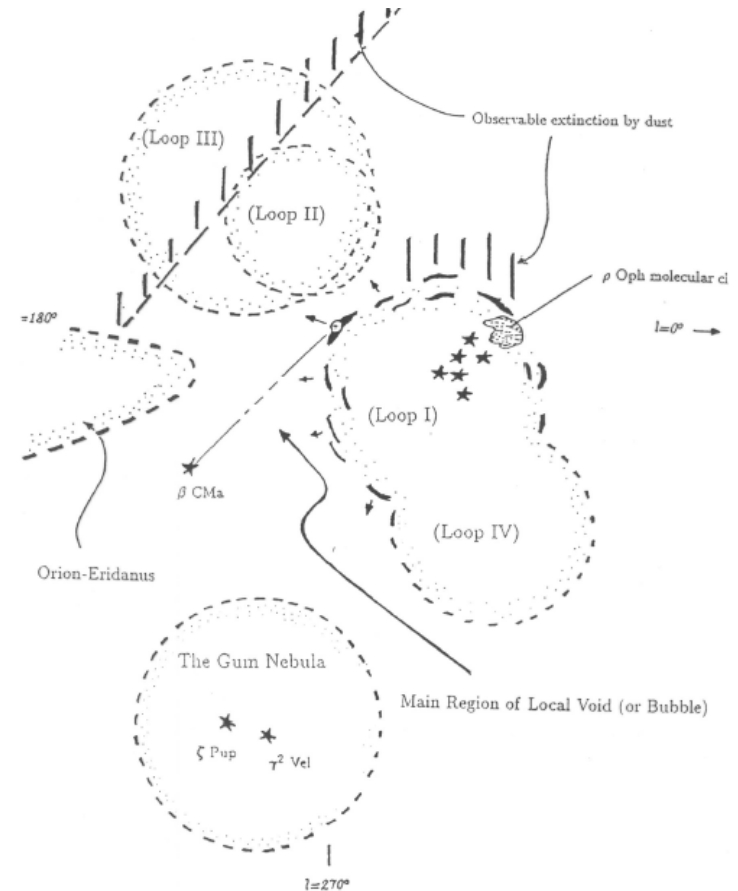


Fig. 2. Distribution of largescale shell structures in the LISM. The sizes and placement of the radii loops, Loops I-IV were determined from Spoeltra (1973). A portion of the Orion-Eridanus Complex as well as the Gum Nebula, are shown. The line-of-sight between the Sun and β CMa is depicted. This denotes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

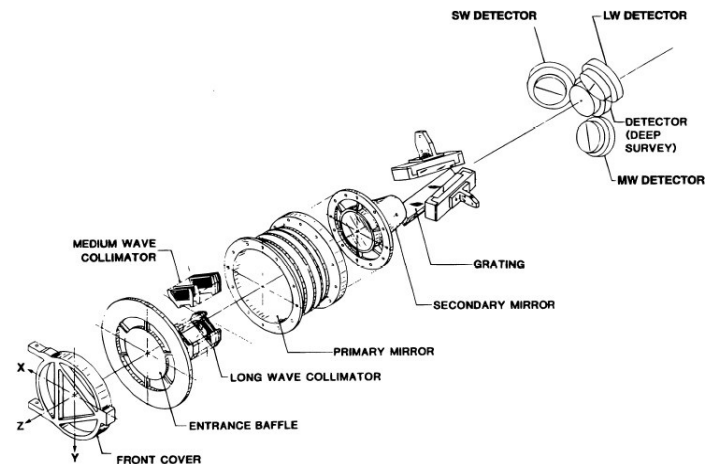
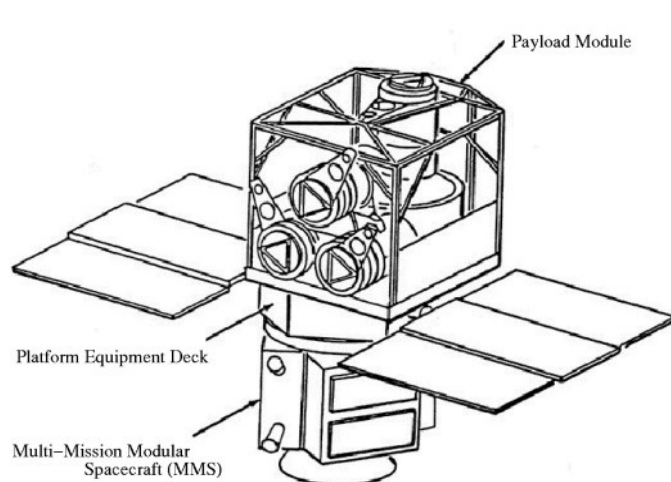
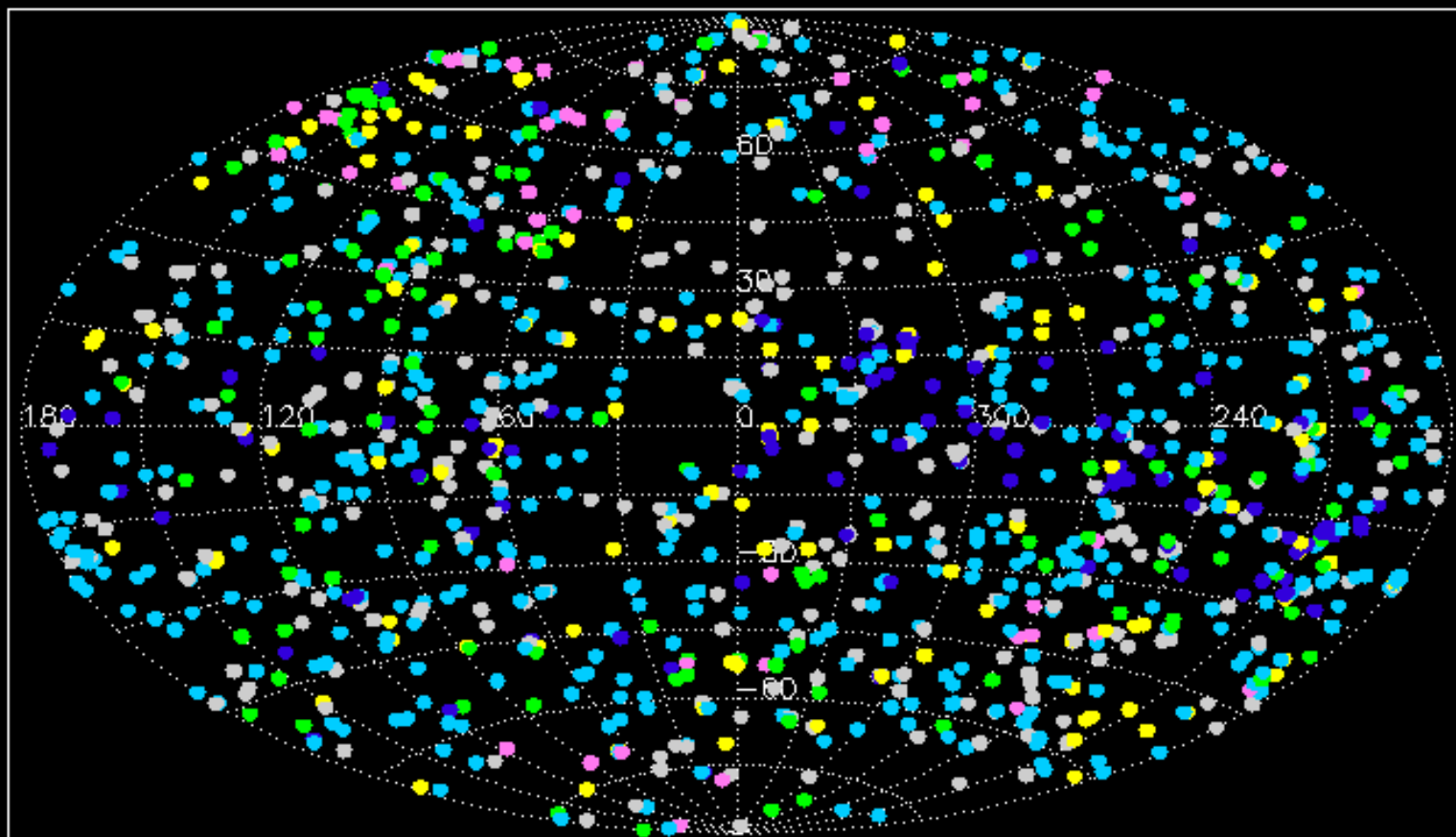


Figure 5: Exploded view of the EUVE Deep Survey/Spectrometer telescope. The axes

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

EUVE Photometric Detections



Other

Late Stars

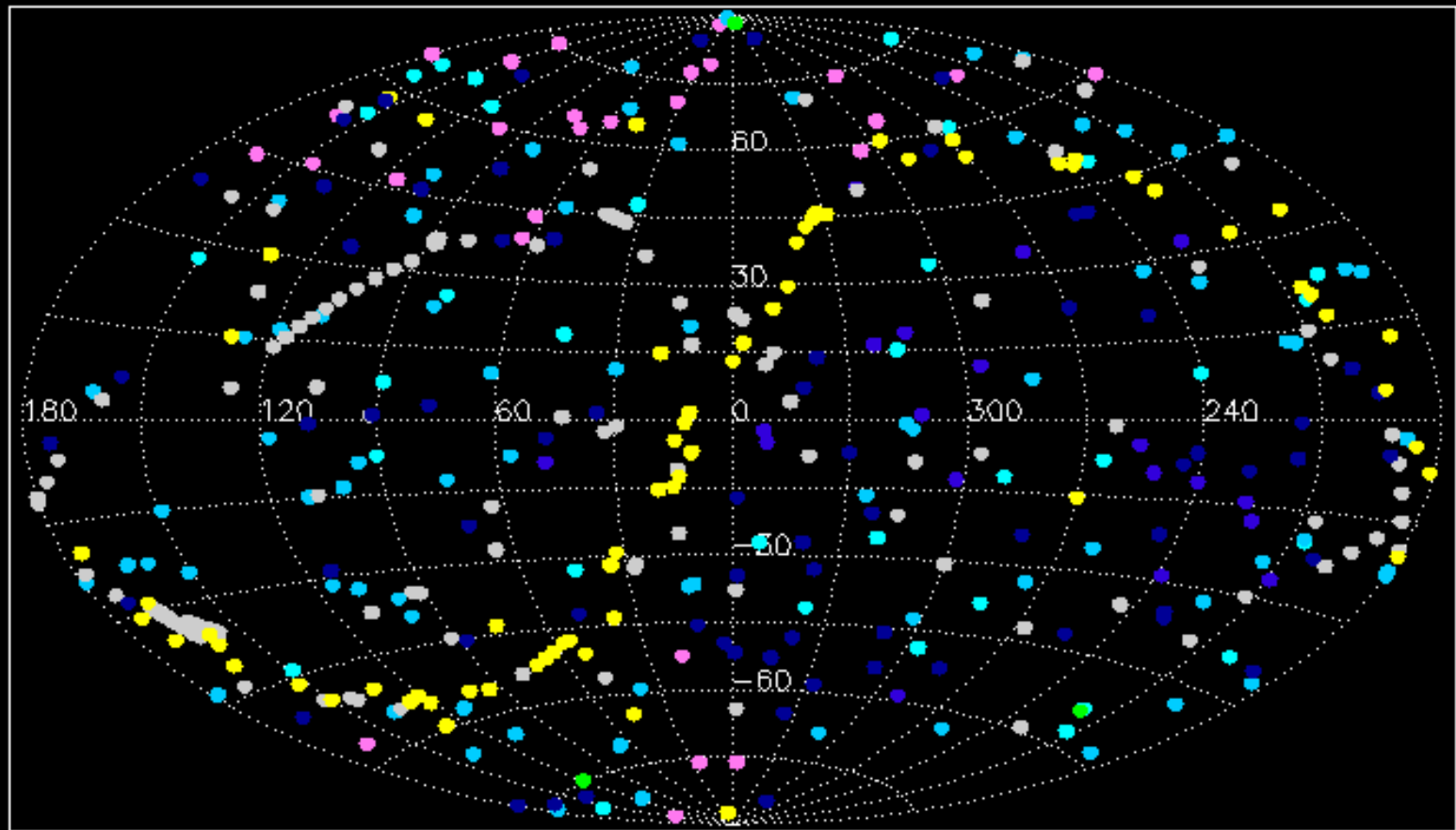
Extragalactic

Early Stars

White Dwarfs

No ID

EUVE Observations

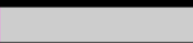


Solar System

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.

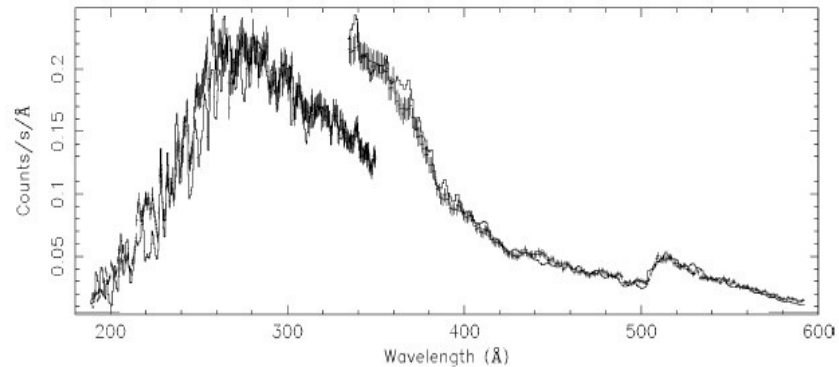
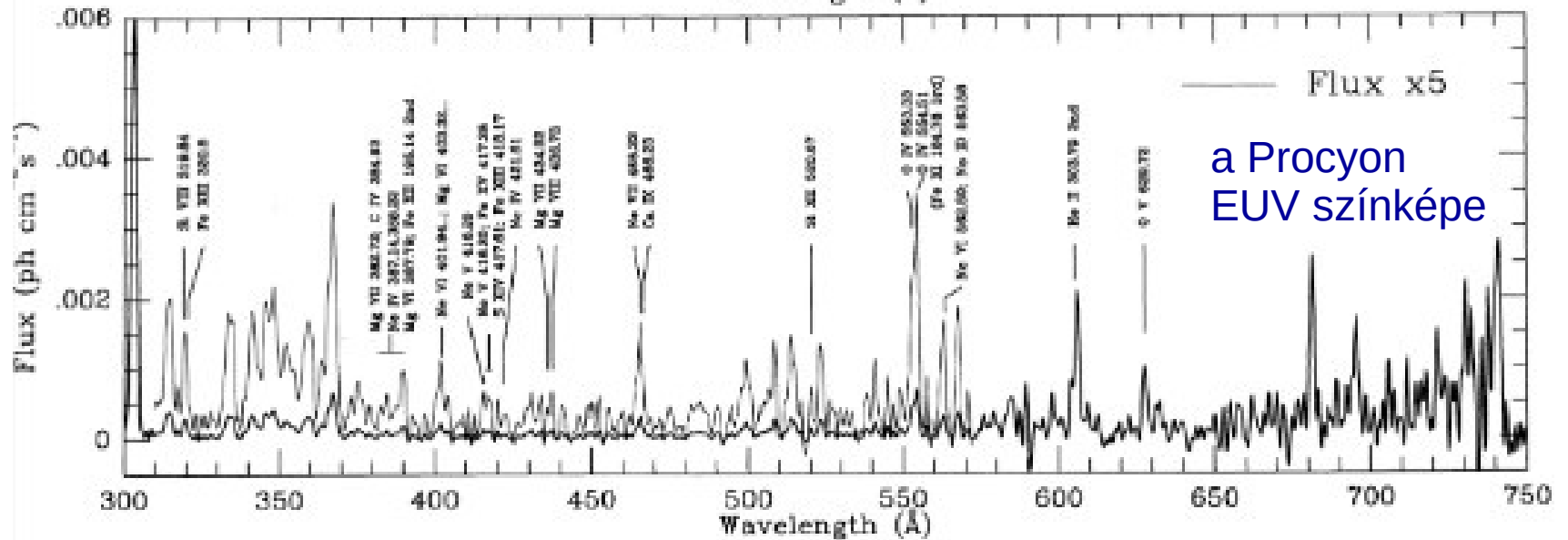
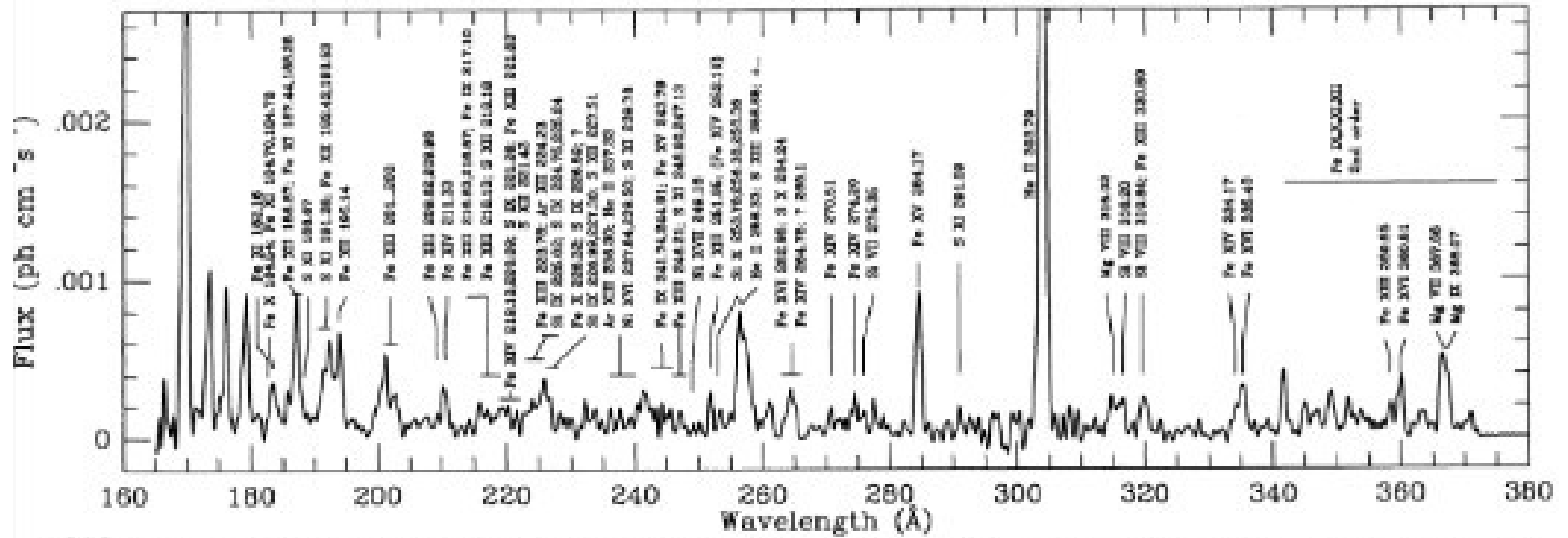


Figure 7: EUVE count spectrum of G191-B2B covering the wavelength range 180-600Å. The data points (error bars) are compared with the predictions of a non-LTE model atmosphere calculation including the effects of interstellar absorption (H I, He I and He I column densities are 2.1×10^{18} , 1.8×10^{17} 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.

EUVÉ



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 üstökögáz között, az energia kisugárzódik.

Késői csillagok légköre (átfedés a röntgencsillagászati eredményekkel): csillagkorona (a Nap analógiája), egyes koronavonalak észlelhetőek az EUV-színképben. A kémiai összetétel eltér a fotoszférától. A korona hőmérsékleti szerkezete is meghatározható. A legfényesebb koronák tízszer forróbbak, mint a Napé. Az EUV emisszió időfüggése is vizsgálható. Az RS CVn csillagok idejük 40%-ában flereznek. Az EUV-periódus 2%-kal hosszabb mint az optikai keringési idő. Differenciális rotáció okozhatja a fotoszférától felfelé.

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 fotoszférikus 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 cm² 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.

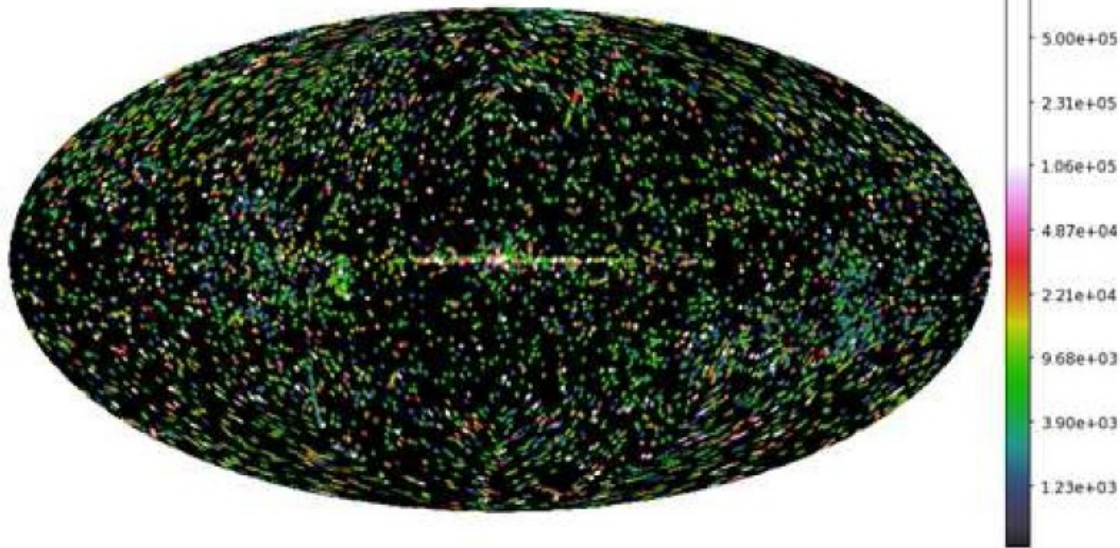
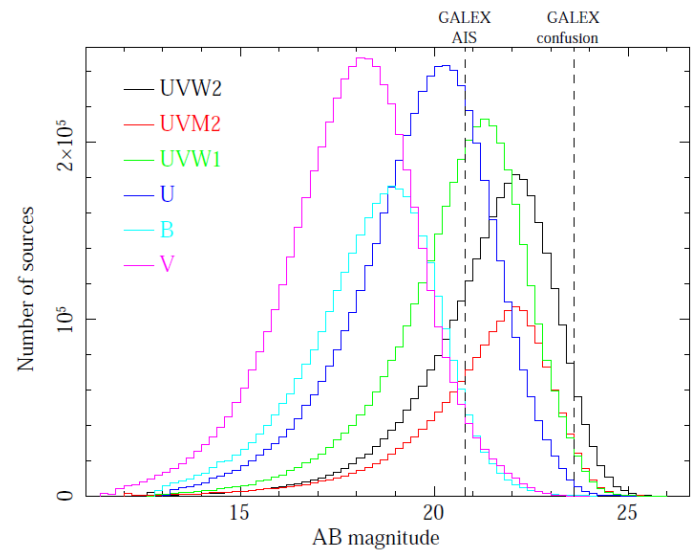
Az ionizált vasnak 18 nm körül sok vonala van: FeIX (17,1 nm), FeX (17,5 nm), FeXI (18,0 nm), FeXII (18,7 nm).

$5 \times 26,7^\circ$ -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

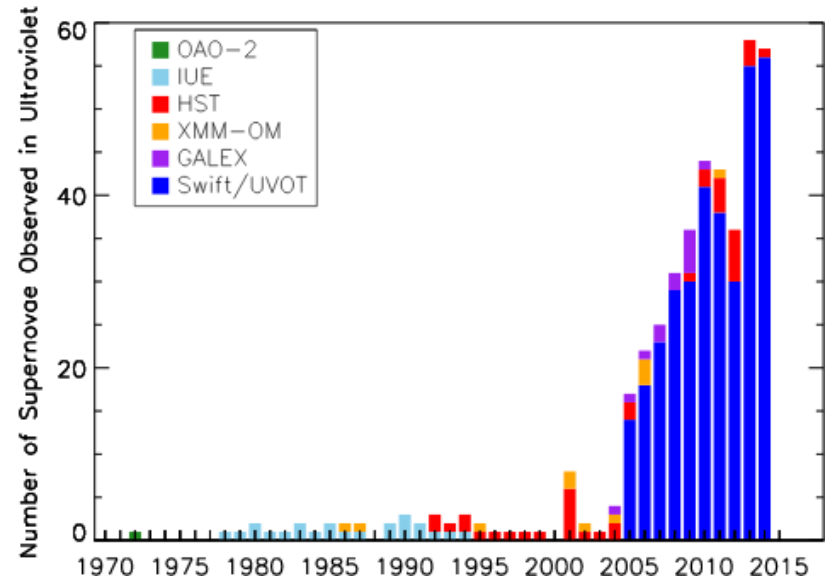
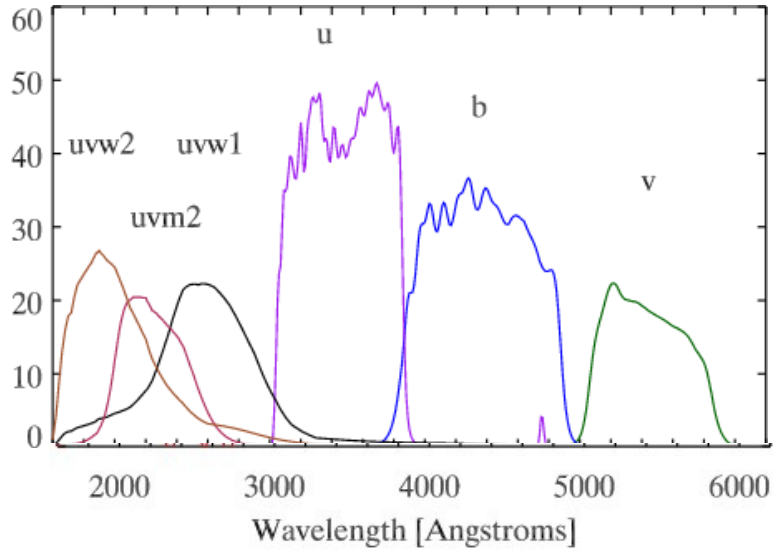
A Swift gammaaszonda egyik műszere (UVOT, Ultraviolet and Optical Telescope) közeli UV (170–300 nm között) fotometriát végez (és optikai fotometriát is). 30 cm-es távcsövének látómezeje $17' \times 17'$. Az UVOT az 1999 végén indított XMM-Newton fedélzetén levő OM mintájára készült.



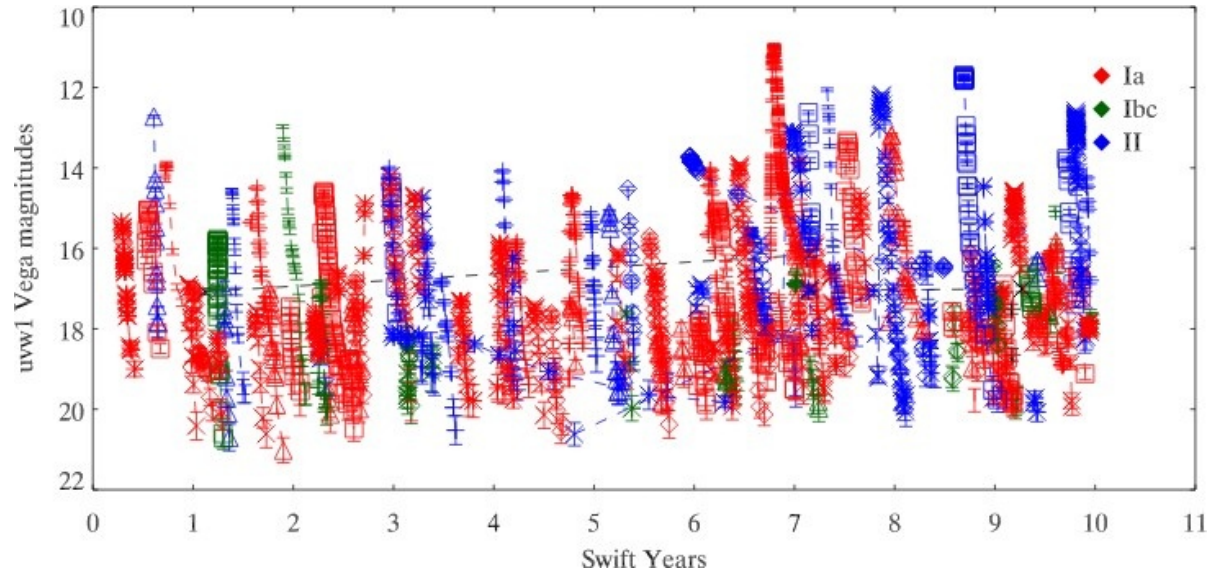
AB magnitudes in the six imaging filters used for the UVOTSSC. The GALEX depth, and the GALEX near-UV confusion limit are indicated.

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

Swift UVOT

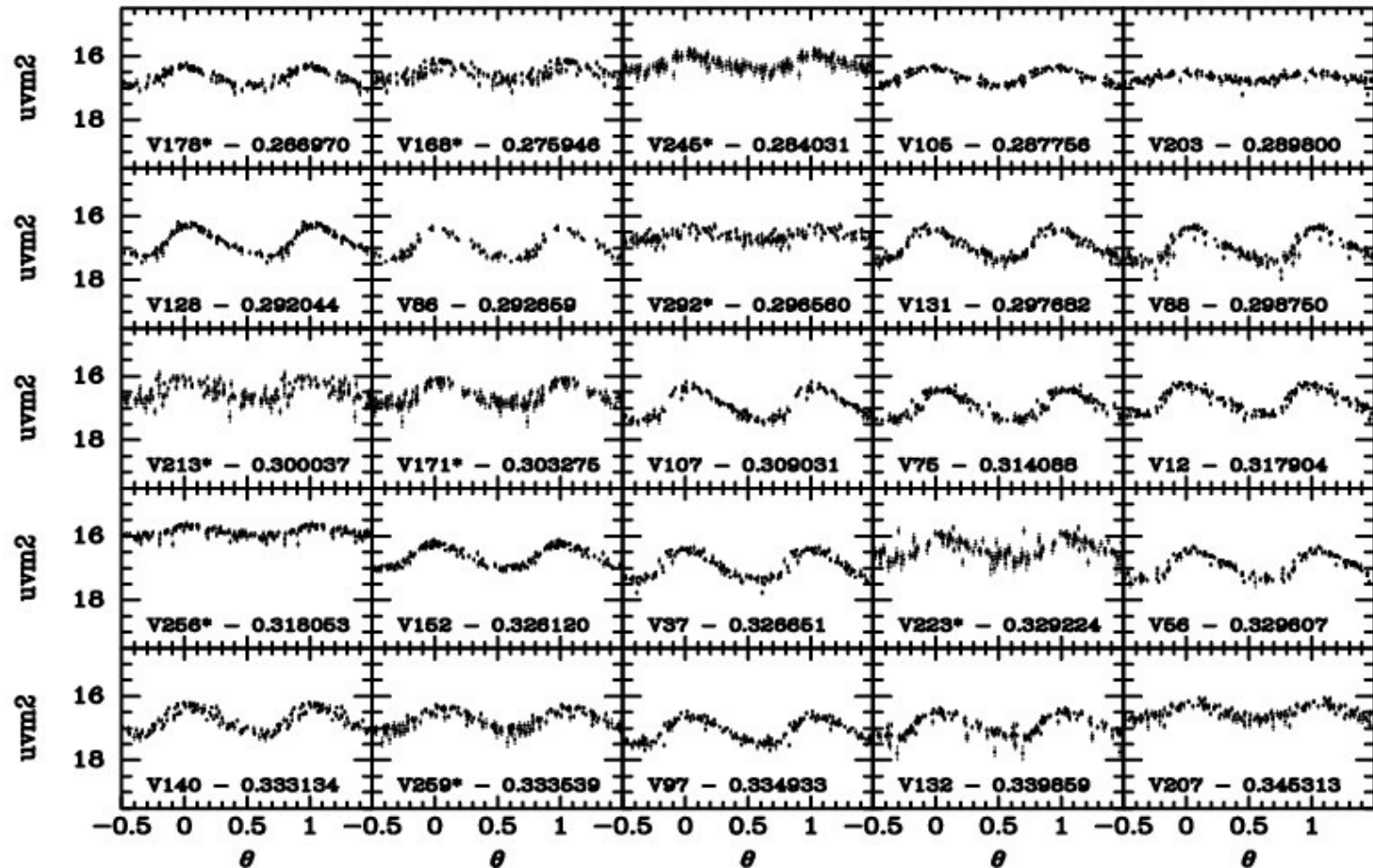


Szupernóvák észlelése a Swift UVOT-tal.



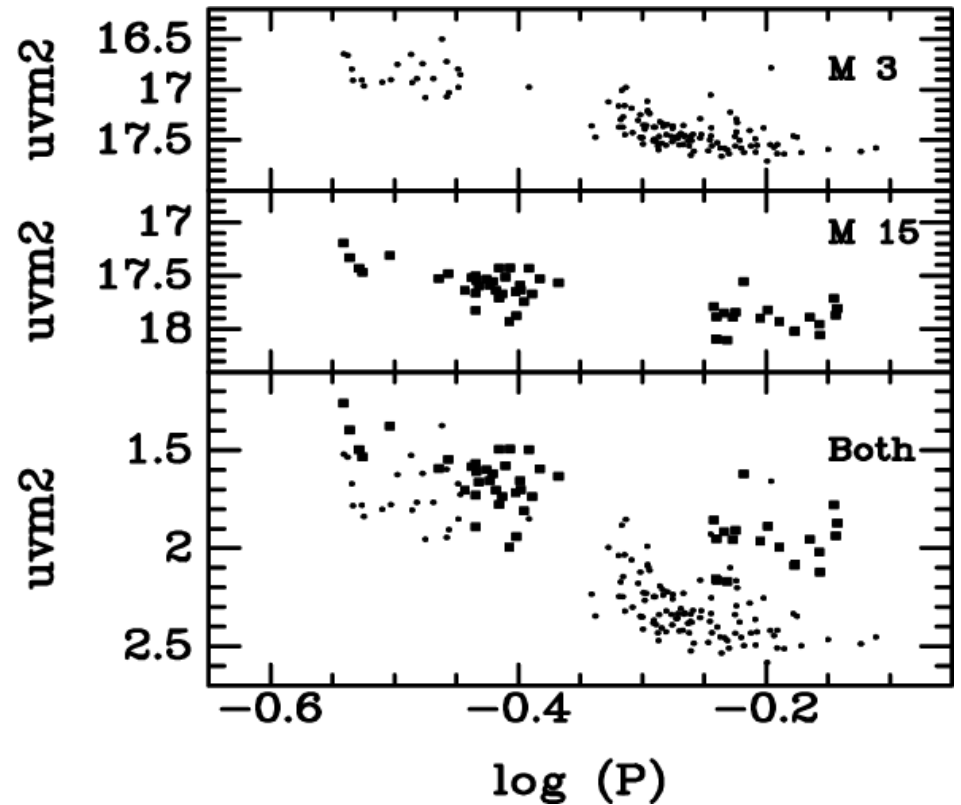
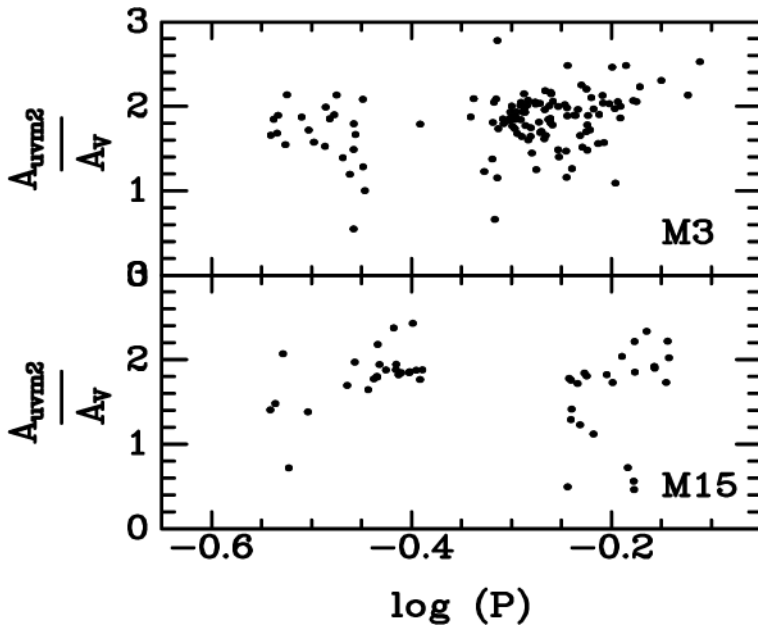
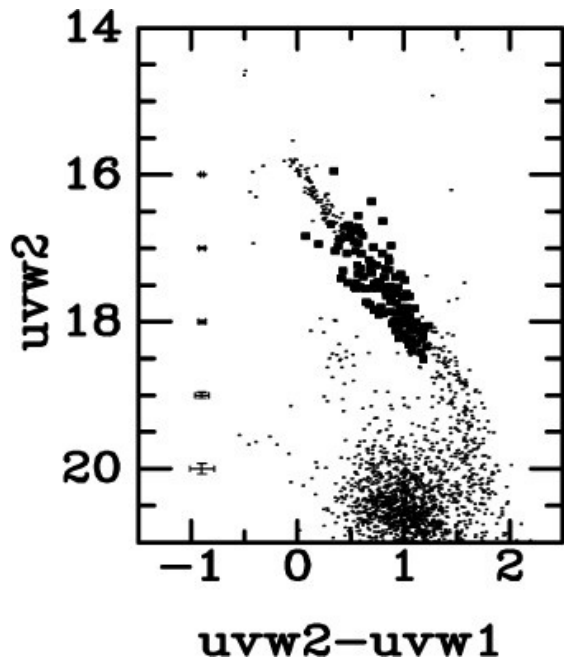
Swift UVOT

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



Swift UVOT

Az M3 és M15 RR Lyrae csillagaira
kapott további eredmények.



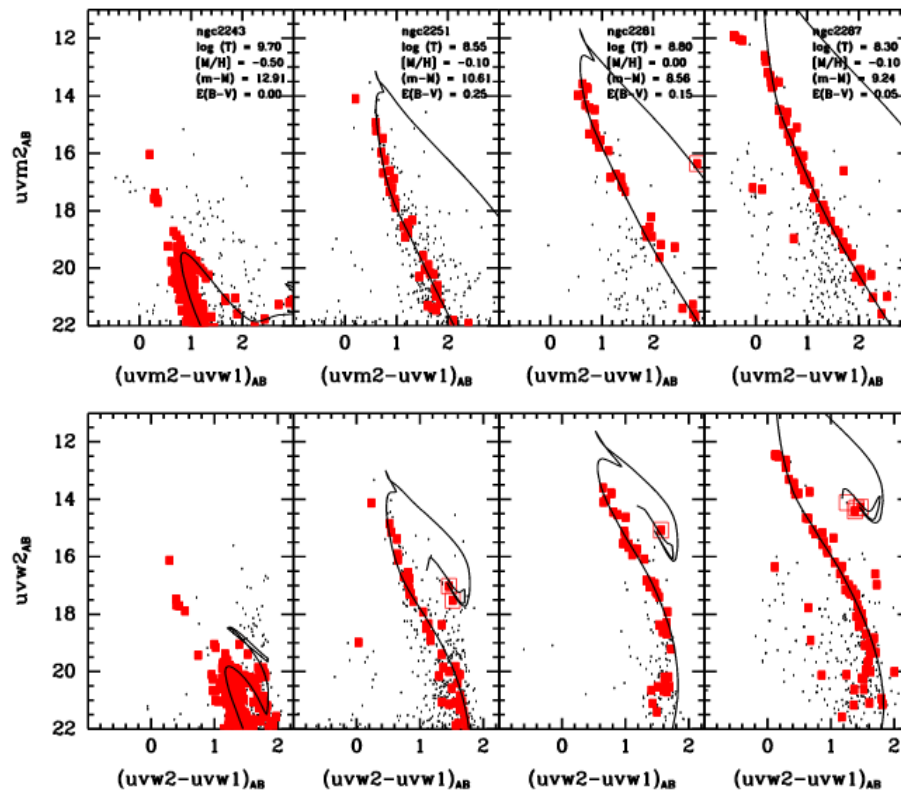
Az UVOT egyéb programjai

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 halmazhoz tartozást 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 az eredményei közül: korábban ismeretlen galaxis-halmazokat fedeztek fel a forró (10000-100000 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. december óta működik.

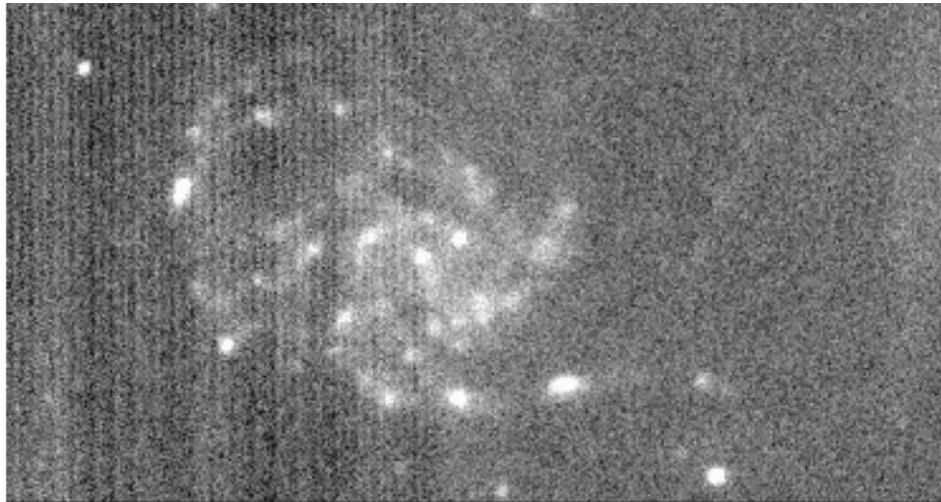
A 15 cm átmérőjű RC-távcsőre szerelt detektor a 245–340 nm közötti hullámhosszakra (NUV) érzékeny. Minden holdhónapban 12 napig mér (amikor a napelemek elég fényt kapnak). 13 magnitúdóig lehet észlelni, 1-1 objektumot akár folyamatosan is a Hold lassú forgása miatt.

Program:

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

Standardként az IUE által észlelt fényes csillagokat használja. Havonta kb. 10000 kép készül. Stabil a fotometriai rendszer.

2020-ban még működött. A radioizotópos energiaellátás 30 éves működést tesz lehetővé.



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

CUTE

CUTE: Colorado University Transit Explorer
Indítás: 2021. szept. 27., Atlas-V rakétával.

Hét hónap alatt tíz fedési exobolygó alacsony felbontású Spektroszkópiáját végezték a közeli UV-tartományban (255–330 nm).

A kutatási cél az exobolygók légkörének vizsgálata (Fe II, Mg II, Mg I, OH).

Ez a misszió csupán a teljességre törekvés okán szerepel.

UV űrcsillagászat – múlt és jövő

Néhány lényeges UV csillagászati felfedezés az elmúlt fél évszázadból:

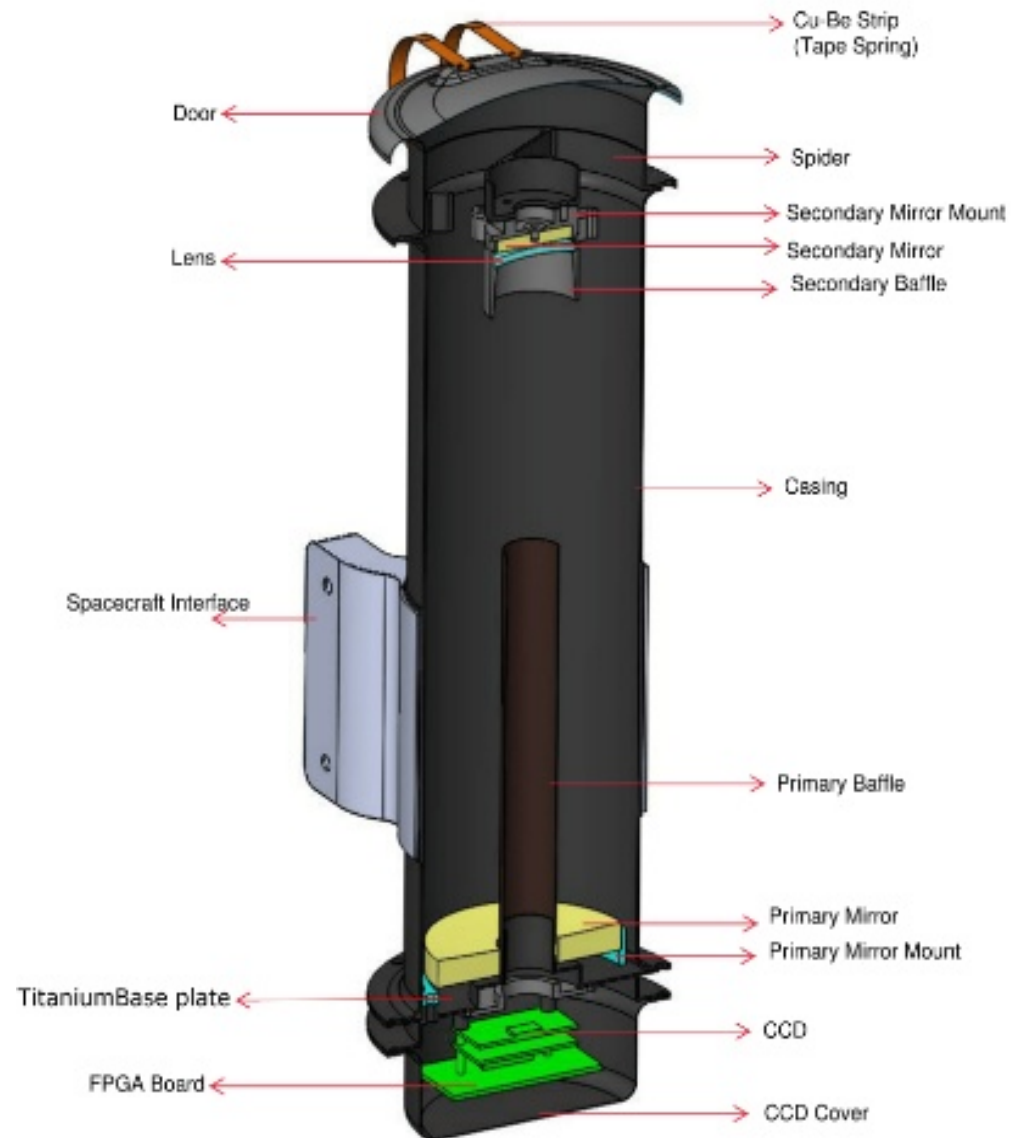
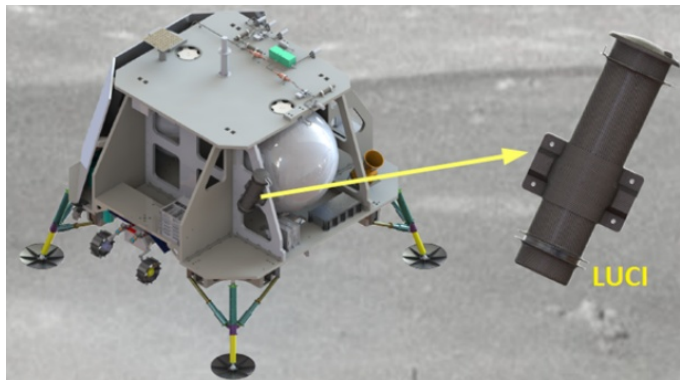
- A H_2 molekula felfedezése a kozmikus térségben (Aerobee rakétán levő műszerrel, 1970);
- A kozmikus D/H arány kimérése (Copernicus, 1973);
- Az intersztelláris anyag forró komponensének kimutatása (Copernicus, 1974);
- A csillagok kémiai összetételének és tömegvesztésük mértékének pontos meghatározása a HR-diagram minden részére vonatkozóan (IUE);
- A legforróbb csillagok hőmérsékleti skálájának pontosítása (FUSE)
- Az intergalaktikus anyagban levő meleg és forró barionos anyag „raktárainak” azonosítása (HST, FUSE);
- Előrehaladás az üstökösök, a bolygólégek 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. 2020-as indítást terveztek, de bizonytalan a projekt sorsa. A műszer készen van, és a közeli UV-ben észlelhet majd.



Az UV űrcsillagászat jövője

ULTRASAT: *U*ltraviolet *T*ransient *A*stronomy *S*atellite

Az izraeli Weizmann Institute of Science által tervezett szonda 2026-os indítással (GEO pályára). Hároméves működést terveznek, ami 6 évre meghosszabbítható. A távcső látómezeje 204 négyzetfokos (!).

Kutatási program: nagy látómezejű felmérés tranziens és változó forrásokról a 230–290 nm hullámhossztartományban.

Vizsgálati célok: gravitációs hullámok forrásának UV-azonosítása, magkollapszusos SN-k korai UV-fénygörbéje, galaxisok centrális fekete lyukának aktivitása, változó- és flercsillagok.

WSO-UV: World Space Observatory – Ultraviolet.

Eredetileg az ESA és a Roszkoszmosz projektje, de közben mások is betársultak. Oroszországban **Szpektr-UF** néven ismert projekt. (A 2011-ben indított RagyioAsztron a Szpektr-R volt.) 5-10 éves működést terveznek. Az 1,7 m tükörátmérőjű, 30 ívperc látómezejű távcsövet tartalmazó szondát jelenleg 2028-ban tervezik geoszinkron körpályára helyezni.

Műszerei:

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

ULTRASAT

The Ultraviolet Transient Astronomy Satellite (ULTRASAT) is scheduled to be launched to geostationary orbit in 2026. It will carry a telescope with an unprecedentedly large field of view (204 deg^2) and NUV (230-290nm) sensitivity (22.5 mag , 5σ , at 900s). ULTRASAT will conduct the first wide-field survey of transient and variable NUV sources and will revolutionize our ability to study the hot transient universe: It will explore a new parameter space in energy and time-scale (months long light-curves with minutes cadence), with an extra-Galactic volume accessible for the discovery of transient sources that is >300 times larger than that of GALEX and comparable to that of LSST. ULTRASAT data will be transmitted to the ground in real-time, and transient alerts will be distributed to the community in $<15 \text{ min}$, enabling a vigorous ground-based follow-up of ULTRASAT sources. ULTRASAT will also provide an all-sky NUV image to $>23.5 \text{ AB mag}$, over 10 times deeper than the GALEX map.

Two key science goals of ULTRASAT are the study of mergers of binaries involving neutron stars, and supernovae: With a large fraction ($>50\%$) of the sky instantaneously accessible, fast (minutes) slewing capability and a field-of-view that covers the error ellipses expected from GW detectors beyond 2025, ULTRASAT will rapidly detect the electromagnetic emission following BNS/NS-BH mergers identified by GW detectors, and will provide continuous NUV light-curves of the events; ULTRASAT will provide early (hour) detection and continuous high (minutes) cadence NUV light curves for hundreds of core-collapse supernovae, including for rarer supernova progenitor types.

ULTRASAT

Table 1. ULTRASAT Key Properties

Property	Value	Comments
Spacecraft parameters		
Orbit	GEO	
Real-time download of data	Continuous	
Slew rate	$> 30^\circ/\text{min}$	
Transient alert after observation end	$< 15 \text{ min}$	For both survey and ToO modes
Sky accessibility at any given moment	$> 50\%$	See Figure 3
Observation start after ToO trigger	$< 15 \text{ min}$	At any visible position
Payload parameters		
Aperture	33 cm	
Total FoV	204 deg^2	Covered by four $7.14 \text{ deg} \times 7.14 \text{ deg}$ sensors
Pixel scale	$5.4''/\text{pix}$	Total of 89.9M pixels
Operation waveband	230-290 nm	See Figure 4
Mean throughput in operation waveband	0.25	See Figure 4
Out of Band Rejection ($> 300 \text{ nm}$)	2.9×10^{-5}	See Figure 4
Mean effective FWHM ^a	$8.3''$	See Figure 5
Mean limiting magnitude ^a (in 900 s, 5σ)	22.5 AB mag	See Figure 6

^a In central 170 deg^2 of FoV, for a $T = 20,000 \text{ K}$ blackbody source.

Table 2. ULTRASAT Science Highlights

Source Type	# Events per 3 yr mission	Science Impact
Supernovae		
Shock break-out and Early (shock cooling) of core collapse SNe	> 40 > 500	Understand the explosive death of massive stars
Superluminous SNe	> 250	Early evolution, shock cooling emission
Type Ia SNe	> 1000	Discriminate between SD and DD progenitors, dust reddening
Compact Object Transients		
Emission from Gravitational Wave events: NS-NS and NS-BH	~ 25	Constrain the physics of the sources of gravitational waves
Tidal disruption events	> 300 (high-cadence) > 4500 (low-cadence)	Accretion physics, black hole demographics
Quasars and Active Galactic Nuclei		
Continuous UV lightcurves	> 7500	Accretion physics, BLR reverberation mapping, lensed quasars
AGN-related flares & transients	> 100	Accretion physics
Stars & Exoplanets		
Active & Flaring stars	$> 4 \times 10^5$	Planet habitability, high-energy flare frequency, stellar magnetic structure, gyrochronology, magnetospheres
White dwarfs	$> 3 \times 10^4$	Planetary systems, debris accretion, rotation-related variability
RR Lyrae	> 1000	Pulsation physics
Nonradial hot pulsators, e.g., $\alpha \text{ Cyg}$, $\delta \text{ Scuti}$, SX Phe, $\beta \text{ Cep}$ types	> 250	Asteroseismology
Eclipsing binaries	> 400	Chromosphere and eclipse mapping
Galaxies and Clusters		
All Sky Survey – galaxies	$> 10^6$	Galaxy Evolution, star formation rate
Gamma Ray Bursts		
GRBs occurring in-field	~ 30	Prompt emission & afterglow physics, dust reddening
Orphan Afterglows	> 30	Fireball Γ and opening angle distributions
Solar System		
Asteroids and other small bodies	$> 10^4$	Asteroid classification, origin

ULTRASAT

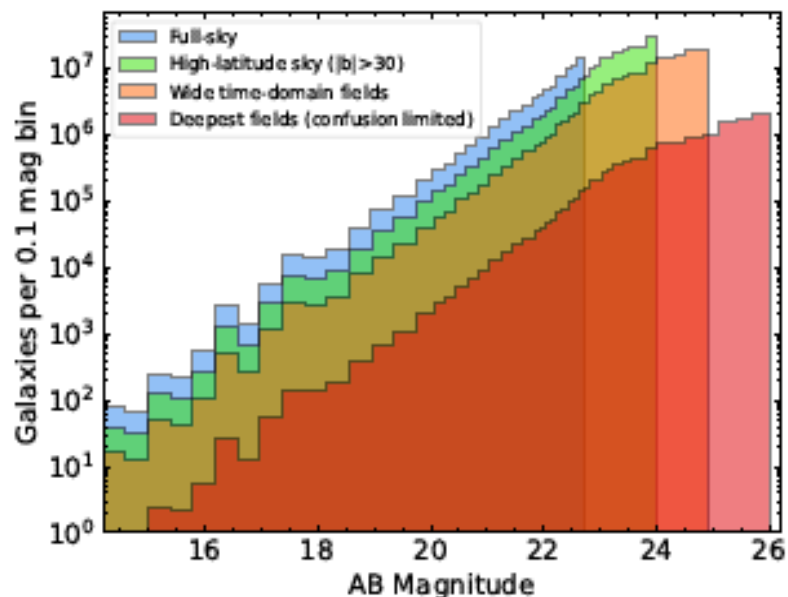


Figure 13. Expected number-magnitude distribution for galaxies in ULTRASAT surveys. Different colors represent different tiers of ULTRASAT survey. The all-sky survey is subdivided into the high latitude portion (green) and the shallower observations over the full sky including low galactic latitudes (blue). The time domain fields are similarly divided into the low-cadence, wide area portion (yellow) and the deepest fields (red). Each colored histogram is cut off at

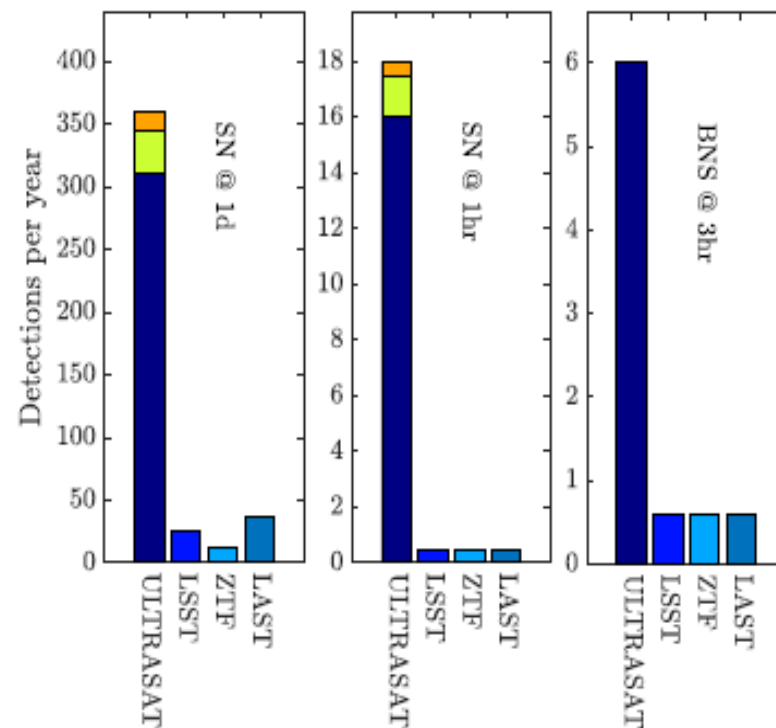


Figure 2. The number per year of supernova (SN) transients and EM transients following binary neutron star (BNS) mergers, expected to be detected at early time (as indicated in the plot) by ULTRASAT (assuming the limiting magni-

Az UV űrcsillagászat jövője

CETUS (**C**osmic **E**volution **T**hrough **UV** Spectroscopy): NASA-misszió, A 2030-as évek elejére tervezett indítással, a szonda működési helye az L2-es Lagrange-pont körüli pálya.

A távcsőtükör átmérője 1,5 méter, a detektorok pedig:

- nagy látómezejű kamera
- sokobjektum-spektrográf
- nagy felbontású echelle-spektrográf

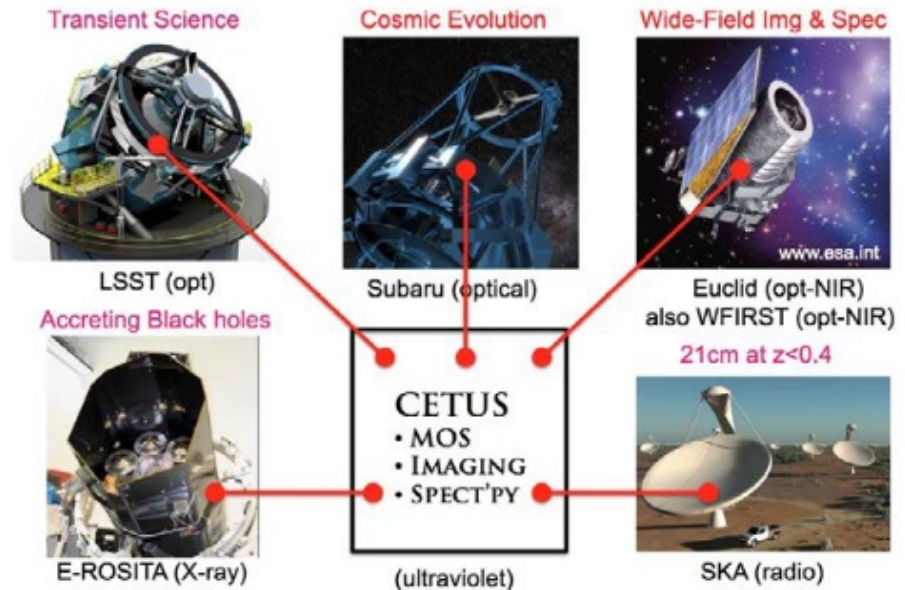


Figure 2-22: CETUS will collaborate with other survey telescopes to solve important problems in astrophysics.

Az UV űrcsillagászat jövője

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

LUVOIR-A: 15 m átmérőjű főtükör, **LUVOIR-B**: 8 méter átmérőjű főtükör. A Nap–Föld rendszer L2 pontja köré telepítve működtetik legalább 5 évig a 2030-as évtized végétől. Képképző spektroszkópia koronagráf üzemmódban is.

Az EUV tartomány újabb vizsgálatára nincs jelentős űrcsillagászati terv.

