

# ŰRCSILLAGÁSZAT

## ULTRAIBOLYA-CSILLAGÁSZAT

Összeállította: Szabados László

Szegedi Tudományegyetem

2019

# Az ultraibolya színeképtartomány

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

Az ultraibolya (UV) tartomány felosztása:

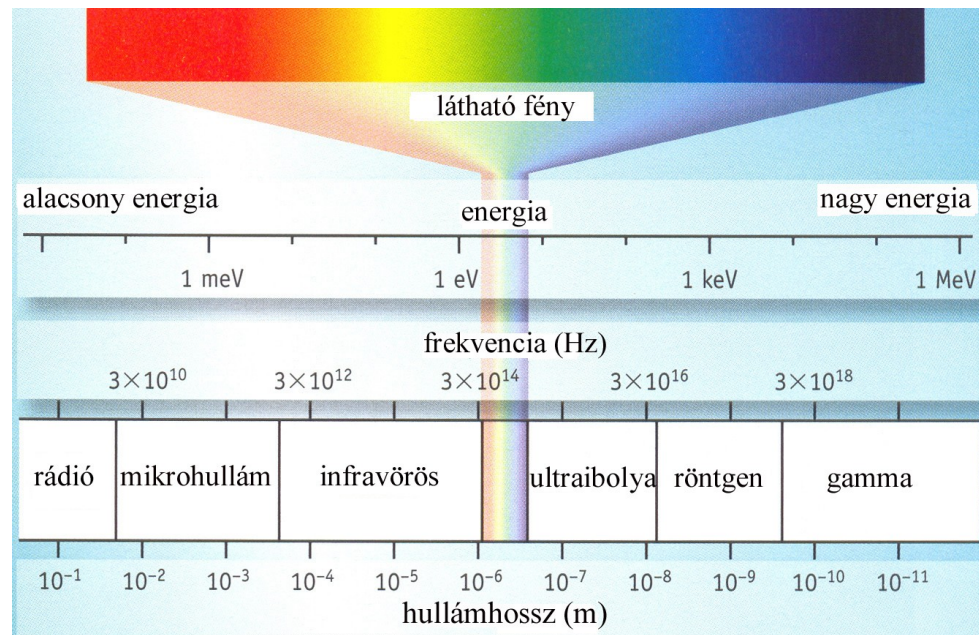
közeli UV:  $200 \text{ nm} < \lambda < 320 \text{ nm}$

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

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

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

Az UV sugárzást a földi légköri ózon elnyeli.

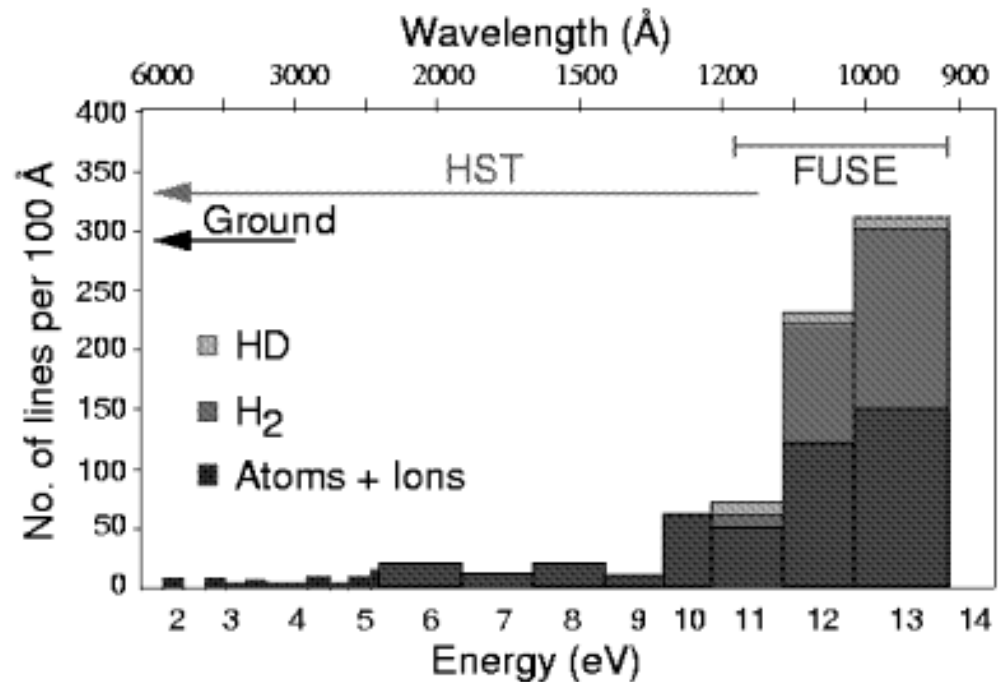


# Az UV színeképtartomány jelentősége

- A közönséges atomok, ionok, molekulák rezonanciaátmenete (alapállapotba ugrás) az UV-be esik (H, He, O, C, Ne, Ni, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO, OH, CS, C<sub>2</sub> ...); a rezonanciavonalak erősebbek, mint 2 gerjesztett állapot közötti átmenetiei, főleg alacsony hőmérsékleten (bolygóléggör, 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 napaktivitáshoz hasonló jelenségek (pl. kromoszféra) UV spektrumból.
- A megfigyelési technika hasonló az optikaihoz;

- Alacsony az égi háttér (az optikainak kb. 50-ed része).  
De zavar a sarki fény, légkörfény (H Ly- $\alpha$  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 N<sub>2</sub>-sávok (140-180 nm) megfelelő szűrőkkel kivághatók.



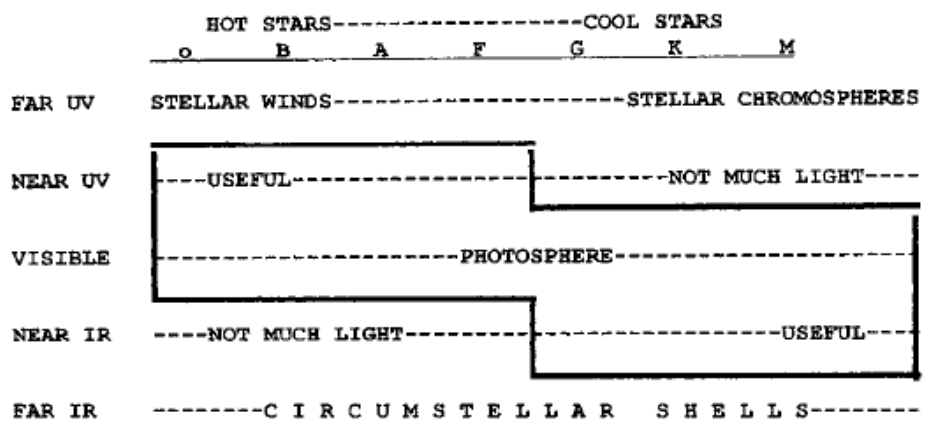
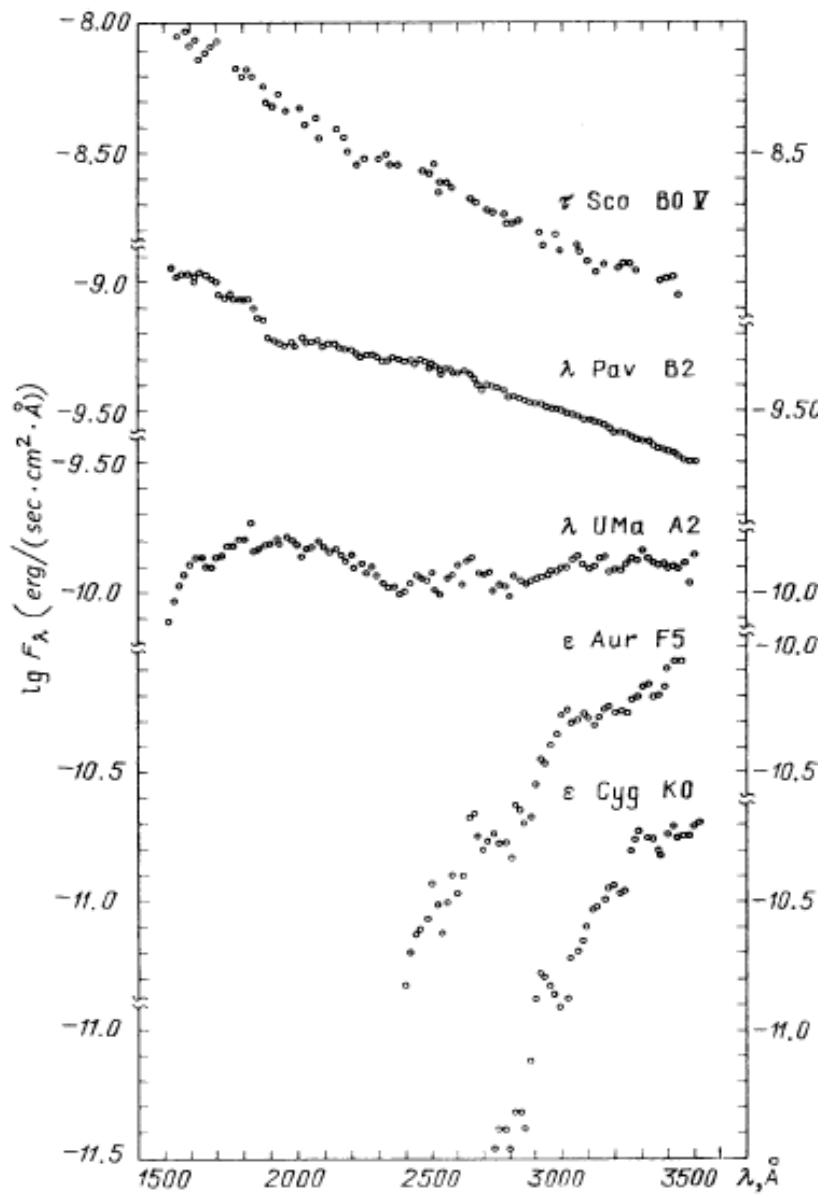
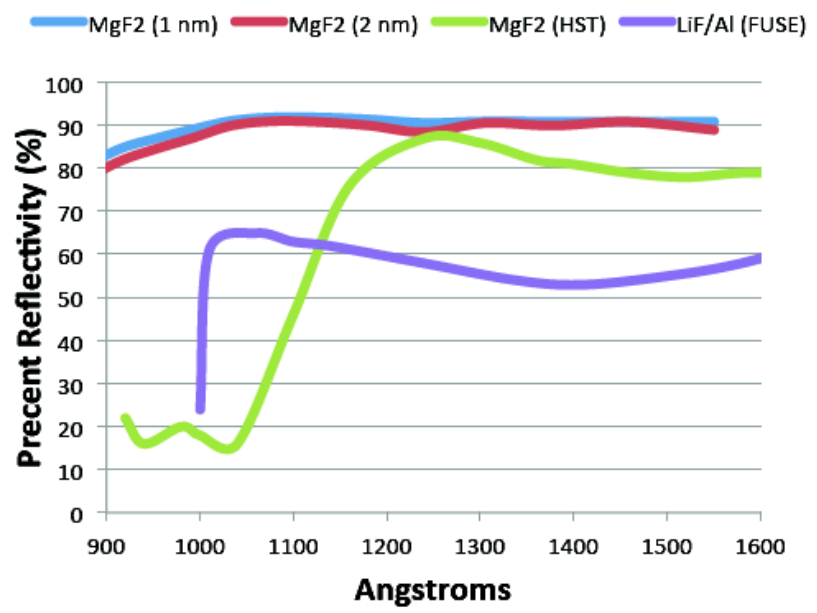


Figure 4. Table summarizing the choices of wavelength regions, as well as some of the general advantages and disadvantages for the various types of stars.





# 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  $\text{MgF}_2$  (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 (0,1-1000 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) gőzölnek a csatorna anyagára. A hatásfok így 70% lehet.

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

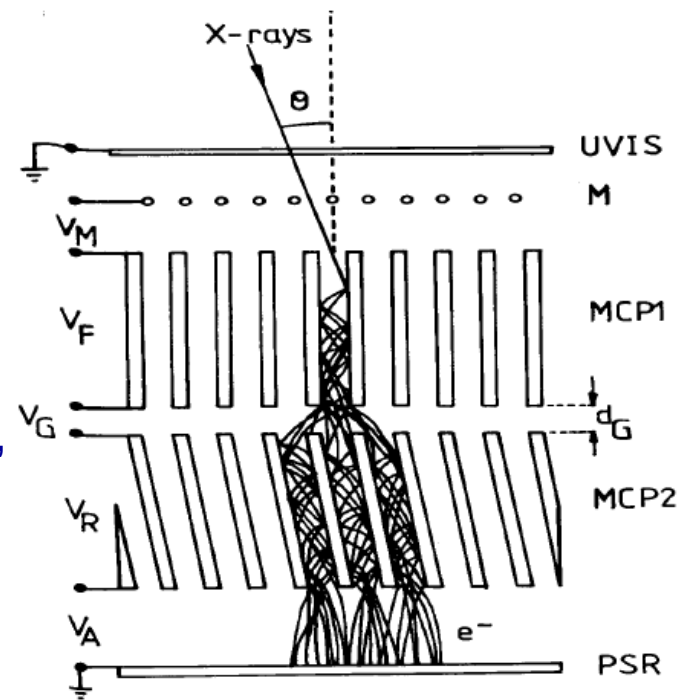


Figure 1. Schematic view of avalanche propagation in a two-stage 'chevron' MCP x-ray detector. The channels of the rear plate (MCP2) are biased at an angle ( $6^\circ$ - $15^\circ$ ) to those of the front plate (MCP1) in order to stop positive ions generated at the output end propagating back to the 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> <b>47</b> 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> <b>30</b> 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> <b>2518</b> 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> <b>1344</b> 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> <b>2280</b> 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> <b>40</b> 863
SOHO (1996)	UVCS	Delay line detector observing solar corona out to 10 solar radii in Ly $\alpha$ and O VI bands	Siegmund O H W <i>et al</i> 1995 <i>Proc. SPIE</i> <b>2518</b> 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> <b>2282</b> 116
	COS	Cosmic Origins Spectrograph—delay line detector for 2002 HST refurbishment mission	<a href="http://www.ozma.ssl.berkeley.edu">http://www.ozma.ssl.berkeley.edu</a>
Chandra (1999)	High Resolution Camera (HRC-I and HRC-S)	Large area imager 93 × 93 mm <sup>2</sup> area, spectrometer readout detector 300 × 20 mm <sup>2</sup> ; Radioisotope-free glass	<a href="http://hea-www.harvard.edu/HRC/HomePage.html">http://hea-www.harvard.edu/HRC/HomePage.html</a>
Far Ultraviolet Spectroscopic Explorer (FUSE) (1999)	–	170 × 12 mm <sup>2</sup> delay line detector with 18 $\mu$ m spatial resolution, working in the 900–1200 Å band	As COS

# Az $AB$ magnitúdó mint fényesség

Fényesség:  $\lambda$  hullámhossznál monokromatikus magnitúdó:

$$m_\lambda = -2,5 \log(f_\lambda) - 21,175$$

ahol  $f_\lambda$  a forrás fluxussűrűsége ( $\text{erg/cm}^2/\text{s}/\text{\AA}$ ).

UV-ben gyakran az  $AB$ -rendszerbeli magnitúdót használják (Oke & Gunn, 1983); minden  $\lambda$ -n  $3631 \text{ Jy}$  legyen a spektrális fluxussűrűség

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

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

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

Az állandót úgy választották, hogy  $AB = V$  sima színek esetén (pl. Vega – ?!). 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 Ca II 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.

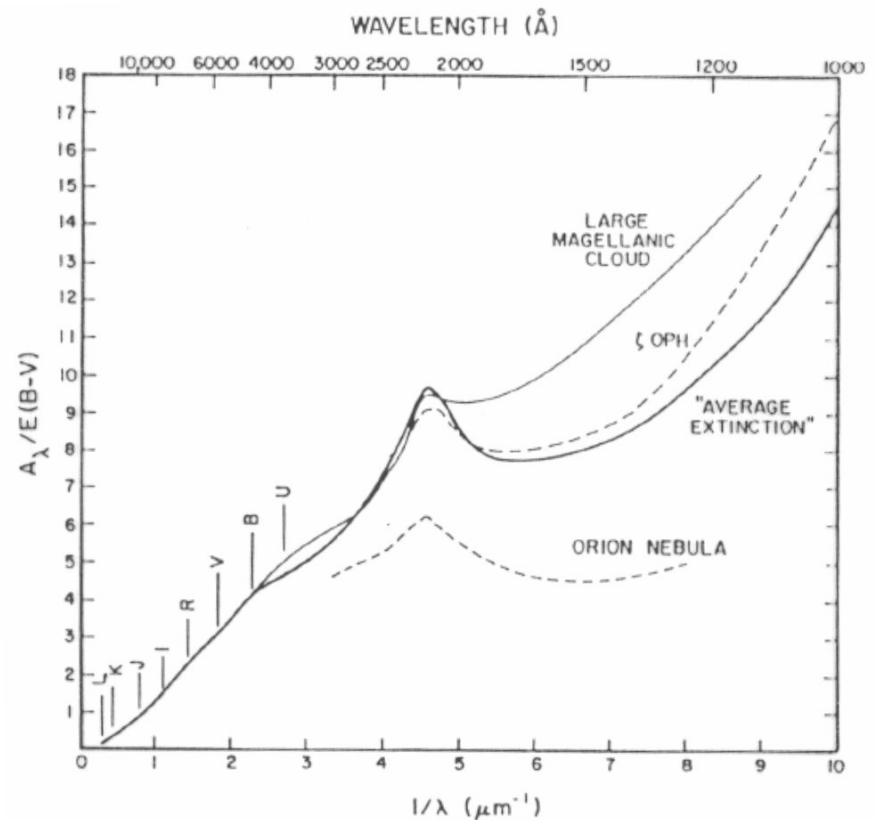
*Csillagközi anyag:* rengeteg elem  
rezonanciavonala (optikaiba csak a  
CaII, CaI és NaI vonalai esnek),  
kémiai összetétel és eloszlás.

Eredmények: a csillagközi extinkció  
hullámhosszfüggése: maximum  
217,5 nm-nél (*teljes meglepetés*);  
bizonyos elemek relatív hiánya, a  
csillagközi anyag inhomogenitása  
(néhány atom/cm<sup>3</sup>-től 0,001  
atom/cm<sup>3</sup>-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.; 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.

- UV-kamera (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.

**TD-1** (1972): 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.



# Progress in UV astronomy

Past, present, and future missions

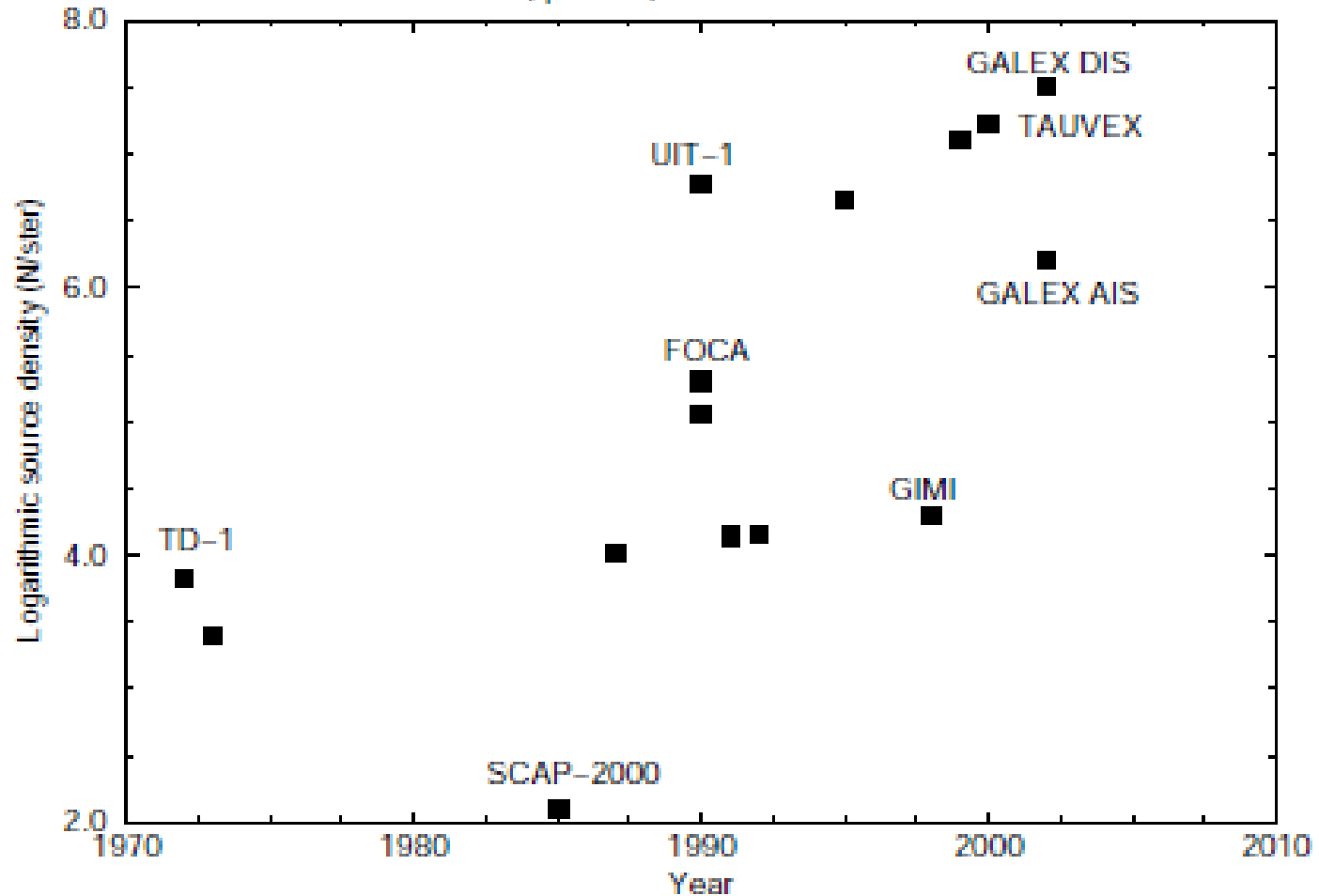


Figure 5. Source density in the UV for various sky surveys. All-sky and partial surveys (past or future) are included.

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

MSX:  
1996–1997

## 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	$4 \times 10^{-3}$	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)

## UV and EUV survey missions

Mission	Year	$\Omega$ (ster)	$m_L$	$\theta$	$\lambda\lambda$ (nm)	$N_{\text{sources}}$
TD-1	<del>1969-1973</del>	$4\pi$	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	$5 \times 10^{-3}$	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	$3.8 \times 10^{-4}$	17	0.48	~270	2244
GLAZAR	1990	$4.4 \times 10^{-3}$	8.7	$6 \times 10^{-4}$	164	489
FUVCAM	1991	0.09	10	$7.5 \times 10^{-3}$	133, 178	1252
FAUST	1992	0.33	13.5	3.3	165	4698
UIT 1+2	1990, 1995	$1.3 \times 10^{-3}$	19	26	152-270	6000?
HST WFPC	1990+	$4.3 \times 10^{-4}$	21.0	134.8	120-300	50000?
HST STIS	1997+	$1.5 \times 10^{-5}$	23.8	222.7	120-200	10000?
HST ACS/SBC	1999+	$2.4 \times 10^{-5}$	24.0	480	120-170	10000?
MSX UVISI	<del>1996-1997</del>	~0.01	18.0	50	180-300	?
ARGOS GIMI	1998+	$4\pi$	13.6	136	155	$2.5 \times 10^5$
SRG TAUVEV	1999+	0.06	19	1200	135-270	$10^6$
XMM OUVM	1999+	$\sim 6 \times 10^{-3}$	19	~100	185-600	$10^5?$
GALEX	2002+	$4\pi$	19.4	$4.4 \times 10^6$	130-300	$2 \times 10^7$
WFC	1992	$4\pi$	-	-	10, 16	479
ALEXIS	1994+	$4\pi$	-	-	13-19	50?
EUVE	1992	$4\pi$	-	-	7-70	734

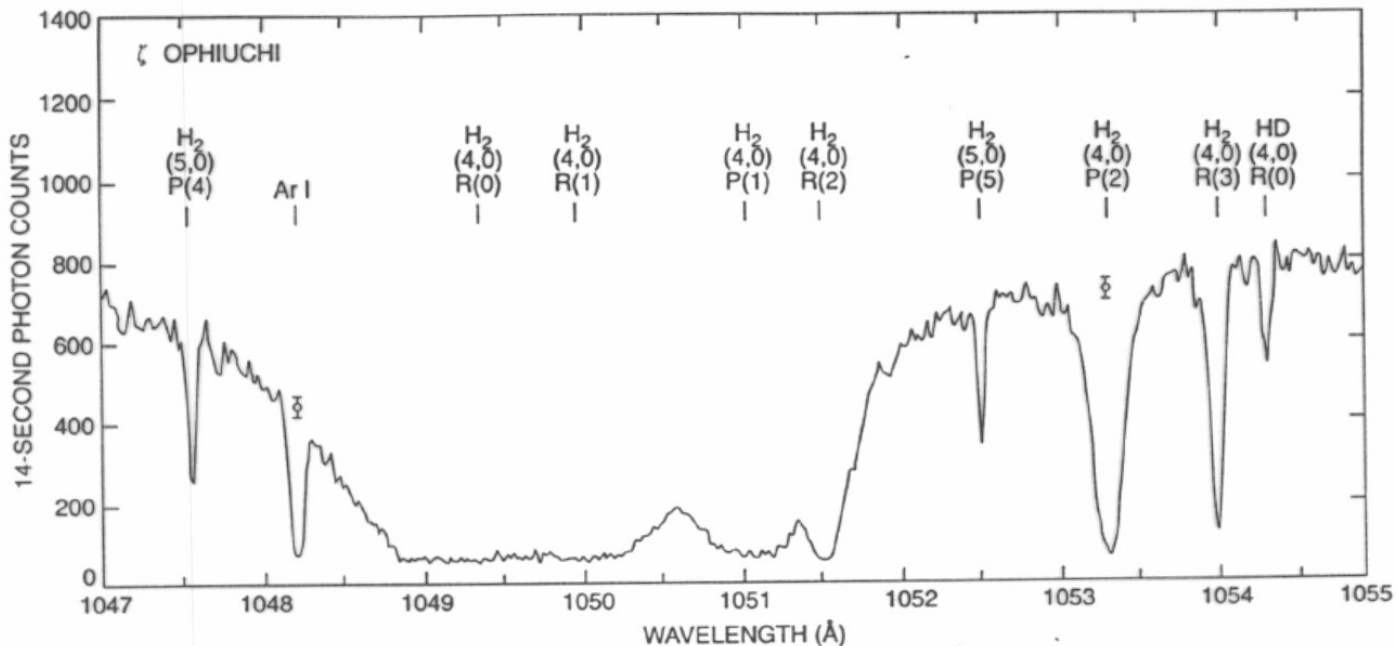
# UV-csillagászati űreszközök időrendben

**OA0-3 = Copernicus:** 1972. aug. – 1981.

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- $\alpha$  (121,6 nm) és a Lyman-ugrás közötti színekép is észlelhető volt.

Rengeteg vonal: H<sub>2</sub>, 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  $\zeta$  Oph over an 8 Å interval showing the H<sub>2</sub> (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

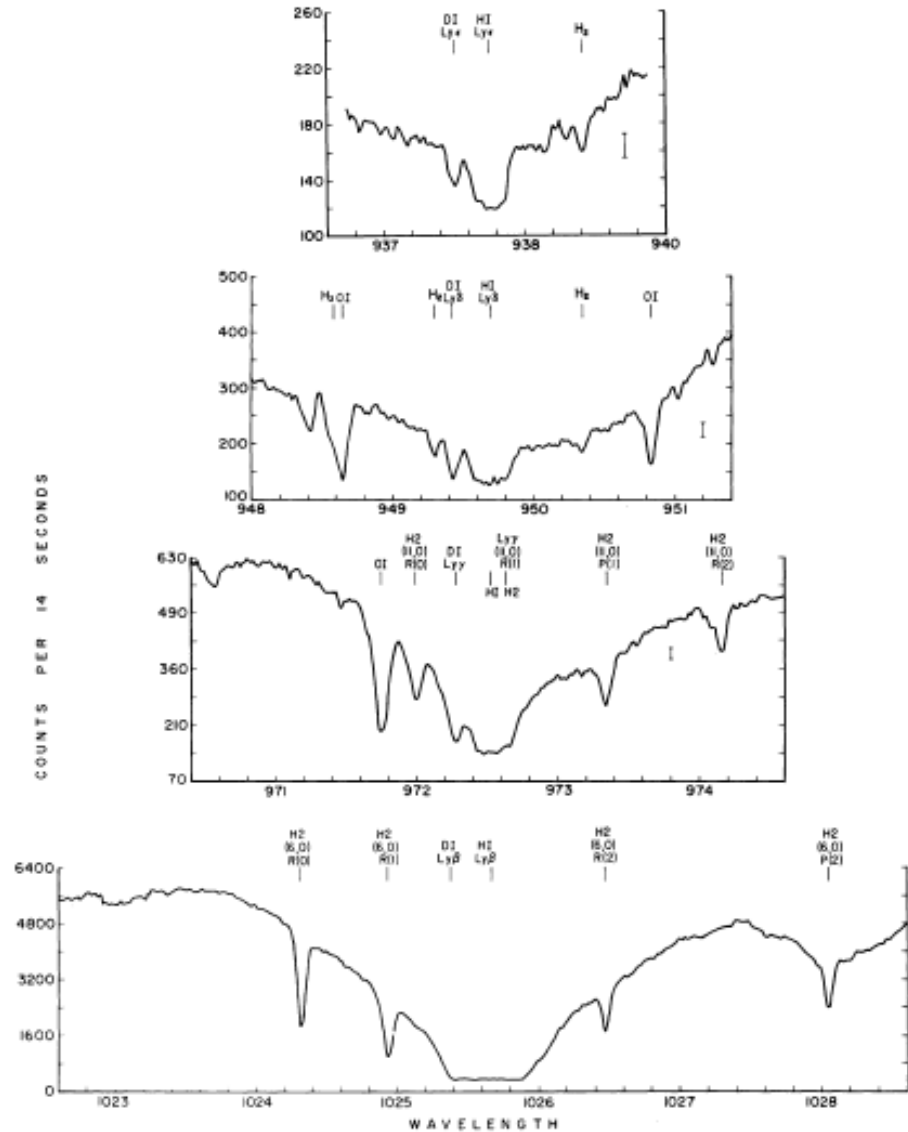
## **OA0-3 = Copernicus:**

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  $\gamma$  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

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

1973: Skylab

1975: Szozuz-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.



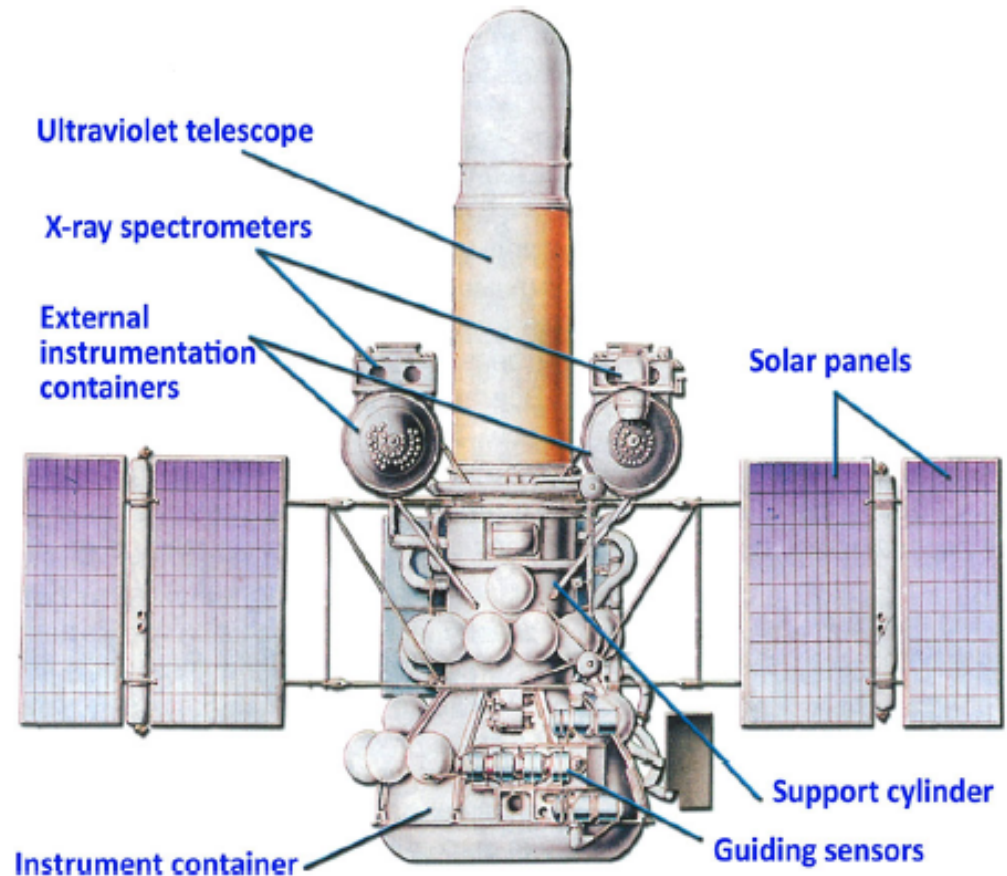
# Asztron

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  
különbéle típusú csillagról,  
30 galaxisról, több tucat  
ködről, néhány üstökösről.

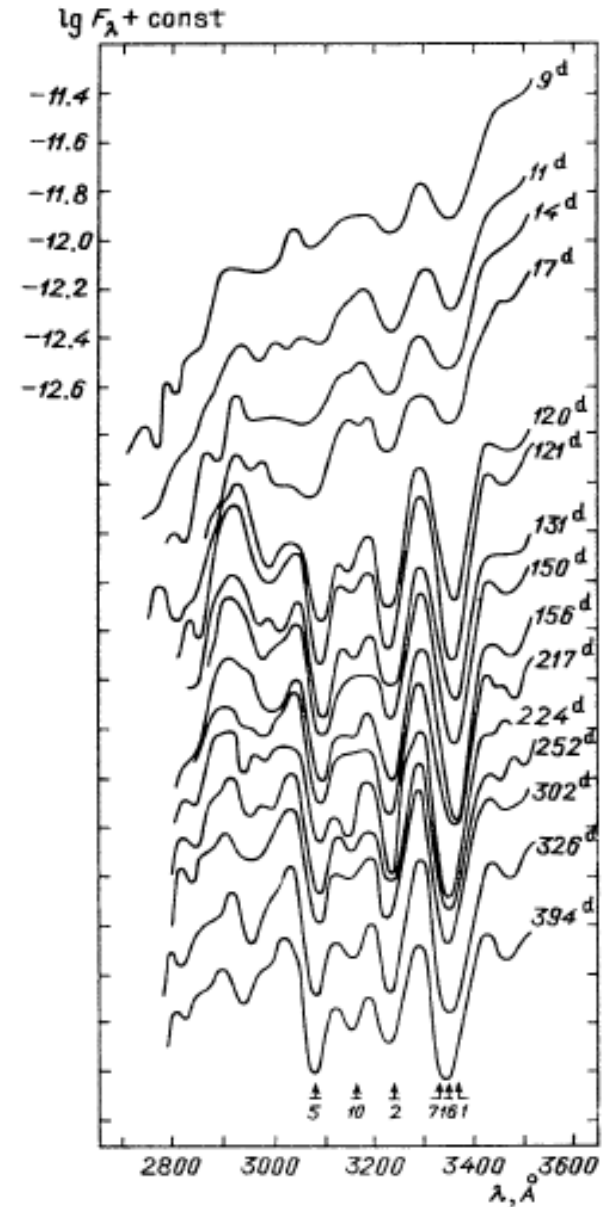
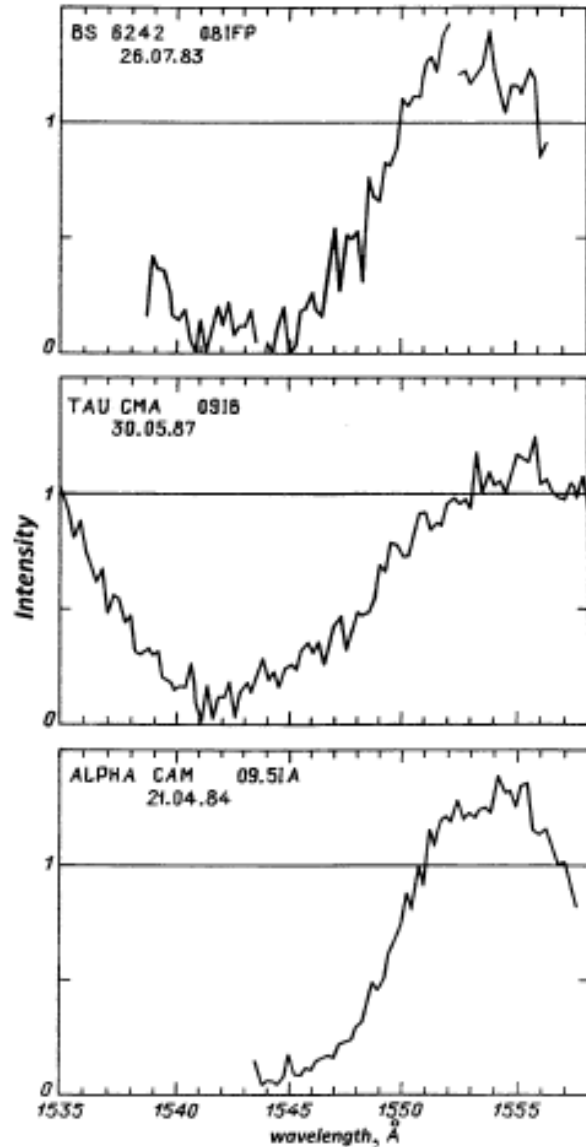
A Halley-üstökös  
tömegvesztése  
300 megatonna minden  
napközelen; még  
300000 évig marad  
üstökös.



# Asztron

Jobbra: az  
SN1987A  
UVspektruma

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 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.

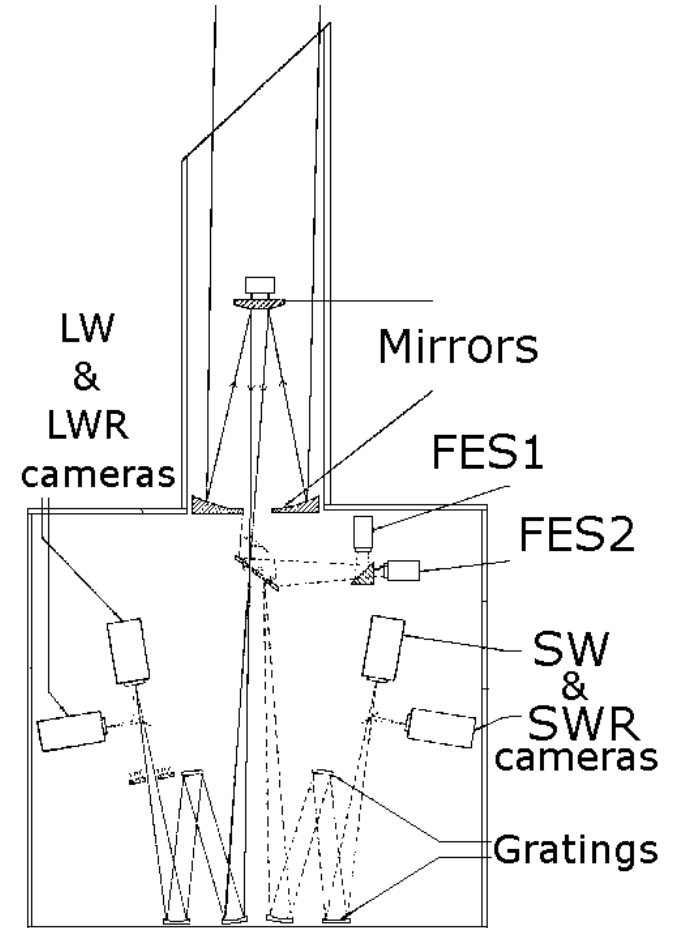
A HST előtt a leghosszabb ideig működő csillagászati űrszonda volt (további működésre is képes). Csak színeképek (104470), végleges formában archiválva, szabadon hozzáférhetők.

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  $40^\circ$ -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 hatásának vizsgálata a csillag spektrumára.

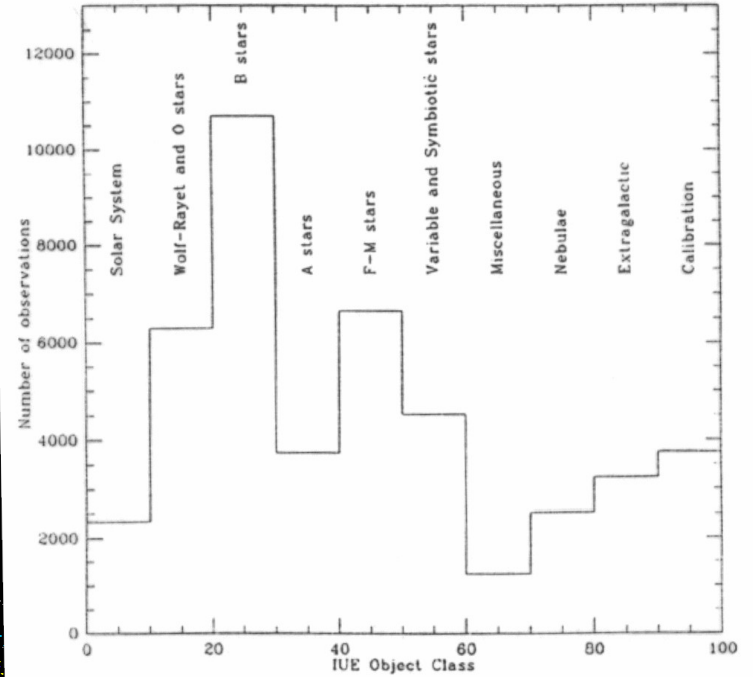
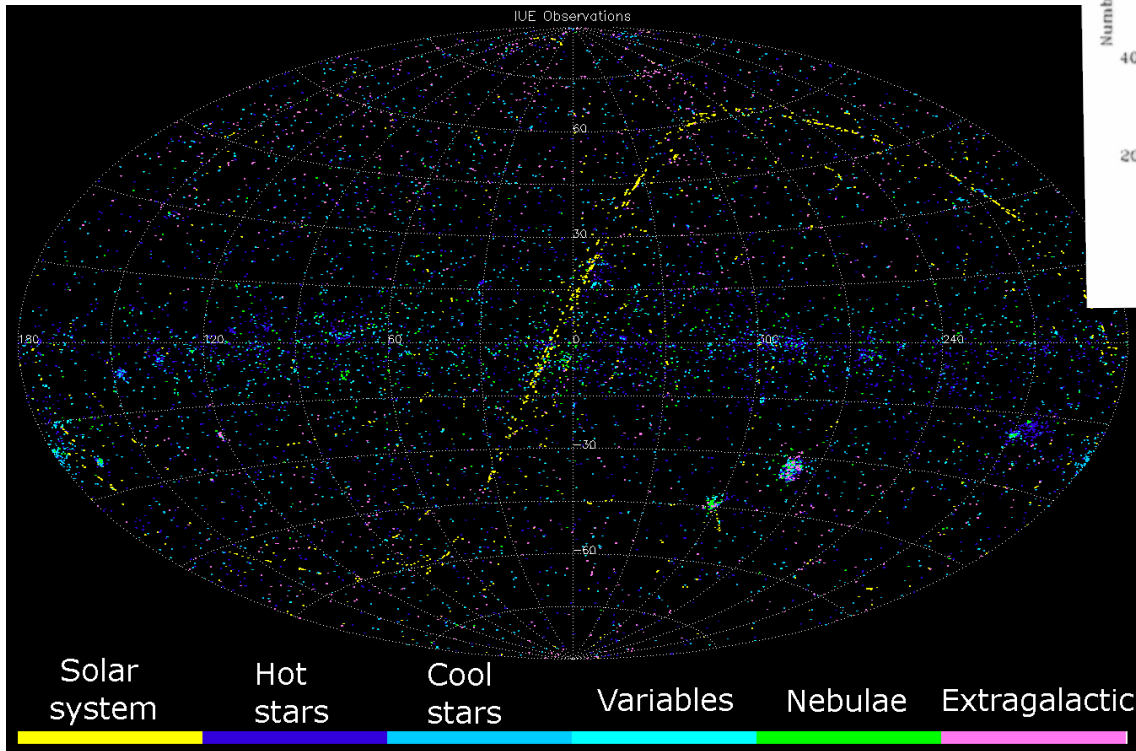
5 éves élettartamra tervezték. 6 giroszkópja közül 4 elromlott (1979, 1981, 1982, 1985). 1 giroszkóp és 2 FES helyzetérzékelő elég volt a stabilizálásra.

Az észlelési időre pályázni lehetett, 2 földi központból (GSFC, VilSpa), észlelés obszervatóriumi üzemmódban (egy objektumra max. 16 óra folyamatos expozíció).

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

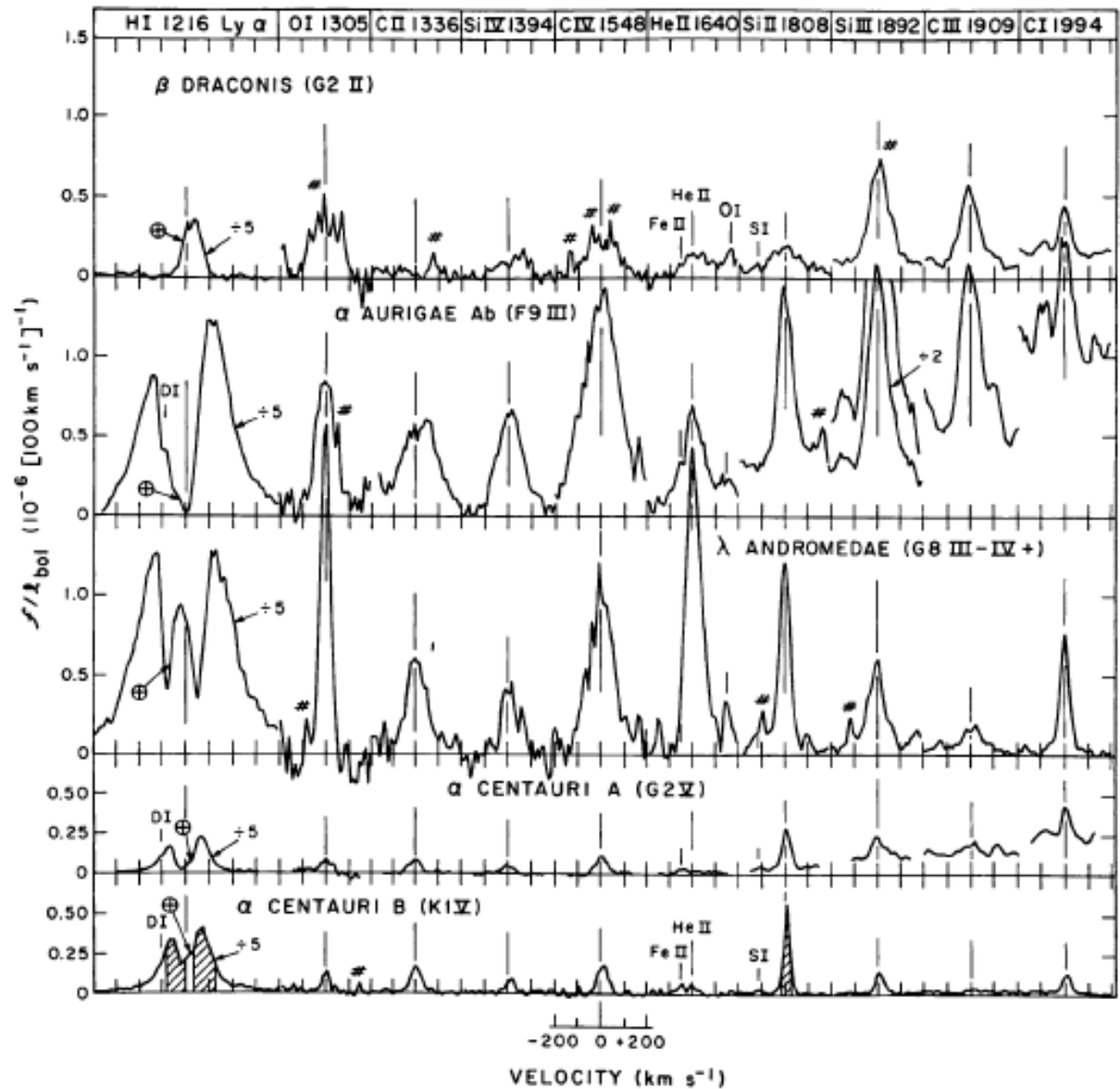
Az utolsó évben már csak az ESA észlelőállomása működött (a hosszú élettartam előnyei és hátrányai).

# IUE



# IUE

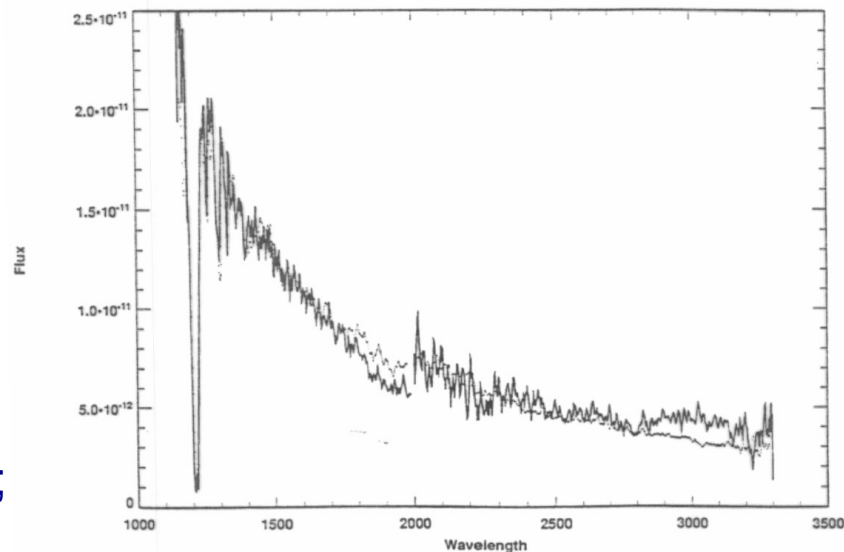
hideg csillagok  
IUE-színképe





# Az IUE fontosabb eredményeiből

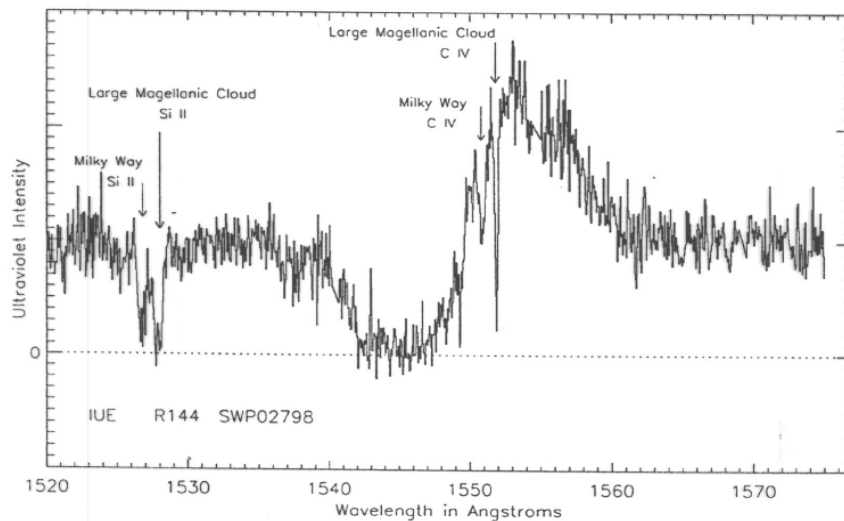
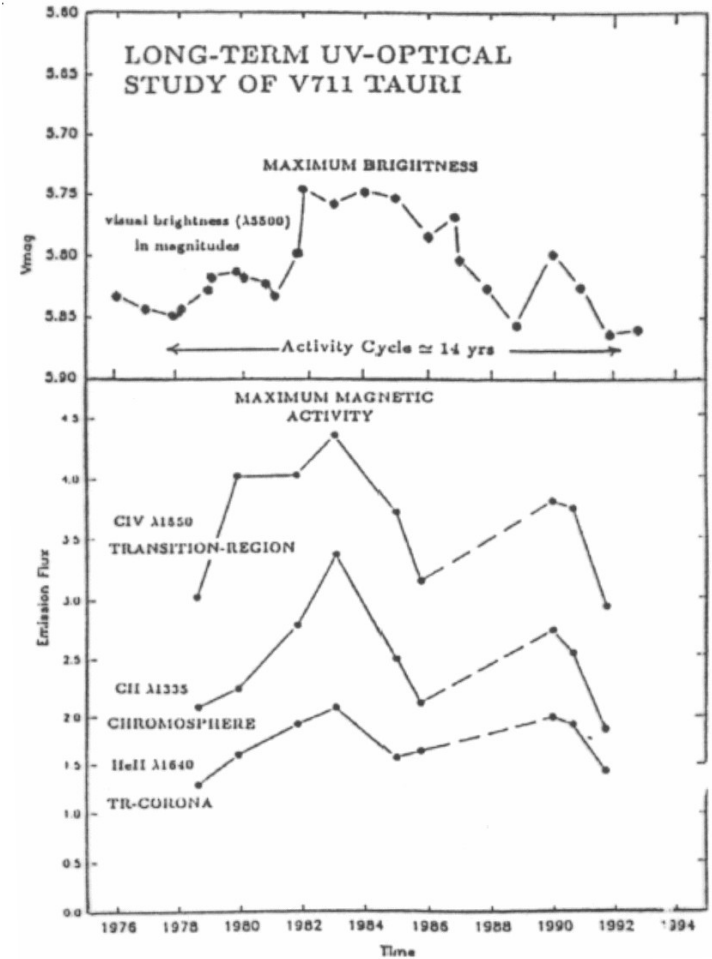
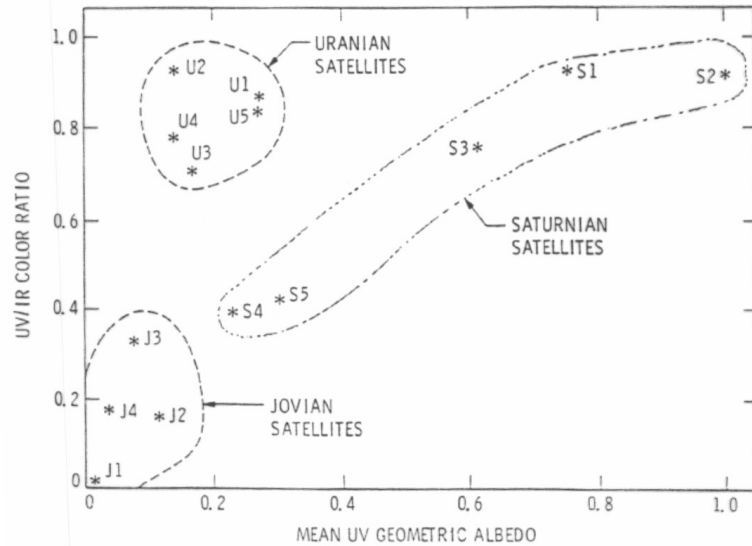
- A Jupiter aurórájának felfedezése;
- Üstökösökben a kén első kimutatása;
- Üstökösök vízvesztésének első meghatározása (10 tonna/s);
- WR-csillagok tömegének meghatározása a kettősség alapján;
- Cefeidák forró kísérei első detektálása;
- Szupernóva előcsillagának első azonosítása (14 órával a felfedezés 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 $\alpha$ -erdővel (távoliaknál már nem UV-be esik a Ly $\alpha$ -erdő)
- A lokális intersztelláris anyag eloszlása erősen inhomogén, bizonyos látóirányok mentén egészen kis sűrűségű (EUV-ban lehet észlelni a közeli forró csillagokat).



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



# 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

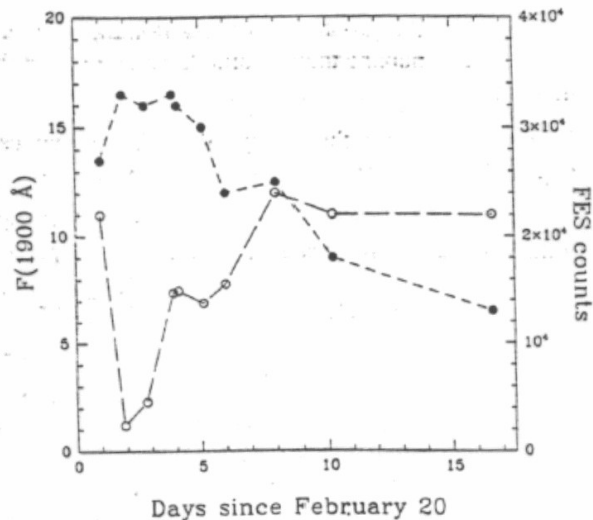
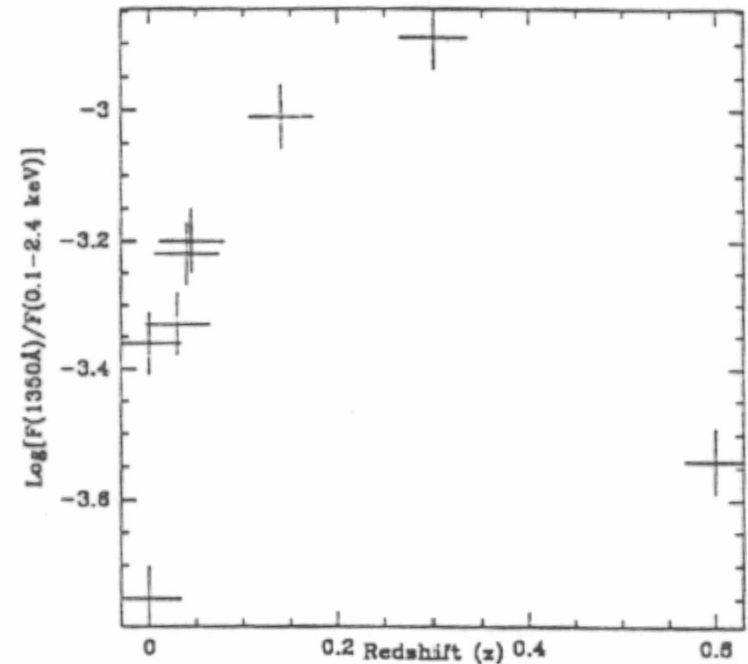


Figure 7. The light curves of Nova Cygni 1992 at 190nm (open circles) and at 550nm (filled circles; IUE-FES). This Nova was discovered before maximum and the fast response of IUE has made it possible to make UV observations before optical maximum. The steep drop in the ultraviolet with sharp rise after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



UVIX-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. 2-18. (naptevékenységi minimum idején)

- UIT: képalkotó távcső;
- HUT (Hopkins UV Telescope): 90 cm  $\varnothing$  + 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 utal a tömegvesztés mechanizmusára;
- 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

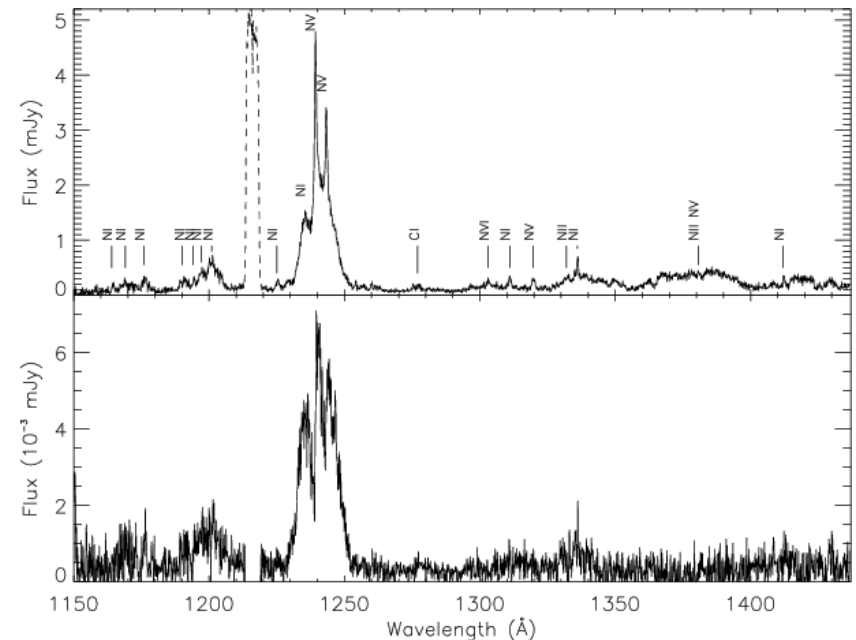
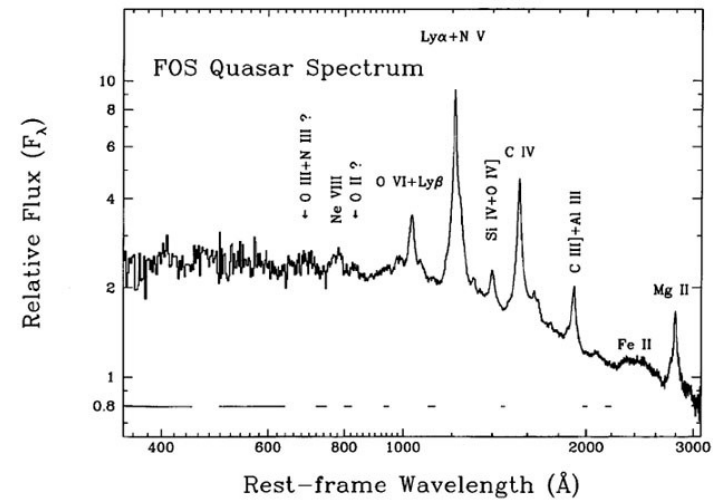
FOS (kis és közepes felbontás,  $R=250$  és  $1300$ ): 115-550 nm, 165-850 nm, kiterjedt forrásokról ívmásodperc alatti szögfelbontást ért el.

GHR (  $R=80000$  ): 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- $\alpha$ -erdő, forró intergalaktikus anyag).

A HST UV csillagászati jelentőségét nem lehet eléggé hangsúlyozni.



# A HST is észlel(t) ultraibolyában

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

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

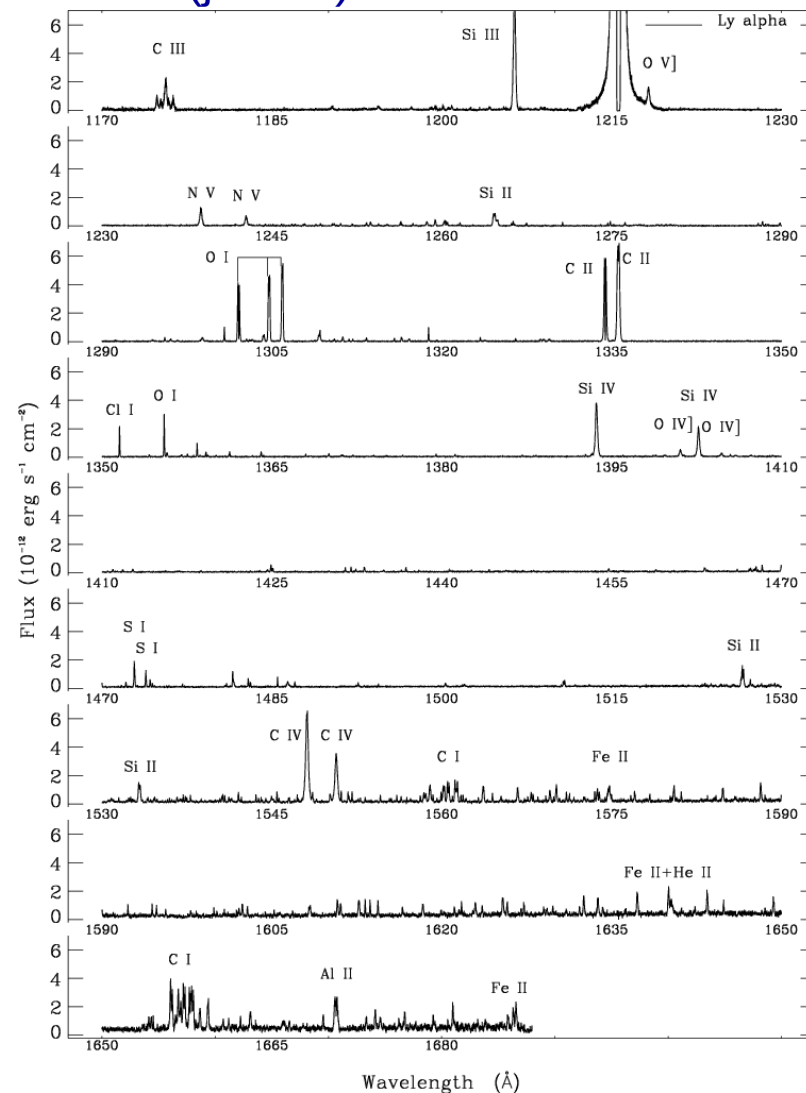
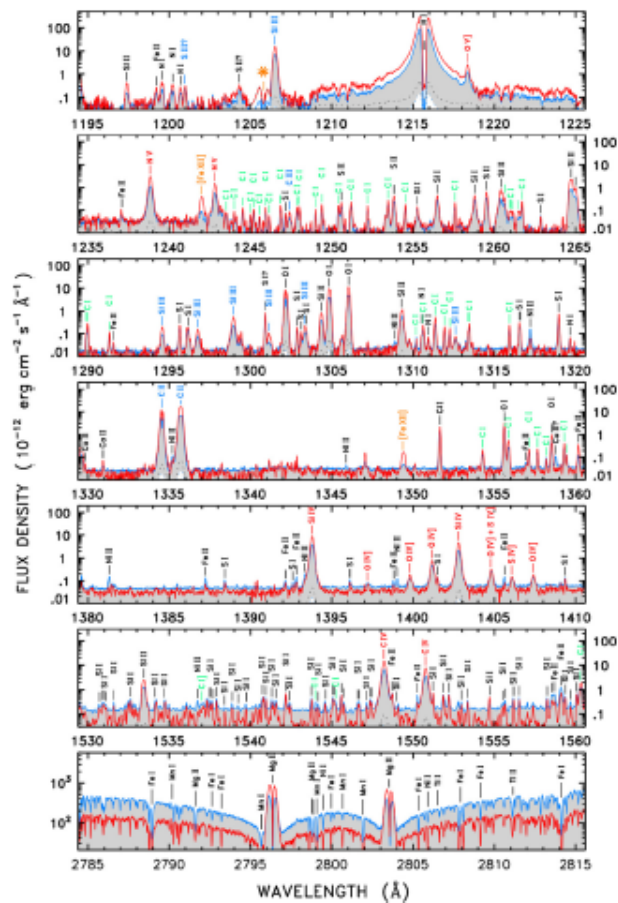


Fig. 16 COS spectrum of  $\alpha$  Cen A (blue outline) and  $\alpha$  Cen B (red out-

# A HST és IUE színeképének összehasonlítása

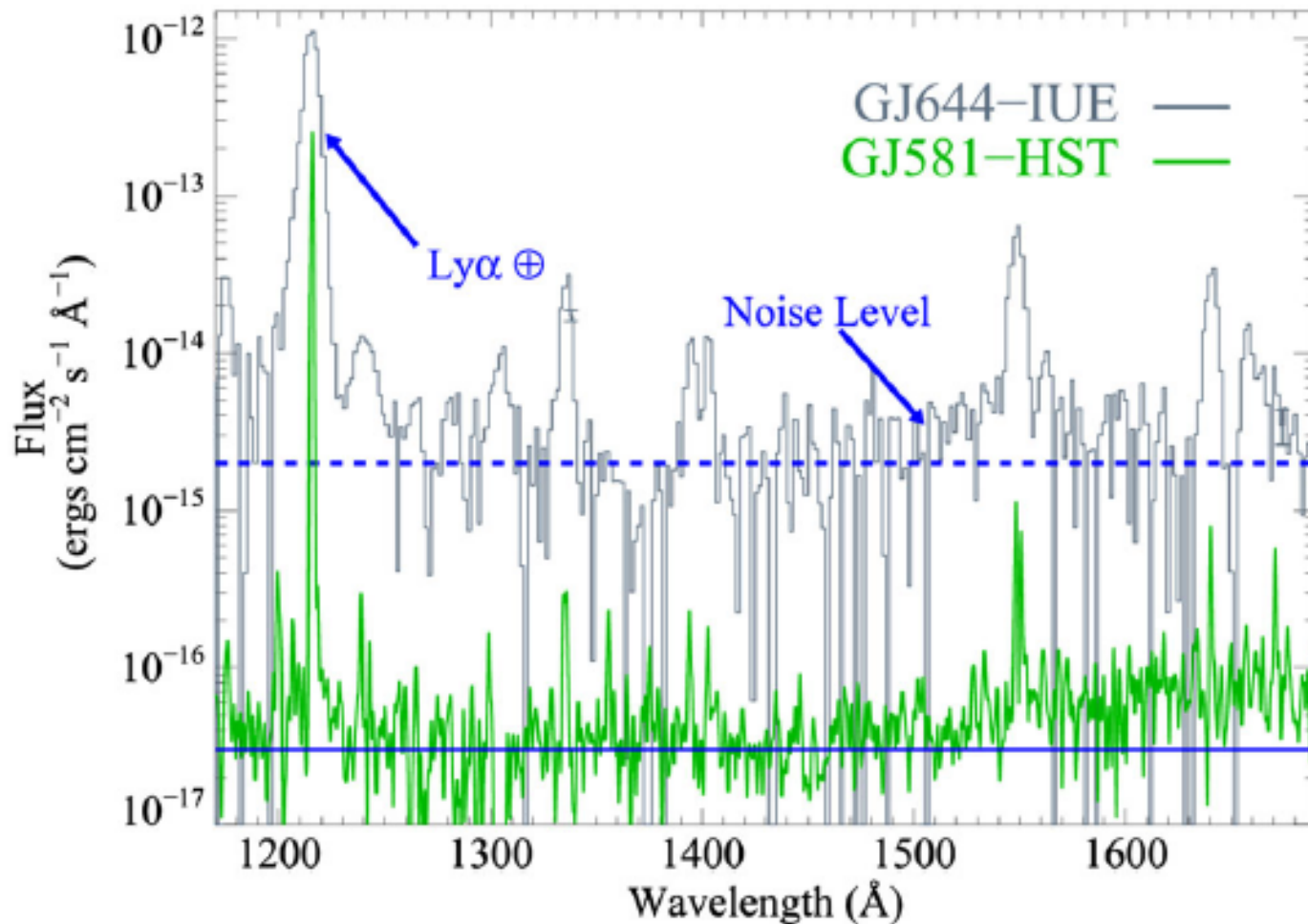


Fig. 17 Comparison of IUE and COS

# 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 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
	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 őssanyaga);
- 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).

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. októberig 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

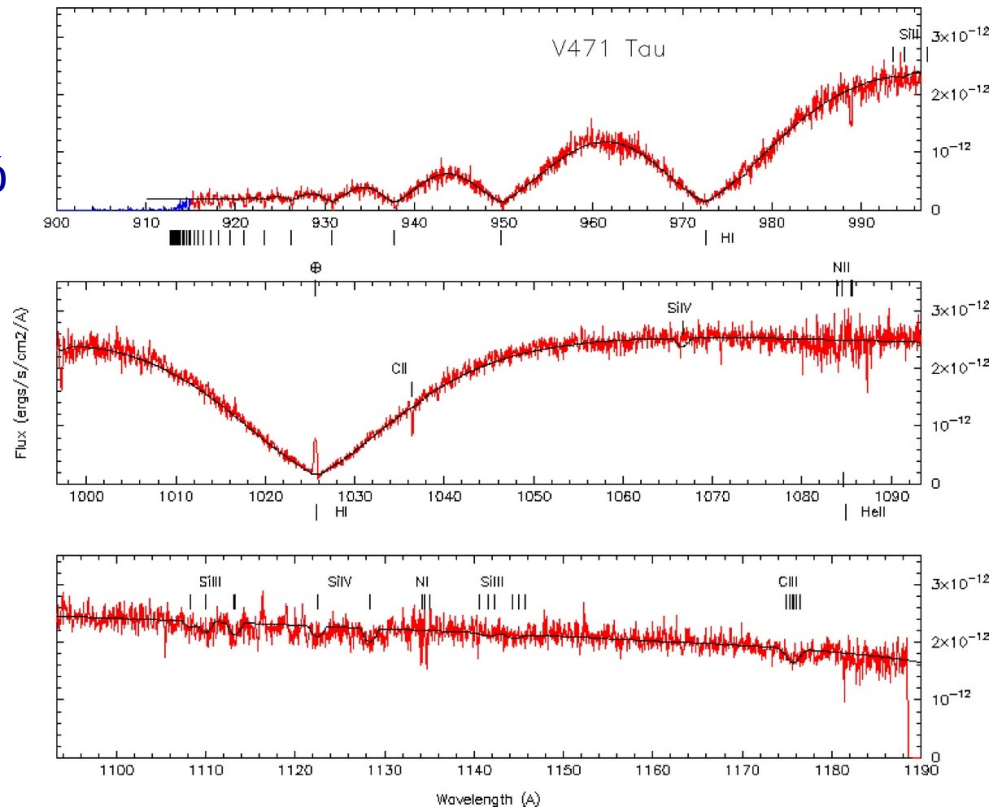
Detektor: mikrocsatornás lemez;

$R=30000$ -es felbontású színeképek.

A Ly- $\alpha$  (121,6 nm) kivételével a

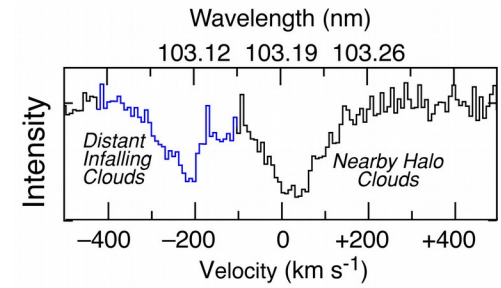
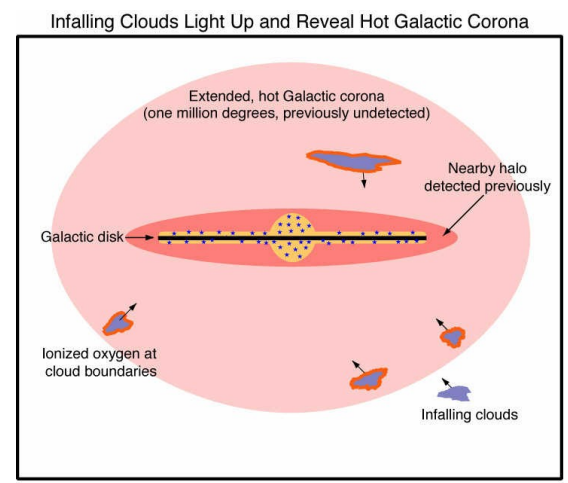
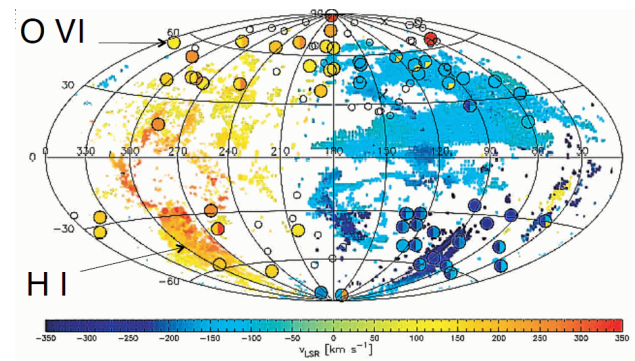
HI és DI teljes Ly-sorozata

(Lyman-ugrás: 91,2 nm).



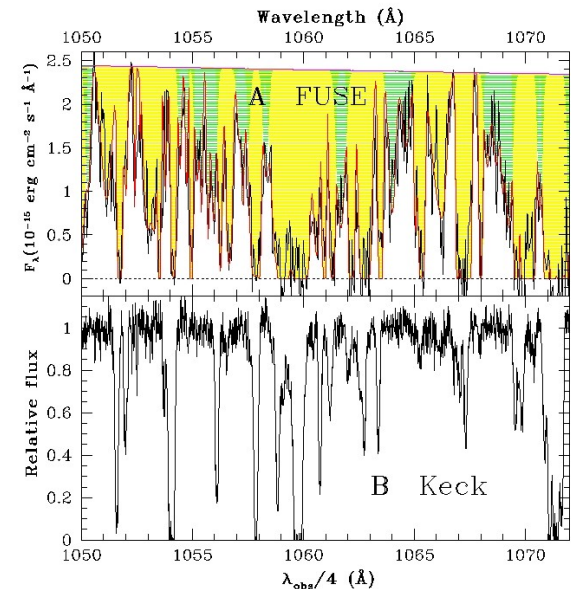
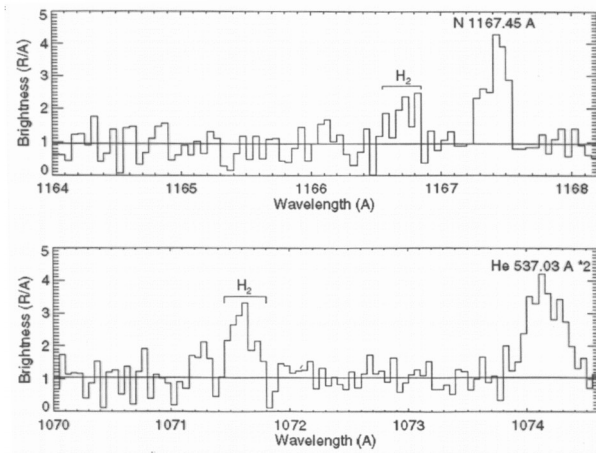
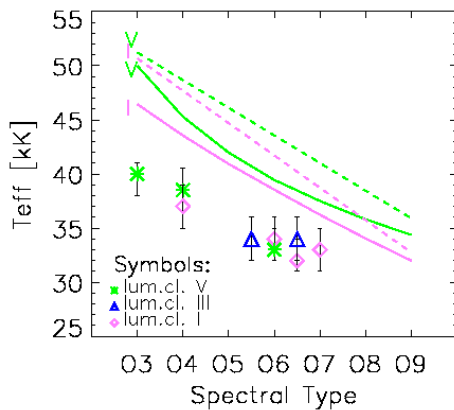
# Főbb eredmények a FUSE-zal

- 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);
- FK Comae forgása 200-szor gyorsabb, mint a Napé; 2 egybeolvadó csillag, a koronaszél lassan csökkenti az impulzusnyomatékot, ezzel a csillag forgását (2005);



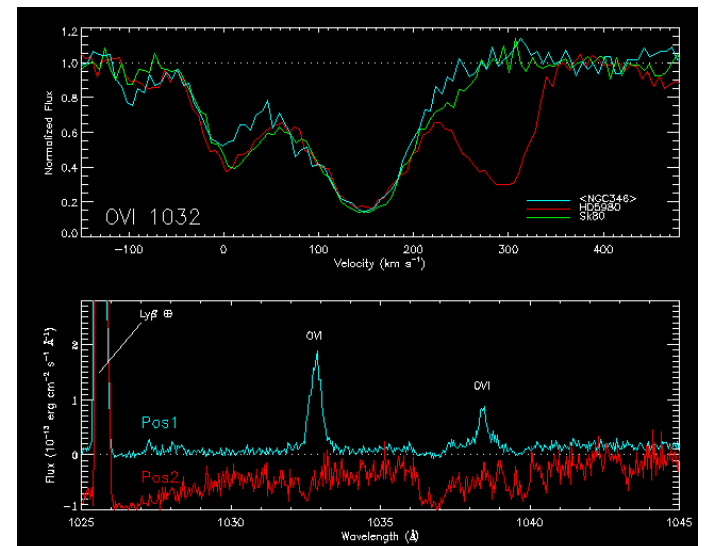
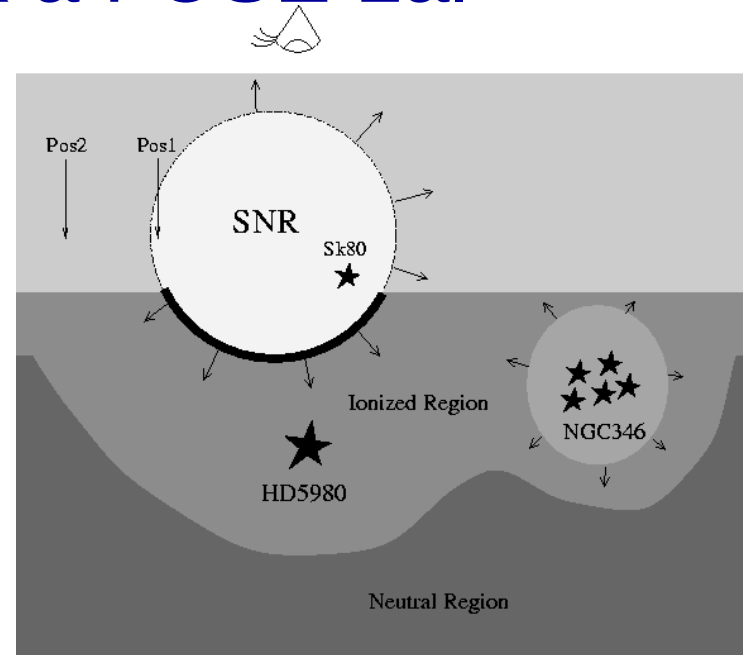
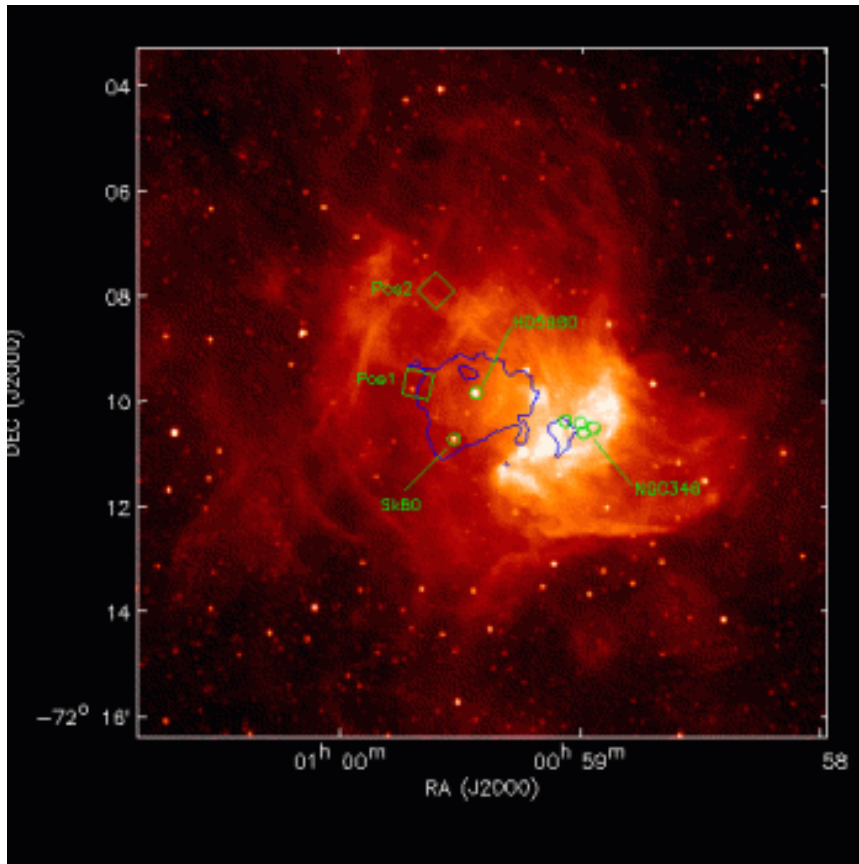
# Főbb eredmények a FUSE-zal

- 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 T esetén érhető el a csillagszélben megfigyelt ionizációs egyensúly);
- A Mars légkörében H<sub>2</sub>-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.





# GALEX (Galaxy Evolution Explorer)

A SMEX program része (NASA + Korea + Fr.)  
2003. IV. 28-án repülőgépről kilőtt rakéta vitte  
LEO-pályára (690 km). 38 hónapos missziót  
terveztek, és 3-szori hosszabbítás után 2013.  
júniusban kapcsolták ki.

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

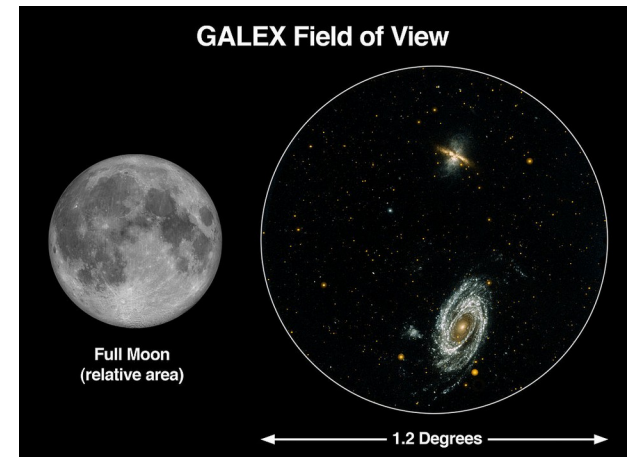
50 cm-es RC-távcső (Al-bevonatú Si-üveg);  
1,25° átmérőjű látómező (>500-szor nagyobb,  
mint a HST műszereié); a nyalábot kettősen  
törő optikával bontották ketté. A nyalábosztóval  
egyszerre vizsgálható a FUV (134-179 nm) és  
a NUV (177-283 nm) tartomány.

Négyféle észlelési lehetőség: FUV- és NUV-  
képképzés, FUV- és NUV-spektroszkópia.

FUV: mikrocsatornás lemez a detektor (a  
légkörfény vonalait [OI 130,4, 135,6 nm, Ly- $\alpha$ ]  
szűrővel kivágják); NUV: CsTe fotodetektor.

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

A FUV detektor 2009 májusában elromlott, attól  
kezdve már csak NUV-mérések.



# GALEX

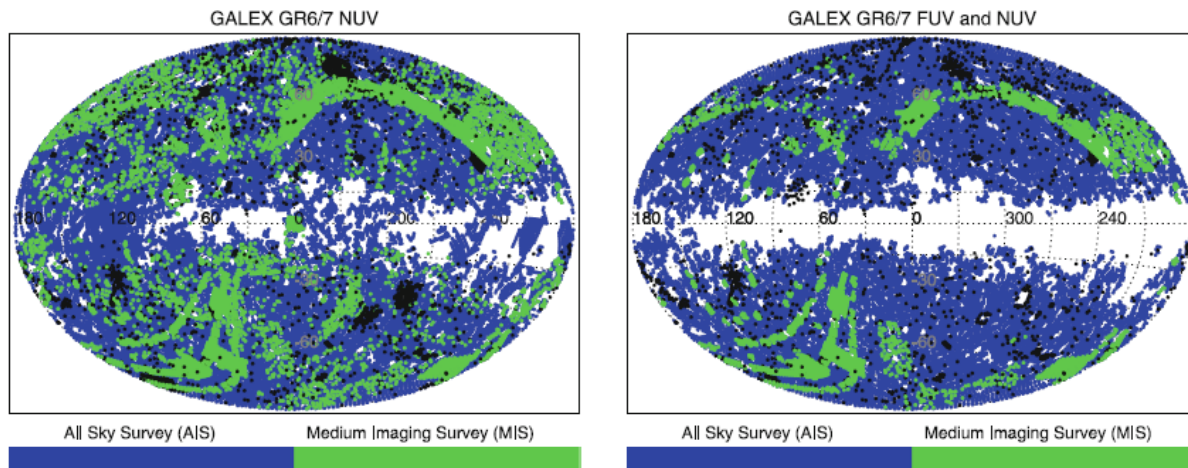
Kitűzött feladatok: Teljes égfelmérés UV-ben; 150 galaxisban a csillagkeletkezés vizsgálata; nagy látószögű spektroszkópia a teljes égről; kisebb tartományokról részletesebb spektroszkópia; mélyvizsgálatok galaxisokról (monokromatikus kép és spektroszkópia is).

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<sup>m</sup>-ig színeképek ( $S/N \approx 10$ );
- MSS (Medium Spectr. Survey): minden DIS-mező közepéről 23<sup>m</sup>-ig (300 ks);
- DSS (Deep Spectroscopic Survey): 2 négyzetfokról 24 magnitúdóig.
- GI (Guest Investigator program): pályázható észlelési idő.

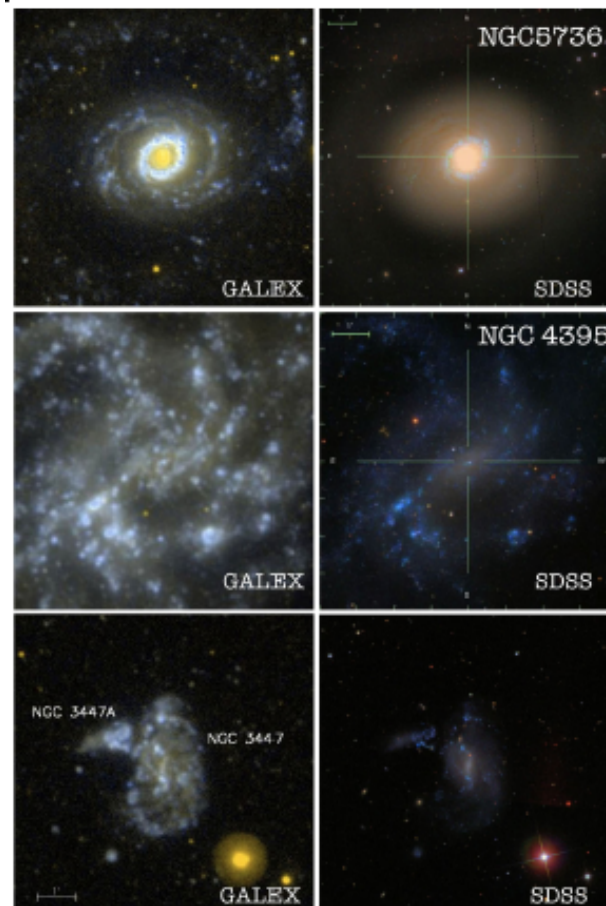


# GALEX



**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

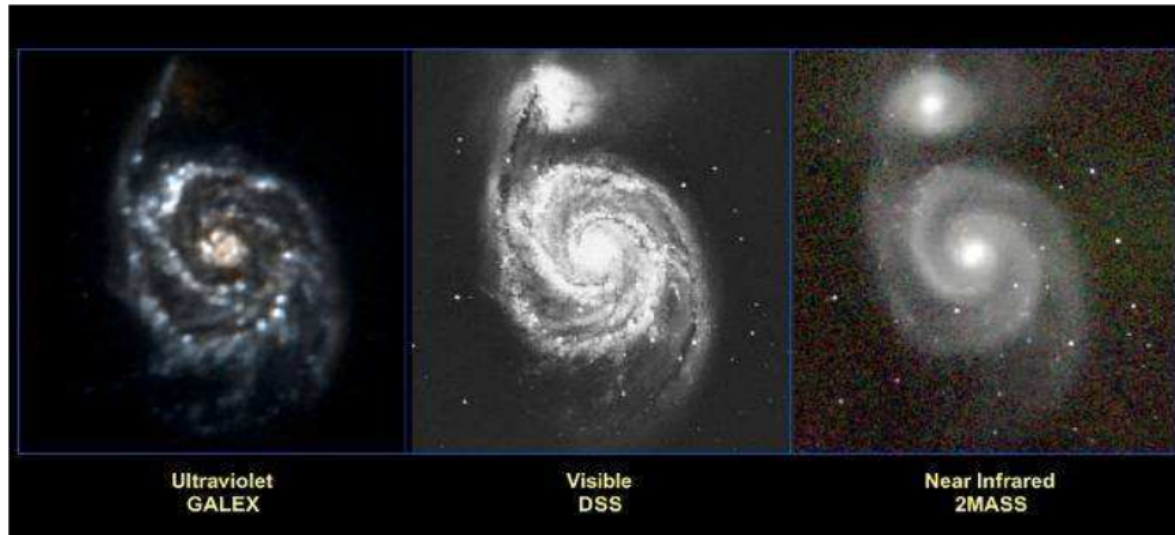
observations at the end of the mission are not shown. *Left*: fields observed with at least the NUV detector on; *right*: fields observed with both FUV and NUV detectors on. The latter constitute the BCScat's



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): a Tejútrendszer fősíkja, Magellán-felhők

# GALEX



A GALEX kiemeli a  
csillagképződést.

A GALEX-adatok  
elérhetősége:

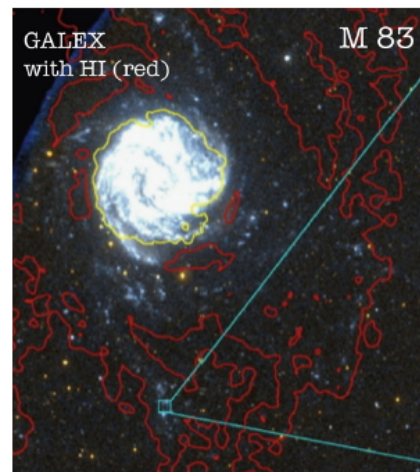
<http://galex-stsci.edu>



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

- 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);
- 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 ABm-nál fényesebb, amplitúdó:  $>0,6$  m (NUV),  $>0,4$  m (FUV). Közülük 7000-re 30-nál több mérés van.

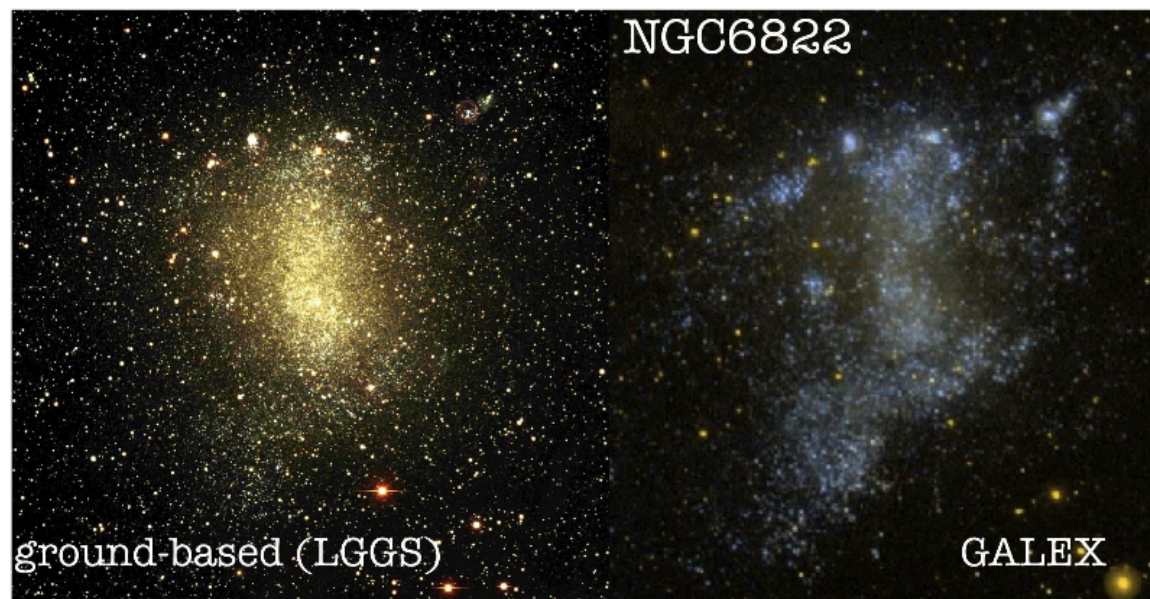


Fig. 3 GALEX images (FUV: blue, NUV: yellow) and optical color-composite images of NG

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.

# GALEX-eredmények

A 104 négyzetfokos Kepler-mező részletes mélyvizsgálata 22,6 magnitúdóig: 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

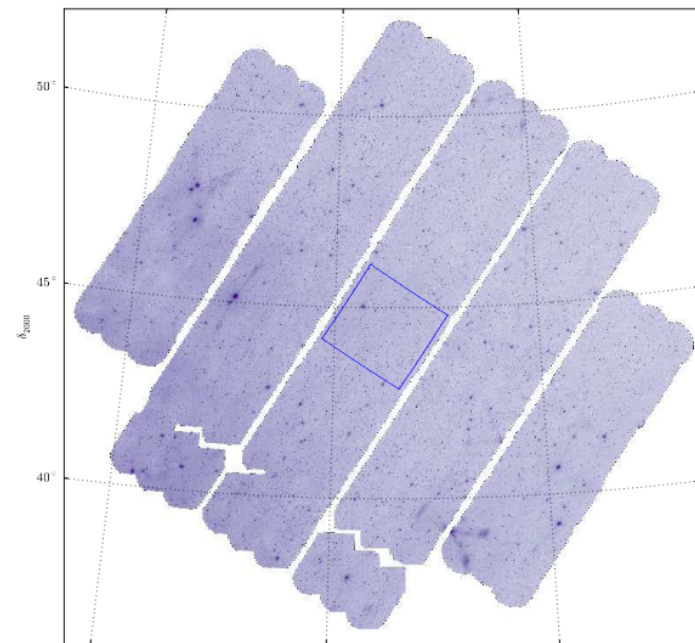
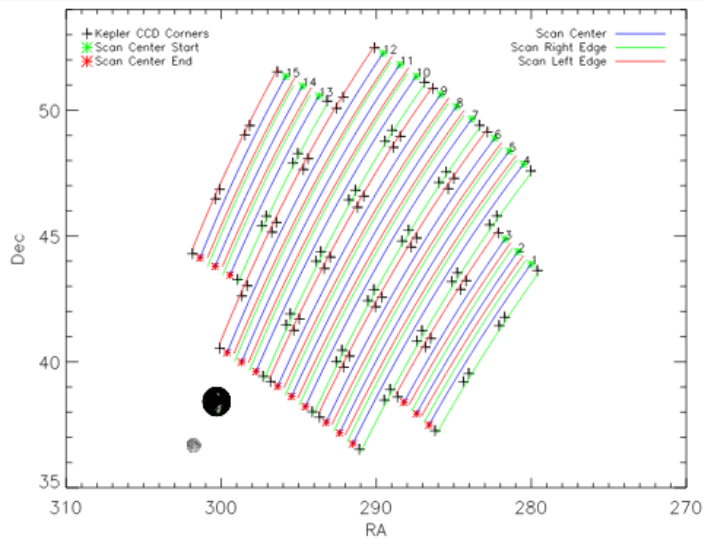
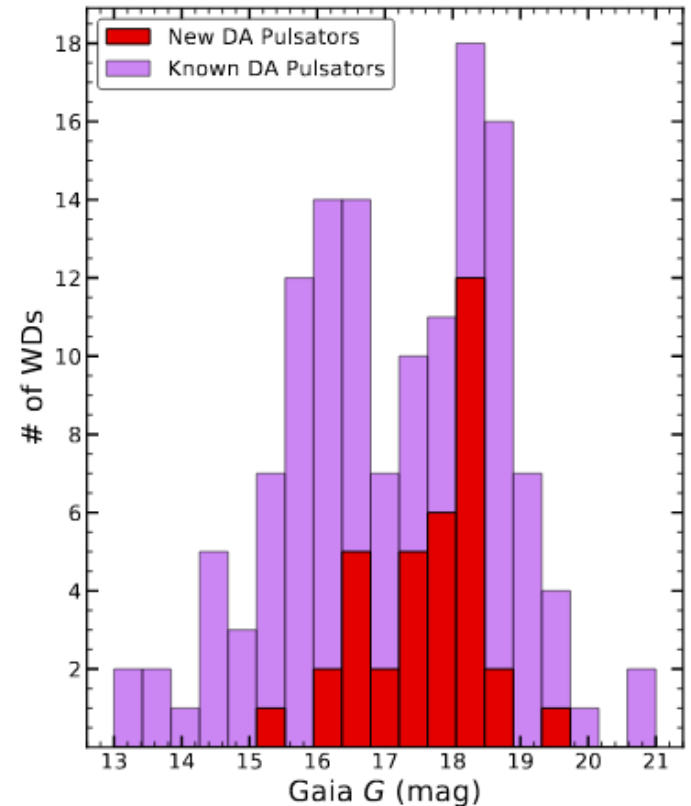
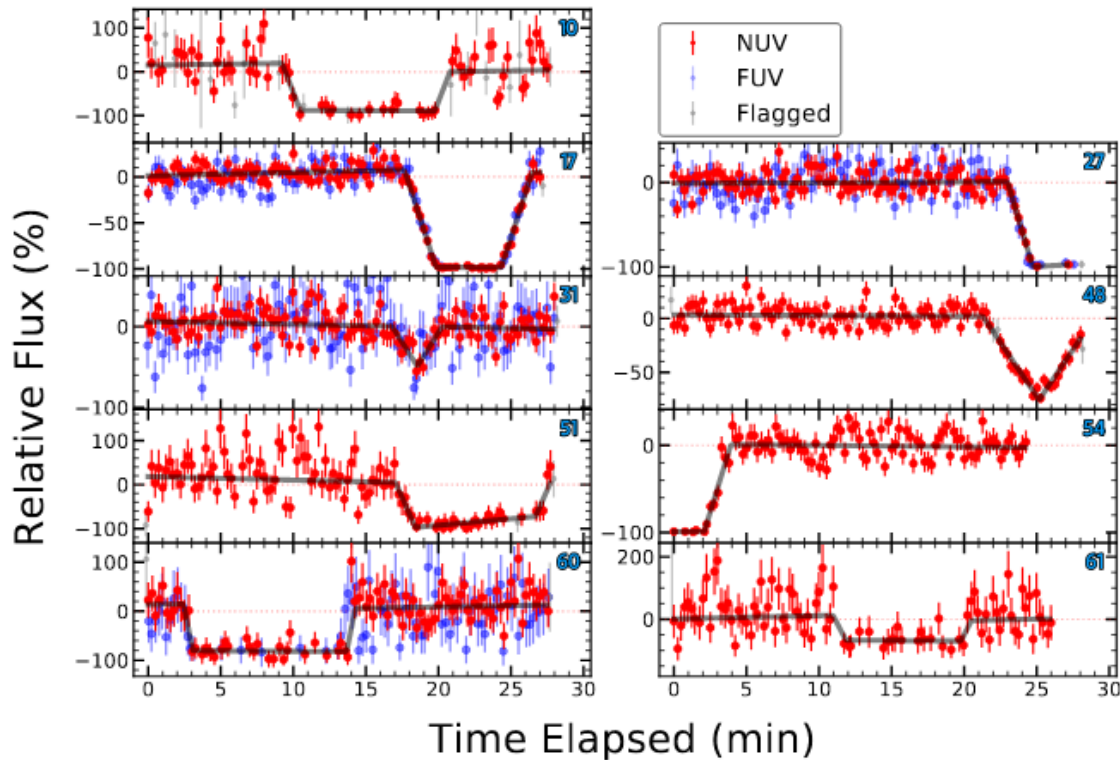


FIG. 1.— Scan mode observations of GCK survey covering the *Kepler* field. The field of view of *GALEX* and a full moon are shown for comparison. The numbers on the upper right edges correspond to the scan numbers. The plus symbols corresponds to the edges of *Kepler* detectors.

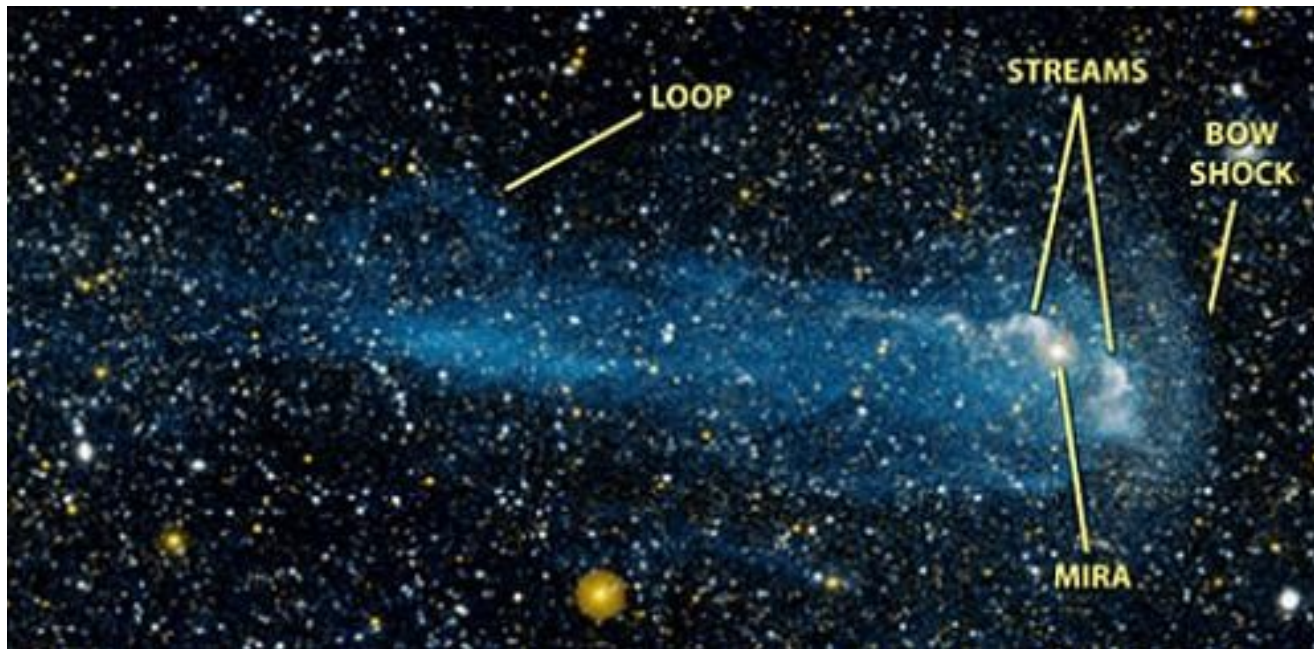
# GALEX-eredmények

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 csillagokról



Mira Ceti

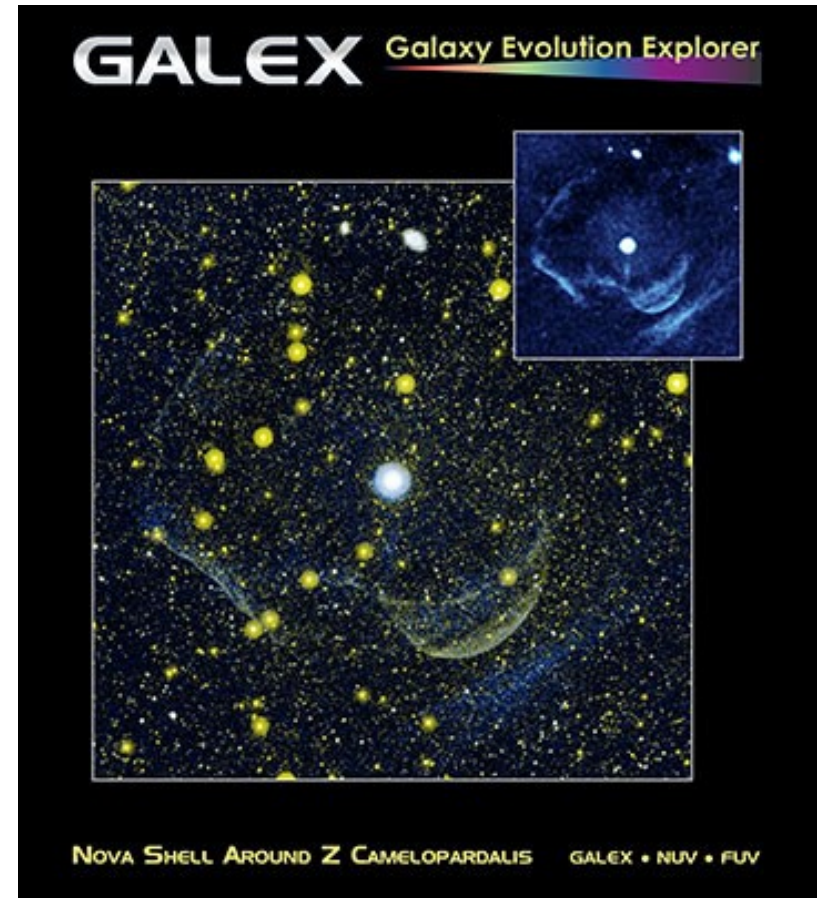




# GALEX-eredmények csillagokról

Burok a Z Cam körül

Cygnus-hurok



# 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). 2 sávban észlelt 90 és 175 nm között.

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.

# 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 28 ívperces látómezőről.

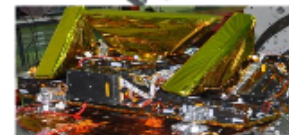
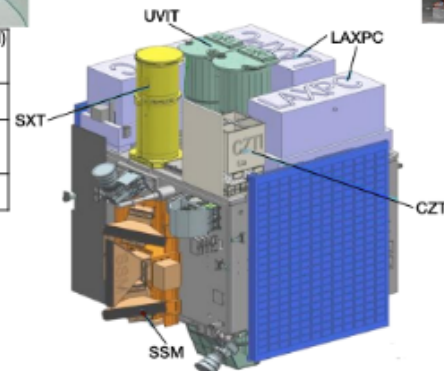


Detector	Photon-counting (Intensified) CMOS imagers
Optics	Twin Ritchie Chretien 2 mirror system
Bandwidth	130-180 nm 200-300 nm 320-550 nm
Angular Resolution	1.8 arc sec

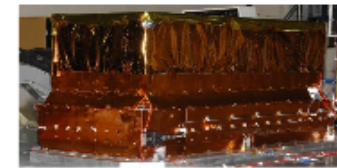


Detector	X-Ray CCD at the focal plane
Optics	Conical foil ( Wolter-I) Mirrors
Bandwidth	0.3 - 8 keV
Energy Resolution	2.34% @ 5.9 keV
Angular Resolution	2 arc min (HPD)

## 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 <sup>2</sup>



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

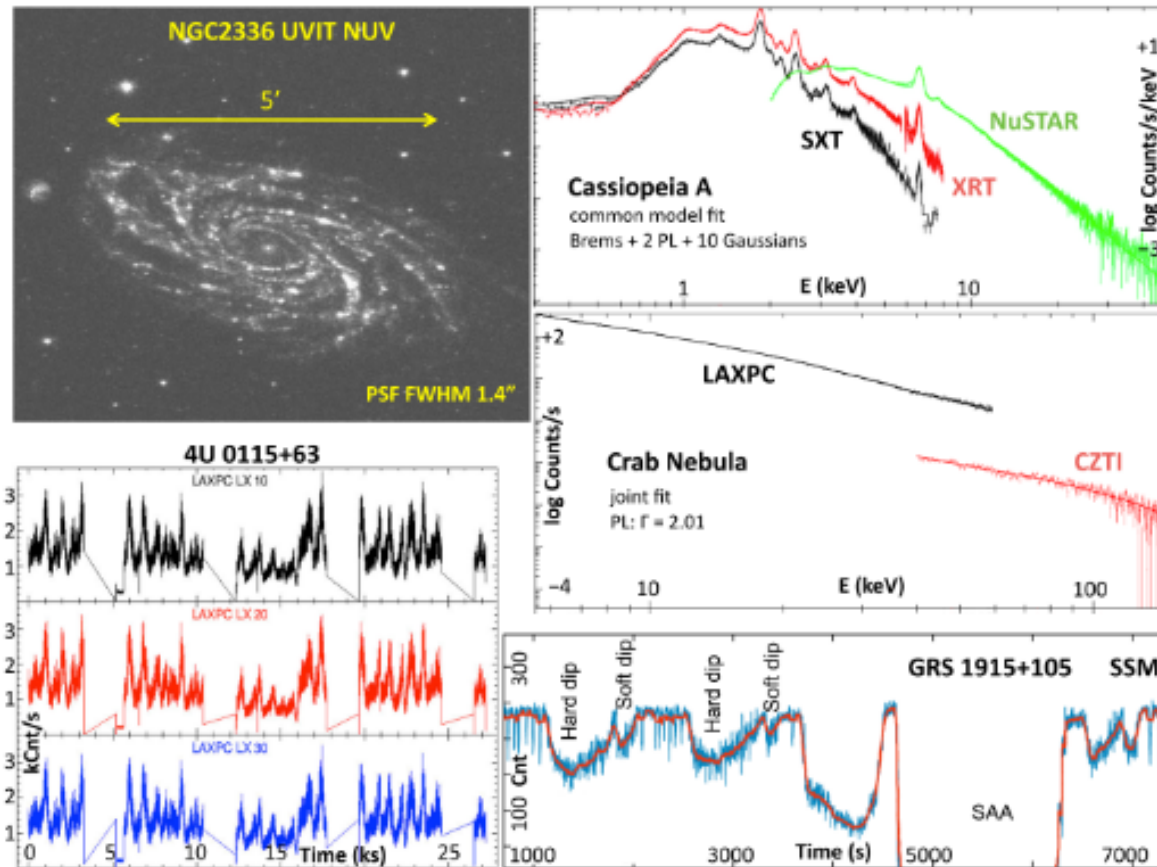


Figure 2: Top left: UVIT image of NGC 2336 in the NUV band, demonstrating very good angular resolution. Bottom left: Light curve of 4U0115+63 during outburst in the three units of LAXPC. Top Right: X-ray spectrum of Cas A with SXT which has a spectral resolution of 140 eV; the source was observed at 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/cm<sup>3</sup> 3 pc optikai mélységet okoz, 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, fotonszámoló EUV-detektor).

A millió fokos 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.

A **Szozuz-Apollo** (1975) fedélzetén kiderült, hogy van értelme az EUV-tartomány észlelésének: a Berkeley EUV-távcsővel diszkrét forrásokat találtak (30 kiválasztott csillagból), közeli fehér törpék, SS Cyg, Proxima (fler). Azóta ezernél több forrást azonosítottak.

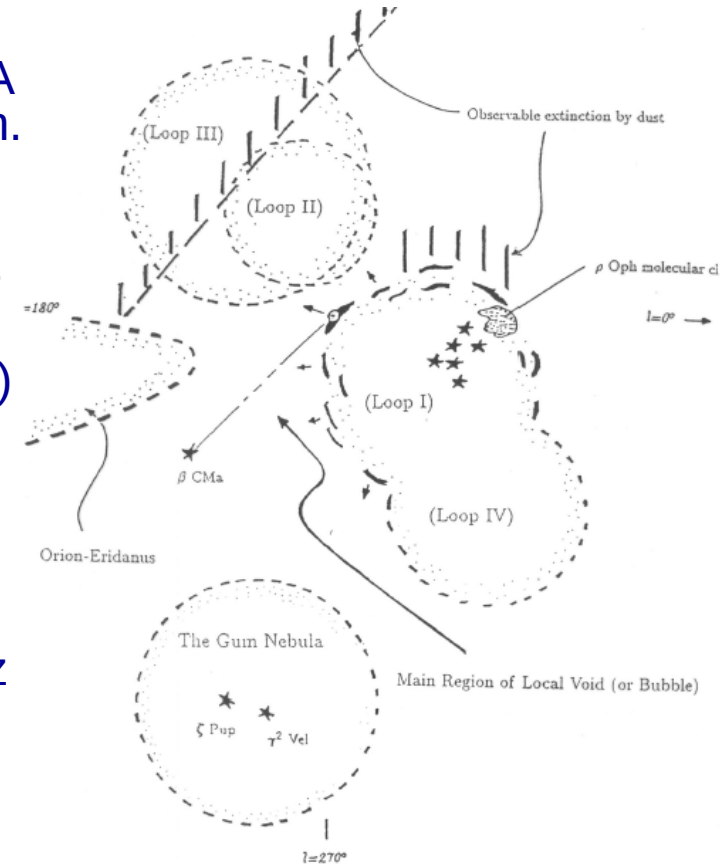


Fig. 2. Distribution of largescale shell structures in the LISM. The sizes and placement of the radi loops, Loops I-IV were determined from Speltra (1973). A portion of the Orion-Eridanus Complex as well as the Gum Nebula, are shown. The line-of-sight between the Sun and  $\beta$  CMa is depicted. This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

# EUV-missziók

**ROSAT:** 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.

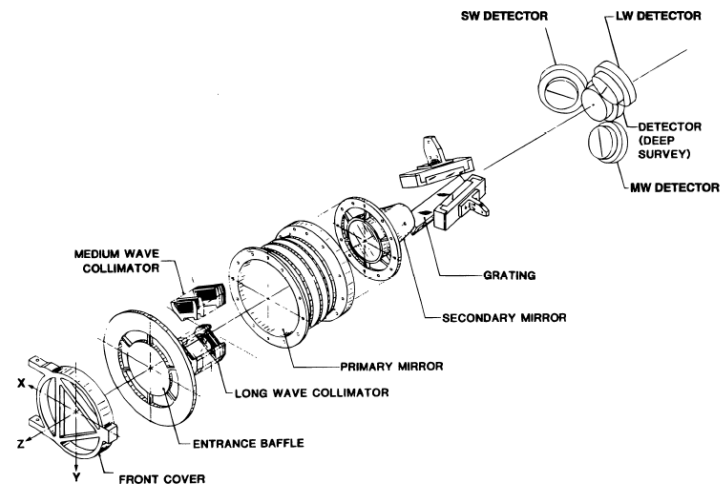
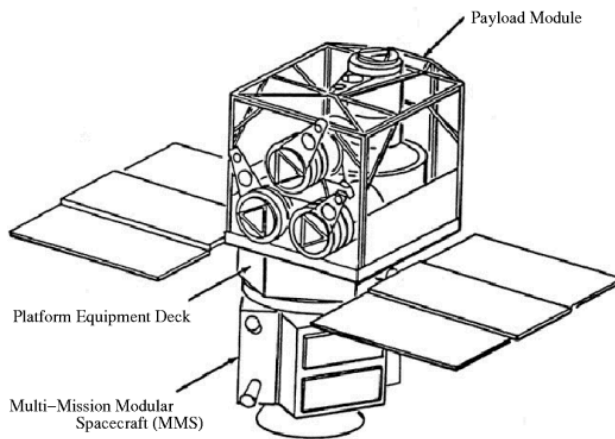
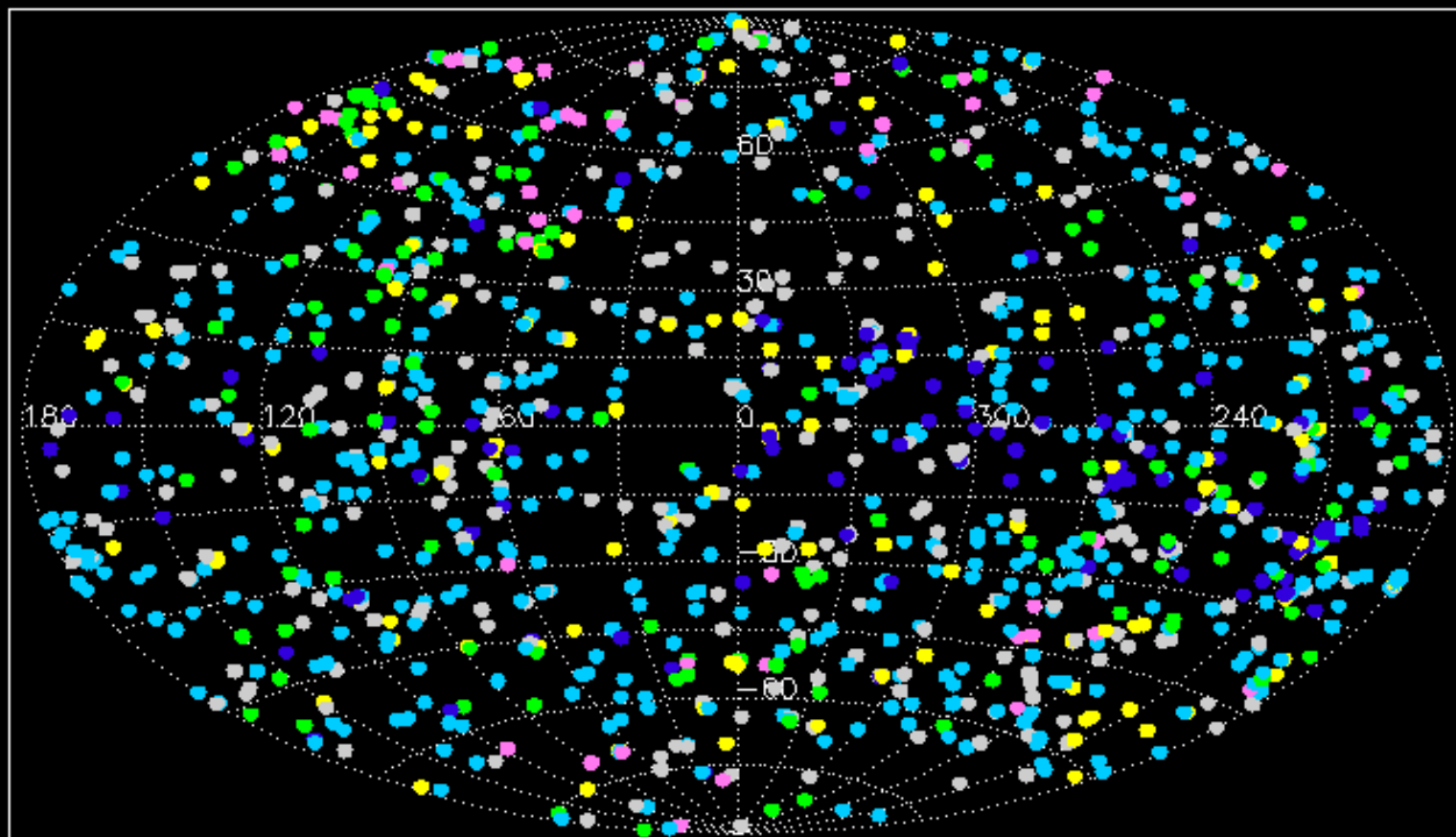


Figure 4: Schematic diagram of the EUVE payload, showing the all-sky survey scanners

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



# EUVE Photometric Detections



Other

Late Stars

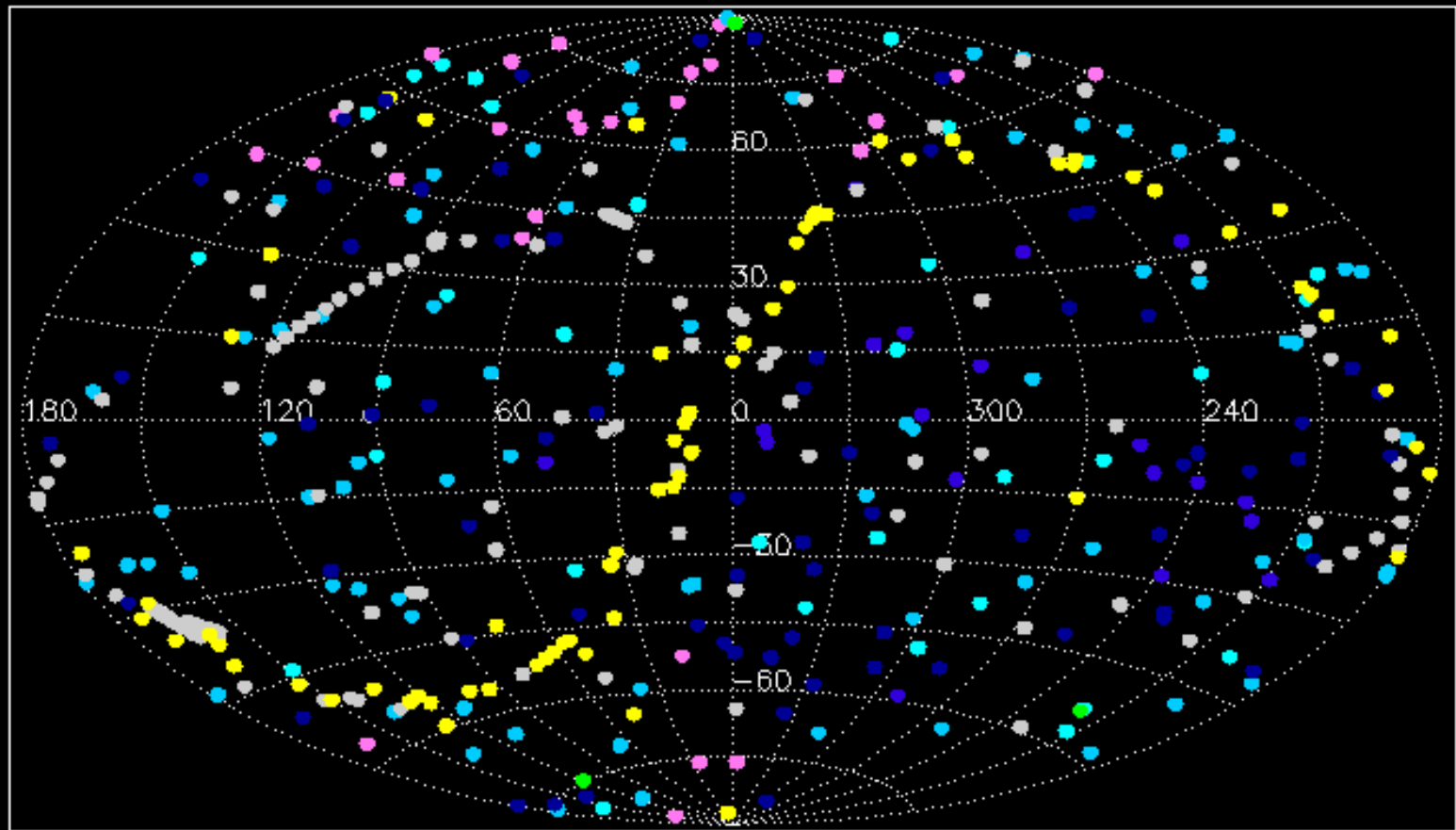
Extragalactic

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. A következő dián a Procyon EUV színeképe látható.

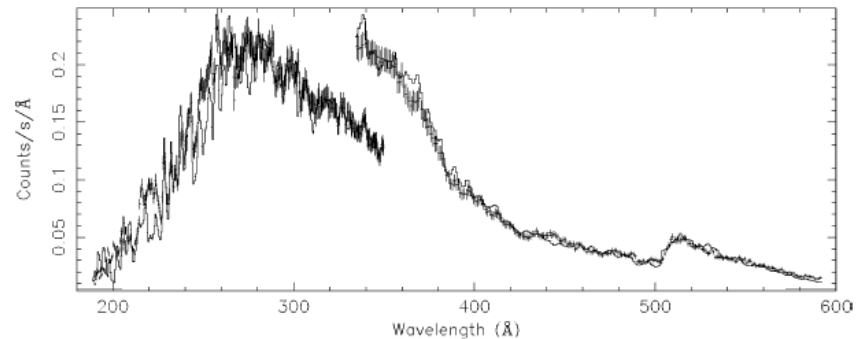


Figure 7: EUVE count spectrum of G191-B2B covering the wavelength range 180-600Å. The data points (error bars) are compared with the predictions of a non-LTE model atmosphere calculation including the effects of interstellar absorption (H I, He I and He I column densities are  $2.1 \times 10^{18}$ ,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

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 Iónál nem tapasztaltak új színképi jellegzetességeket, még a vonalak sem erősödtek fel, ami az Io-tórusz bizonyos modelljeit kizárta.

Az üstökösöknél EUV- és lágyröntgen-sugárzást tapasztaltak, ez teljes meglepetés volt (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 (végig átfedés a röntgencsillagászati eredményekkel): csillagkorona (a Nap analógiája), egyes koronavonalak észlelhetőek EUV-színképben. A kémiai összetétel eltér a fotoszférától. 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.

# EUVE-csillagászati eredmények

Korai csillagok: OB-csillagoknál az EUV sugárzás két oka: forró fotoszféra (hosszabb hullámhosszon) és a nagy sebességű csillagszél keltette lökés. Pl. a  $\beta$  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 populációnál csak 4%-nál mértek 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 20 galaxist talált a végső feldolgozás után. Az NGC 5548 (Seyfert 1) galaxisban rengeteg emissziós vonal van (NeVII, NeVIII, SiVII). Virgo- és Coma-halmaz is EUVE-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 a fedélzetén lágyröntgen-detektor 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<sup>2</sup> 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 (kataklimikus kettősök, flercsillagok)

Jól kiegészítette a ROSAT és az EUVE kutatási programját.



# CHIPS

Extrém-UV-misszió: CHIPS (Cosmic Hot Interstellar Plasma Spectrometer)  
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/cm<sup>2</sup>/s/szteradián várható legalább, de ahol sűrű a csillagközi anyag, ott 400 foton/cm<sup>2</sup>/s/szteradián is lehet.

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

# Swift

Gammaszonda, de az egyik műszere (UVOT, Ultraviolet and Optical Telescope) UV (és optikai) fotometriát végez.

30 cm-es távcsövének látómezeje  $17' \cdot 17'$ .

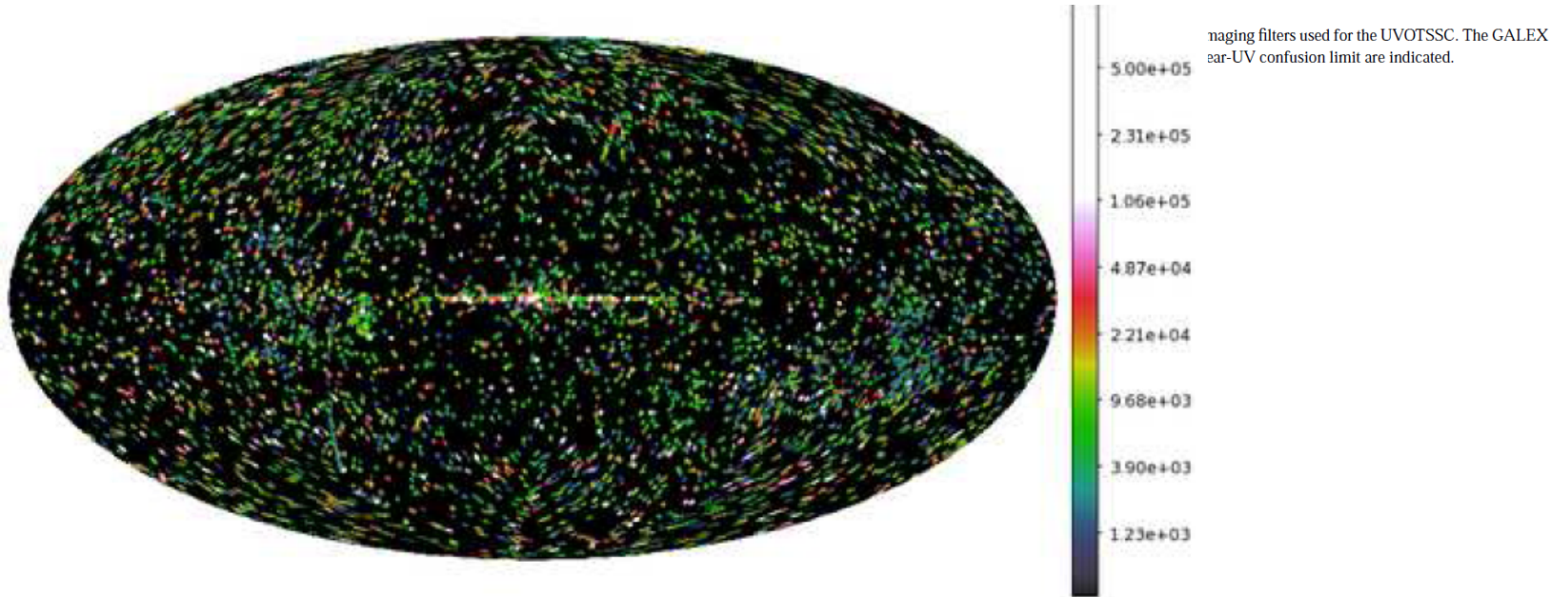
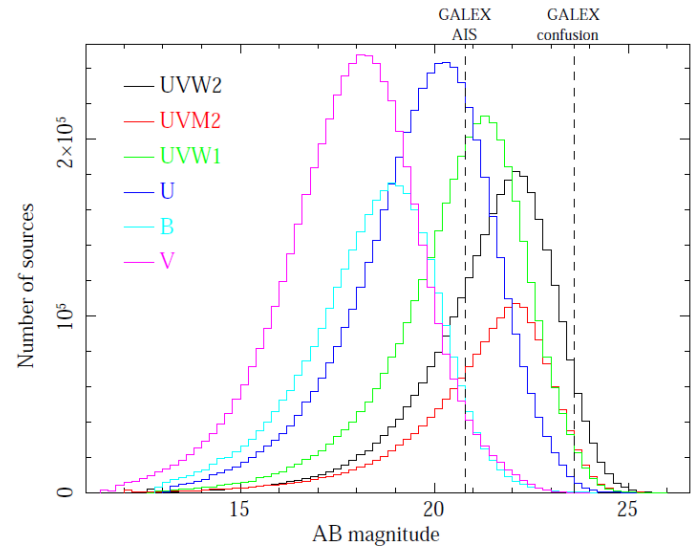
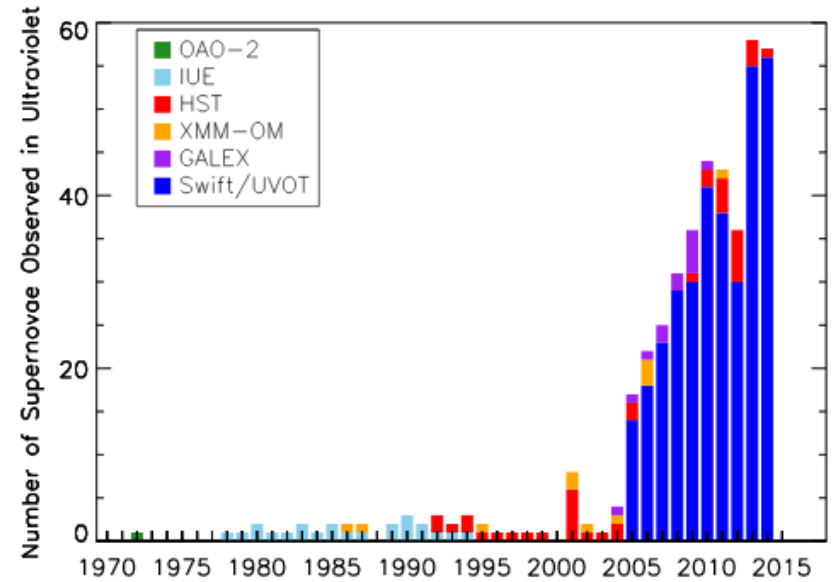
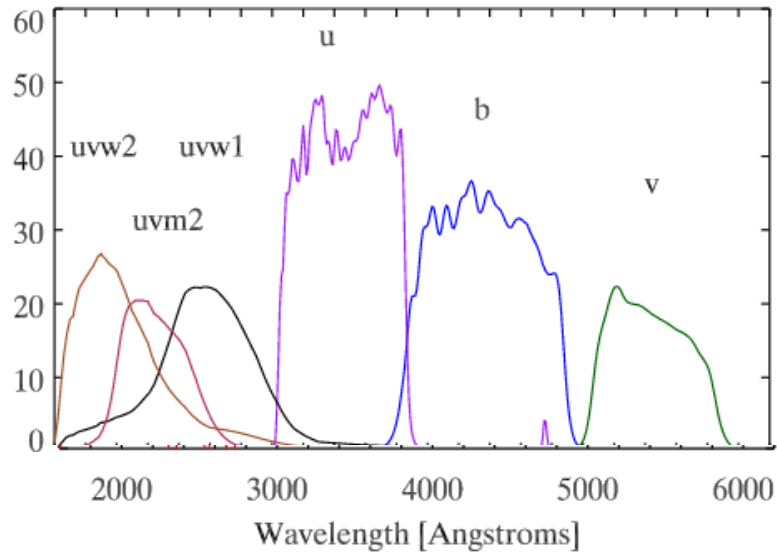
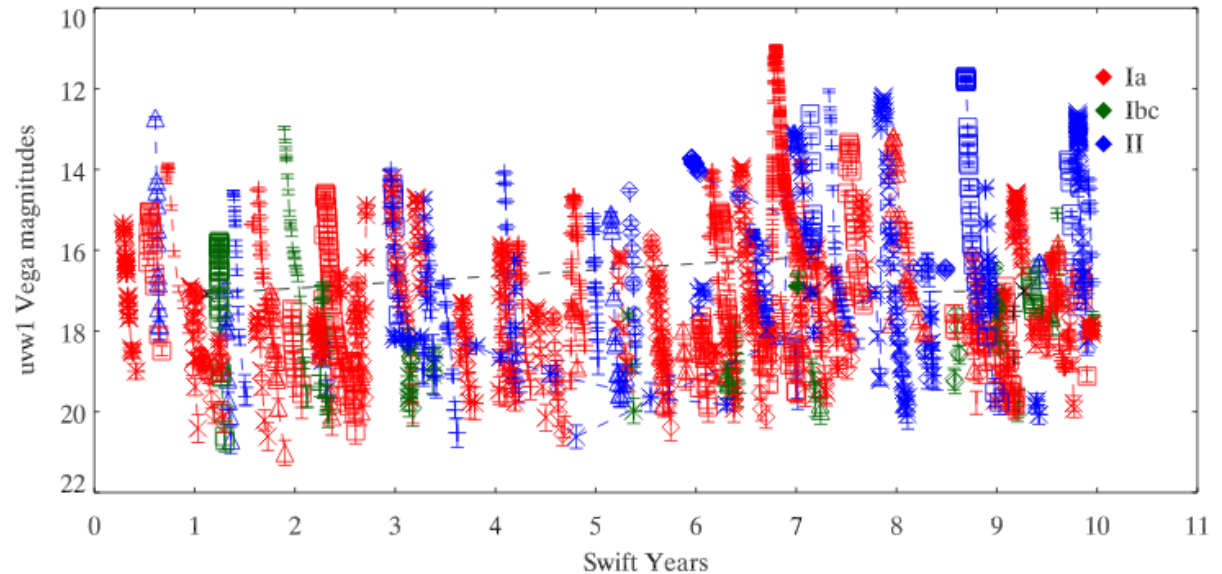


Figure 1: Swift pointings from 2005-2010, colour coded by the total UVOT exposure time in seconds

# Swift

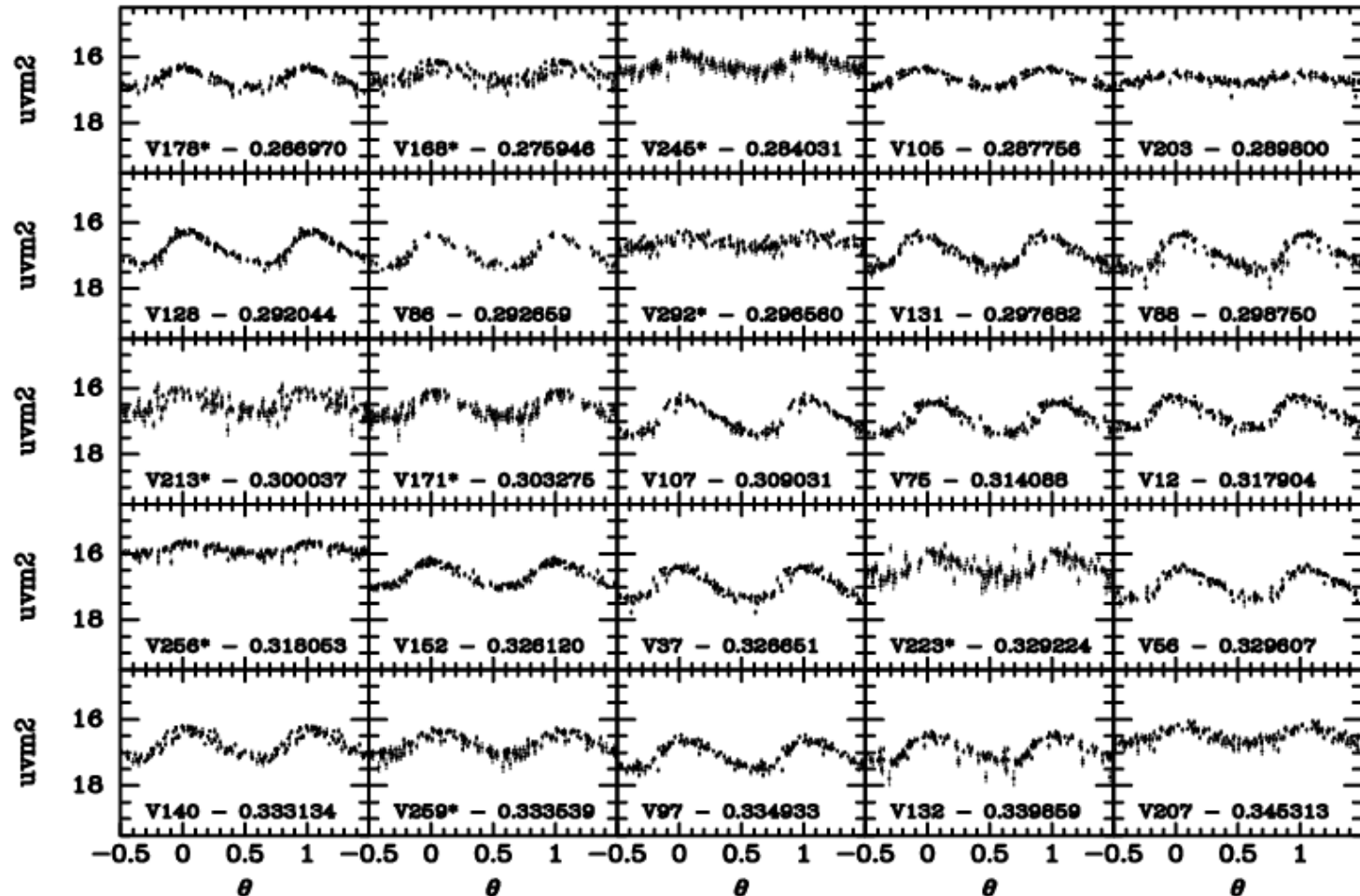


Szupernóvák észlelése a Swift UVOT-tal.



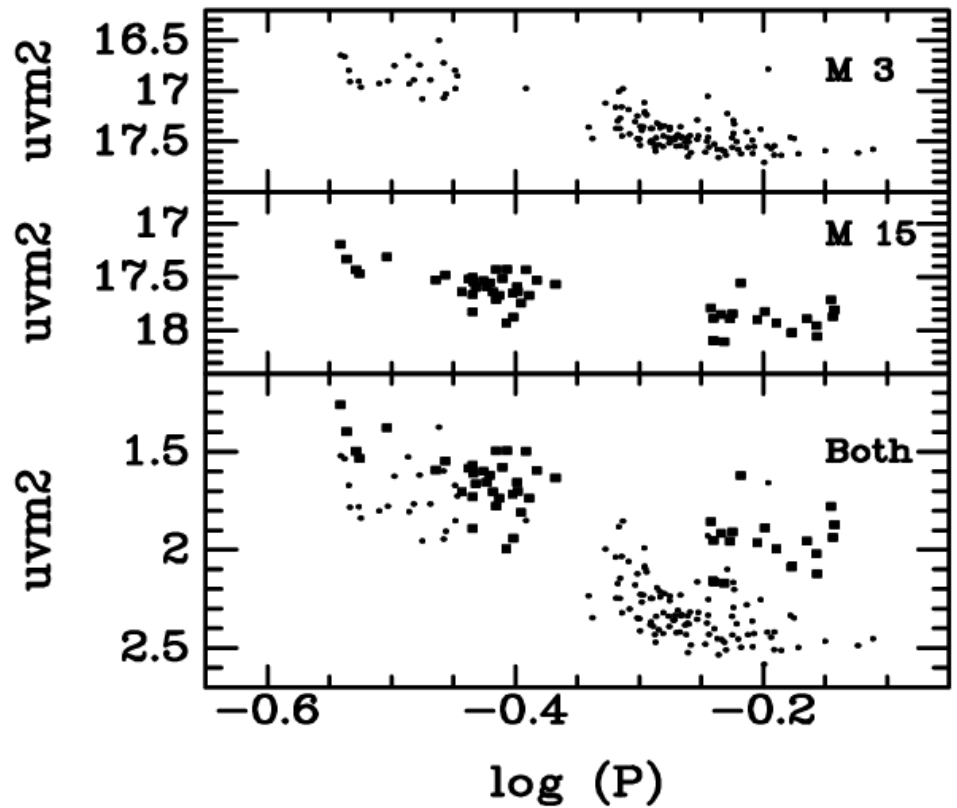
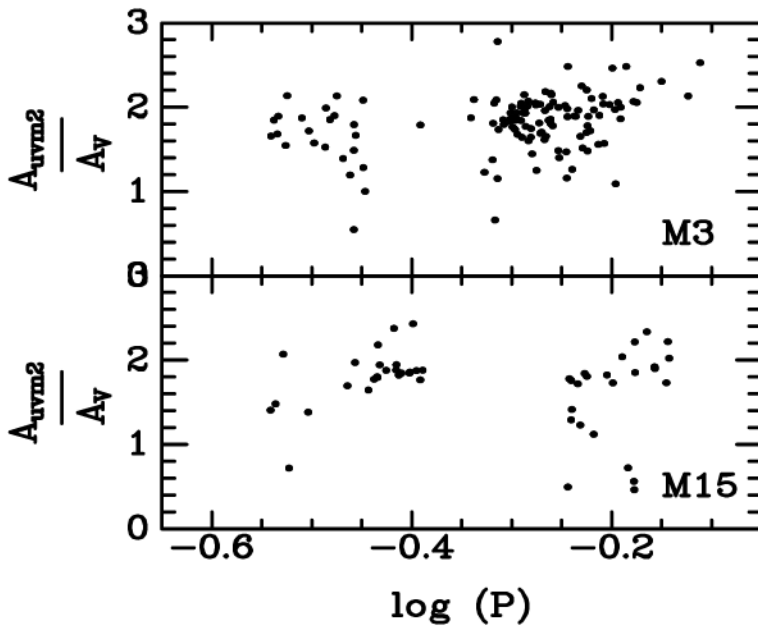
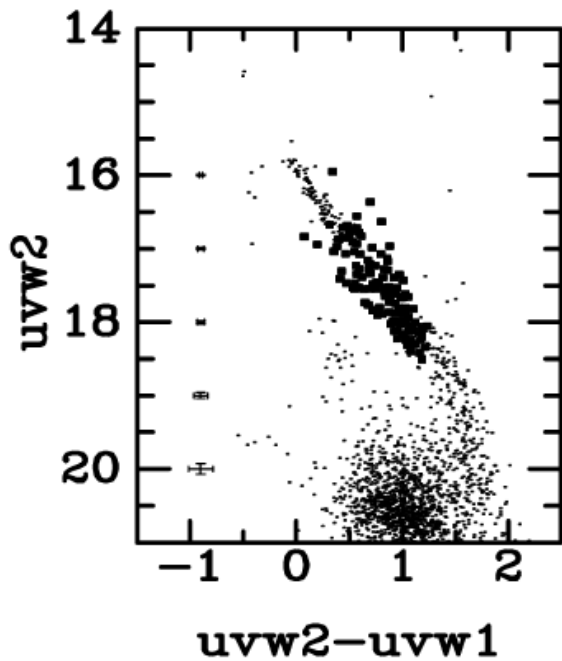
# Swift

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



# Swift

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



# A Swift egyéb UV fotometriai 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.

Az XMM-Newton röntgenszondán is működik jelenleg UV fotometriai műszer: az OM (optikai monitor) közeli UV-ben, de kevés szűrővel. A Swift UVOT műszert egyébként az 1999 végén indított XMM-Newton fedélzetén levő OM mintájára tervezték és készítették el.



# 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.

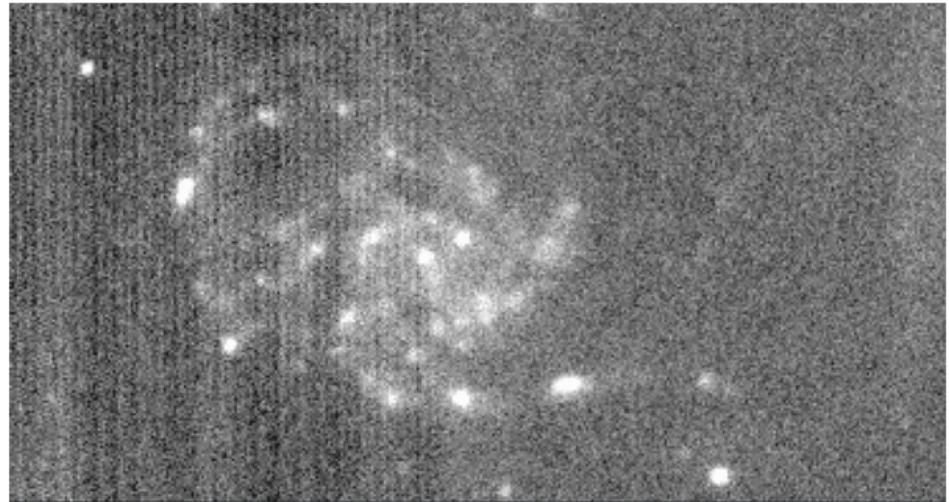
Program:

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

Az IUE által észlelt fényes csillagokat használja standardként.

Havonta kb. 10000 kép készül.

Másfél év utáni tapasztalat:  
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  $H_2$  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, 1978 – 1996);
- Az intergalaktikus anyagban levő meleg és forró barionos anyag „raktárainak” azonosítása (HST, FUSE);
- Előrehaladás az üstökösök, a bolygólégekörök 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

Egyetlen komoly tervezett űrobszervórium van:

**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, és talán 2019-ben végre indítják a Szpektr-RG röntgen- és gammaszondát).

5-10 éves működés van tervbe véve, jelenleg 2023-ban esedékes indítással.

Az 1,7 m tükörátmérőjű, 30 ívperc látómezejű távcsövet tartalmazó szondát geoszinkron körpályára helyezik majd.

Műszerei:

WSO-UV spektrográf (WUVS),

Field Camera Unit (FCU): detektora 115 nm és 176 nm között érzékeny mikrocsatornás lemez.

Tendencia: **UVOIR** űrobszervatóriumokban gondolkodnak – azonos távcső és detektálási technika az UV, optikai és infravörös tartományban.

Az EUV tartomány újabb vizsgálatára nincs jelentős űrcsillagászati terv.