

A fotometria alapjai

Műszertechnika előadás I. félév

Székely Péter

2008.

Hipparkhosz: i.e. 200 körül

csillagok fényessége magnitúdóban „nagyságrend”

1: legfényesebb

6: szabad szemmel még éppen látható

„Gyűlöletes rendszer...”

Fechner - Weber féle pszichofizikai törvény: $m = A \log I + B$

Pogson: $m = -2.5 \log I + B$

Fluxus, intenzitás definíciója: adott térszög illetve felület, időegység

$$m_1 - m_2 = -2.5 \cdot \log_{10} \frac{F_1}{F_2}$$

Hullámhosszfüggő mennyiségek!

$$m - M = -5 + 5 \cdot \log_{10} r$$

Ha a referencia csillagunk 0
magnitúdós: (pl. Vega)

$$m_\lambda = q_\lambda - 2.5 \cdot \log_{10} F_\lambda$$

Problémák: minden torzít...

légkör:

fényelnyelés, szórás (vulkánkitörés, sivatagi vihar, aeroszolok, erdőtüz)

műszer, detektor: átviteli függvény

A Földön megfigyelt fluxus messze nem a valódi...

$$F_{\lambda}^{obs} = \int_0^{\infty} \Phi_{atm}(\lambda') \cdot \Phi_{tel}(\lambda') \cdot \Phi_{filt}(\lambda') \cdot \Phi_{detec}(\lambda') \cdot F_{\lambda}^{star} d\lambda'$$

A bolometrikus magnitúdó

A csillag valódi fényessége!

- nincs légköri szelektív abszorpció
- nincs érzékelő rendszer torzítás

Az abszolút bolometrikus magnitúdó: csillag luminozitása, W/s azaz joule...

$$M_{bol} = 4.62 - 2.5 \lg(L / L_{Sun})$$

bolometrikus korrekció: $BC = V - m_{bol}$ és $BC_{Sun} = 0.07$

ha nincs vörösödés.... kb. $100 \text{ pc} > r$

$$F_{\lambda}^{obs} = K \cdot \int_0^{\infty} F_{\lambda}^{star} \cdot T(\lambda) d\lambda = K \cdot \Phi_{\lambda}$$

$$m_{\lambda} = -2.5 \cdot \log_{10} \Phi_{\lambda} - 2.5 \cdot \log_{10} K$$

Fotometriai rendszer:

- szűrőfüggvények (hullámhossz tartomány)
- zéruspont (standard csillagok)

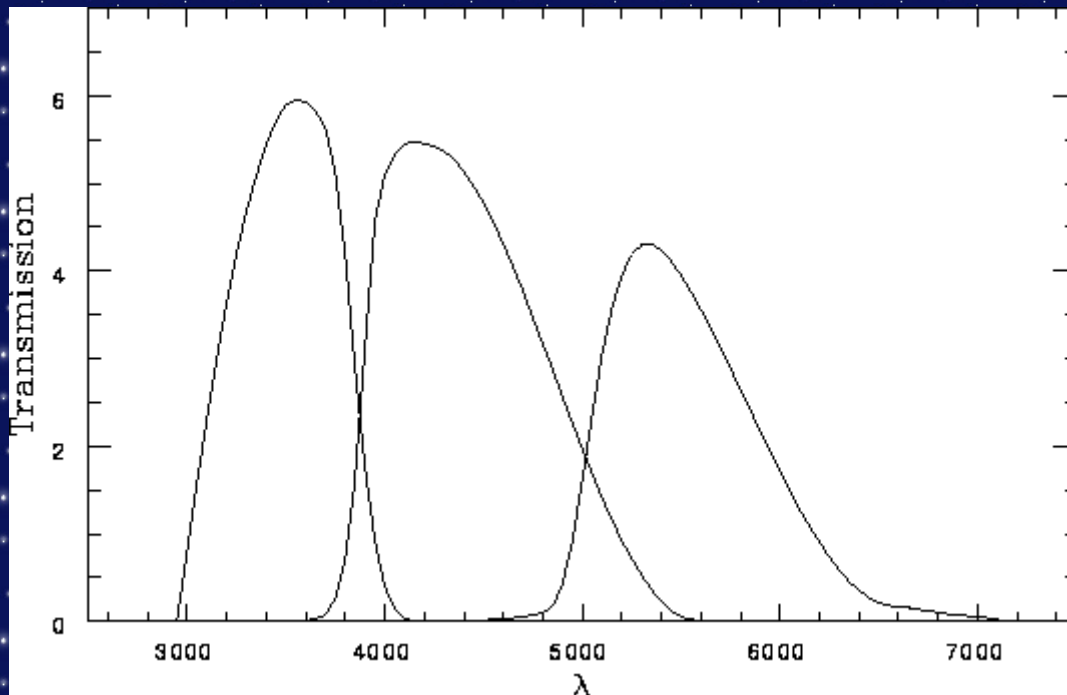
„Az 1950-es években, a fotoelektromos fotometria terjedésével felmerült az igény egy egységes fotometriai rendszerre, ami segítségével a különböző a asztroklímájú helyeken, különböző detektorokkal, eltérő méretű távcsövekkel észlelő csillagászok mérési eredményei összevethetővé válnak. A detektor típusa, a szűrősorozat, a használt távcső és a korrekciós eljárás alkotja együttesen a természetes fotometriai rendszert. Tehát minden megfigyelő saját természetes rendszerrel rendelkezik.

A standard rendszereket az egyes szerzők úgy definiálják, hogy a saját természetes rendszerükkel megméri, és rögzítik egy sor típuscsillag standard fényességét és színindexét. Ezen csillagok a standardcsillagok. Más észlelők ezen standard csillagok mérésével, a standard korrekciós eljárás ismeretében meg tudják határozni, hogy méréseiket mi módon lehet átranzformálni a standard rendszerbe. Ez konkrétan úgy történik, hogy az észlelő megméri a standard csillagokat, és a kapott instrumentális magnitúdókból transzformációs egyenleteket old meg.”

(részlet Csák Balázs TDK dolgozatából)

Johnson-Morgan-Kron-Cousins rendszer (1950-es évektől)

UBVRI betűjelű szűrők



λ_0

$\Delta \lambda$

| | |
|-----------|----------|
| U: 365 nm | (70 nm) |
| B: 440 nm | (100 nm) |
| V: 550 nm | (90 nm) |
| R: 720 nm | (220 nm) |
| I: 900 nm | (240 nm) |

Szélessávú rendszer!

Közepes: ~ 30 nm

Keskeny: ~ 10 nm

Johnson infravörös (IR) rendszer:

| | $\lambda_0 [\mu]$ | $\Delta \lambda [nm]$ |
|----|-------------------|-----------------------|
| J: | 1.25 | 380 |
| H: | 1.65 | 480 |
| K: | 2.2 | 700 |
| L: | 3.5 | 1200 |
| M: | 4.8 | 5700 |

Légköri áteresztési sávokban centrált!

Probléma: UV tartományban a légkör a meghatározó!

A színhőmérséklet:

$$B - V = 7200 / T_{szín} - 0.53$$

Standard transzformáció alapjai:

$$\lambda_0 = \frac{\int_0^{\infty} \lambda \cdot T(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} T(\lambda) d\lambda}$$

Taylor - sorfejtés:

$$M_{\lambda} = m_{\lambda_0} + \left| \frac{dm}{d\lambda} \right|_{\lambda_0} \cdot \Delta\lambda + \dots$$

$$M_{\lambda} = m_{\lambda_0} + \beta_{\lambda} \cdot C + \gamma_{\lambda}$$

$$C = \delta_c \cdot c_c + \gamma_c$$

Instrumentális: m, c
Standard: M, C
(magnitúdók)

$M_{\lambda}, \gamma_{\lambda}, \delta_c, \gamma_c$ transzformációs „konstansok”

Egyenes meredeksége: $\frac{dm}{d\lambda}$

$$M = m + \left(\frac{dm}{d\lambda}\right) \cdot \Delta\lambda$$

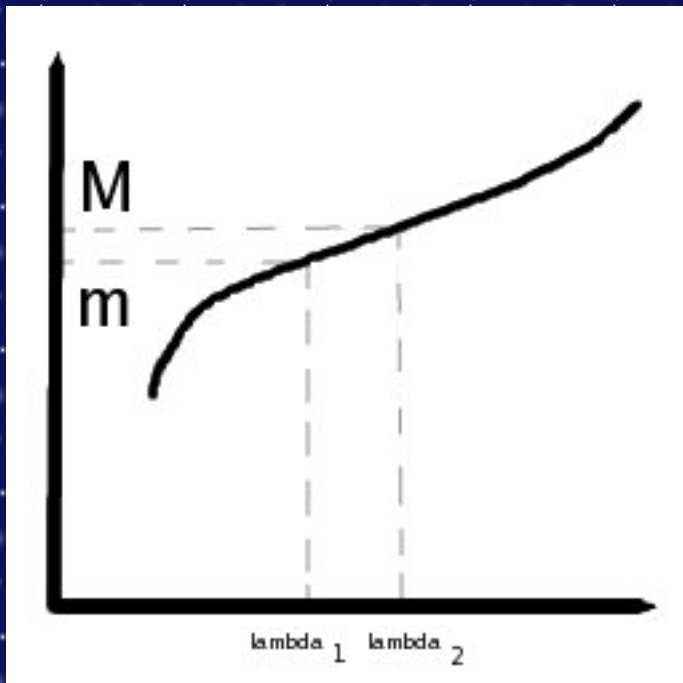
$$\frac{dm}{d\lambda} \approx \frac{\delta m}{\delta \lambda} \approx \frac{m_1 - m_2}{\lambda_1 - \lambda_2} = \frac{C}{\lambda_1 - \lambda_2}$$

m-et ismerjük

C: két különböző hullámhosszon mért fényesség

<-- zérus ponti tag

(légköri hatás)



$$M = m + C \cdot \frac{\Delta\lambda}{\lambda_1 - \lambda_2} + \gamma_\lambda$$

Standard csillagok:

α Ari , β Cnc , η Hya , α Ser , ϵ CrB , τ Her , 10 Lac , HR8832 , HR0875

Ezeken kívül: M45, M44, M67 csillagai

... és Landolt égi egyenlítőn lévő rengeteg csillaga...

AJ 88. (1983)

A légkör szerepe:

$$m_{\lambda}(0) = m_{\lambda} - k'_{\lambda} \cdot X - k''_{\lambda} \cdot c \cdot X$$

(c itt valamilyen szín)

X: levegőtömeg (airmass)

z: zenittávolság fokban

$$\text{ha: } 0^{\circ} < z < 60^{\circ}, \text{ ekkor } X = \frac{1}{\cos z}$$

$$\text{ha: } z > 60^{\circ}, \text{ ekkor } \xi = \frac{1}{\cos z} \text{ és}$$

$$X = \xi - 0.0018 \cdot (\xi - 1) - 0.0029 \cdot (\xi - 1)^2 - 0.0008 \cdot (\xi - 1)^3$$

A zenittávolság kiszámítása:

$$\cos Z = \sin \phi \cdot \sin \delta + \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \tau$$

(földrajzi szélesség, deklináció, óraszög)

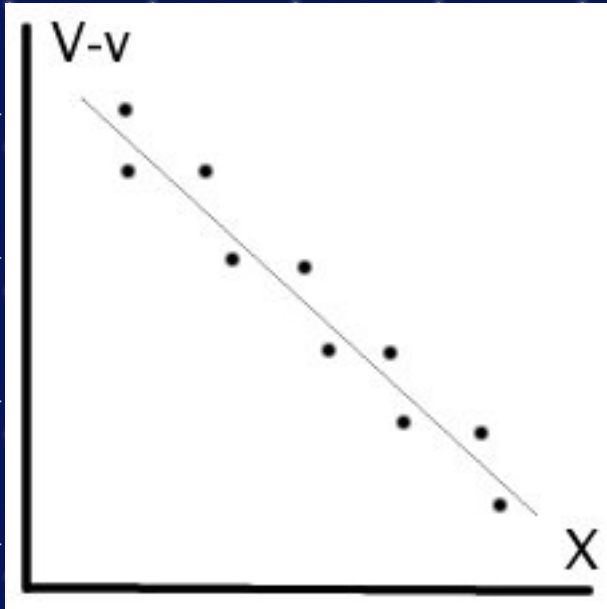
Nagyobb obszervatóriumok mérőrendszerei általában rögzítik a kép fejlécében X-et.

Minden további lépés előtt a légköri extinkcióra korrigálni kell!!!

1. módszer

B-V közel 0 legyen, pl. Vega

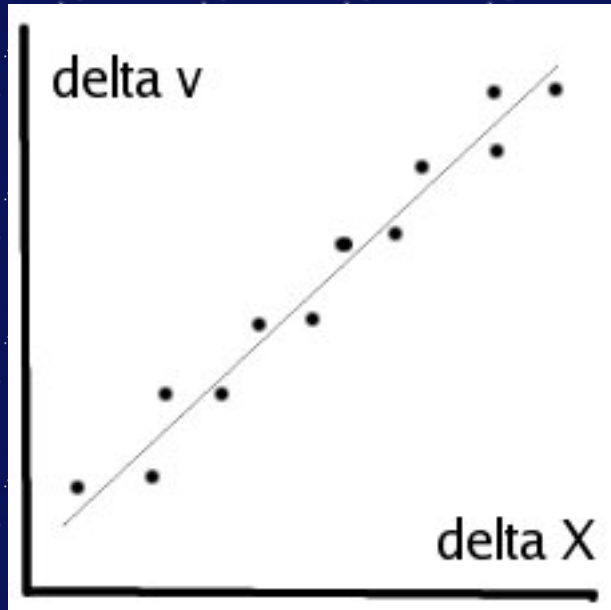
(A0 színképosztályú csillagok)



Extinkciós standard csillagokra, kis színtaggal,
más hullámhosszakra más koefficiensek lesznek!!!

$$V = v - k'_V \cdot X + \zeta_V$$

2. módszer



$$\Delta v = k'_v \cdot \Delta X$$

Ugyanazon csillagokra mérjük v-t más levegőtömegnél.

Tranzformáció a Johnson rendszerben:

$$V = v + \epsilon \cdot (B - V) + \zeta_V$$

$$B - V = \mu \cdot (b - v) + \zeta_{BV}$$

$$U - B = \psi \cdot (u - b) + \zeta_{UB}$$

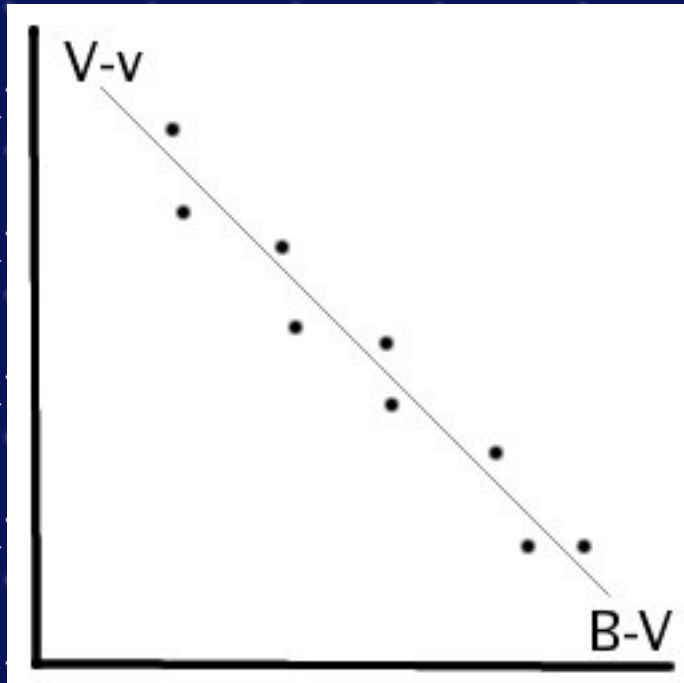
$$V - R = \rho \cdot (v - r) + \zeta_{VR}$$

$$V - I = \pi \cdot (v - i) + \zeta_{VI}$$

1. módszer

meredekség: ϵ ($\epsilon \approx 0$)

tengelymetszet: ζ_V



Standard csillagok
segítségével

(V , $B-V$, $V-I$, $U-B$ stb. értékek
adottak táblázatokban)

Hasonló diagram a $B-V$ vs. $B-v$ színindexre is.

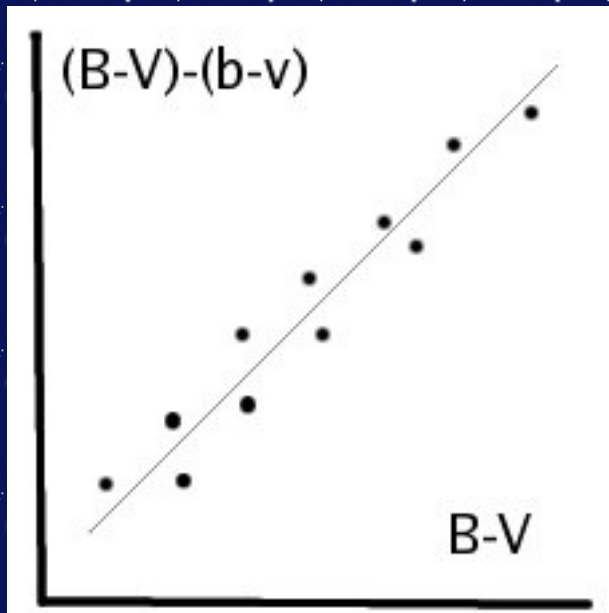
2. módszer

meredekség:

$$1 - \frac{1}{\mu} \quad \mu \approx 1$$

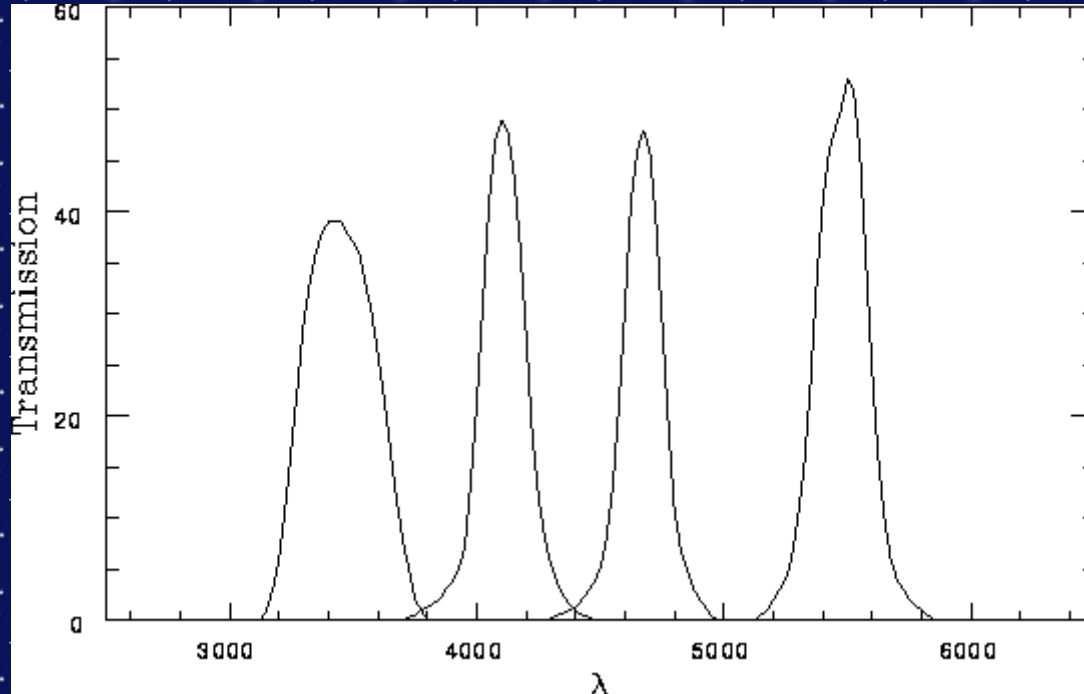
tengelymetszet:

$$\frac{\zeta_{BV}}{\mu}$$



A Strömgren-rendszer

(ultraviolet, violet, blue, yellow)



| | λ_0 | $\Delta\lambda$ |
|----|-------------|-----------------|
| u: | 350 | 40 |
| v: | 410 | 20 |
| b: | 470 | 10 |
| y: | 550 | 20 |

Keskenysávú!

Előnyei:

- majdnem spektrofotometria (nincs átfedés)
- (b-y) arányos (B-V) Hőmérséklet!
- szűrőfüggvények egyértelműbben definiáltak
- csillagparaméterekkel jobban korrelálnak
- extinkciós korrekció csak elsőrendű

Viszont fényesebb csillagokra jó a kisebb sávszélesség miatt!

Színindexek:

Johnson V itt kb. y!

$m1=(v-b)-(b-y)$ fémtartalommal korrelál

$c1=(u-v)-(v-b)$ Balmer-ugrás erőssége

$m1$: line-blanketing effektus, „fémindeks”

$c1$: Balmer-discontinuity, H ionizáció miatt

(T kicsi: $\log g$, T nagy: fotoszférikus hőmérséklet)

Extinkciós korrekciók:

$$y_{obs} = y_{instr} - K \cdot X$$

$$(b - y)_{obs} = (b - y)_{instr} - K_1 \cdot X$$

$$m_1(obs) = m_1(instr) - K_2 \cdot X$$

$$c_1(obs) = c_1(instr) - K_3 \cdot X$$

Transzformációs egyenletek:

$$V = A + B \cdot (b - y) + Y_{obs}$$

$$(b - y) = C + D \cdot (b - y)_{obs}$$

$$m_1 = E + F \cdot m_1(obs) + J \cdot (b - y)$$

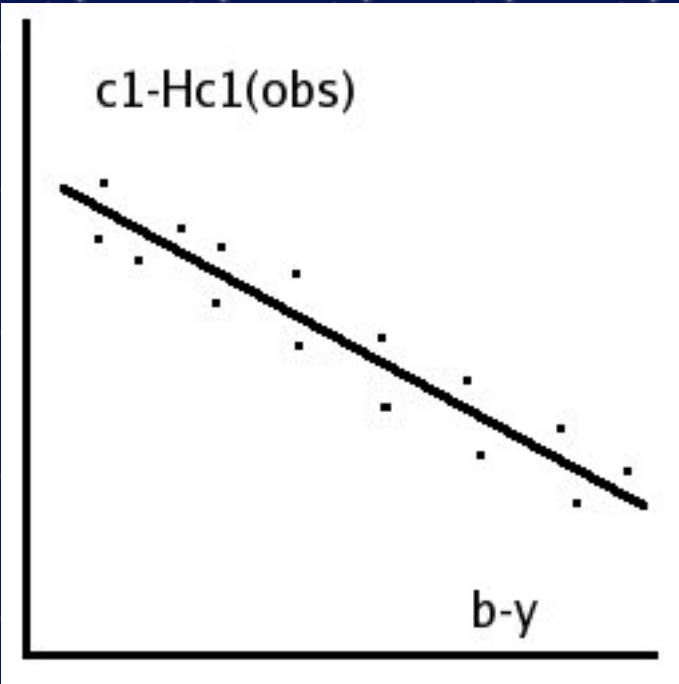
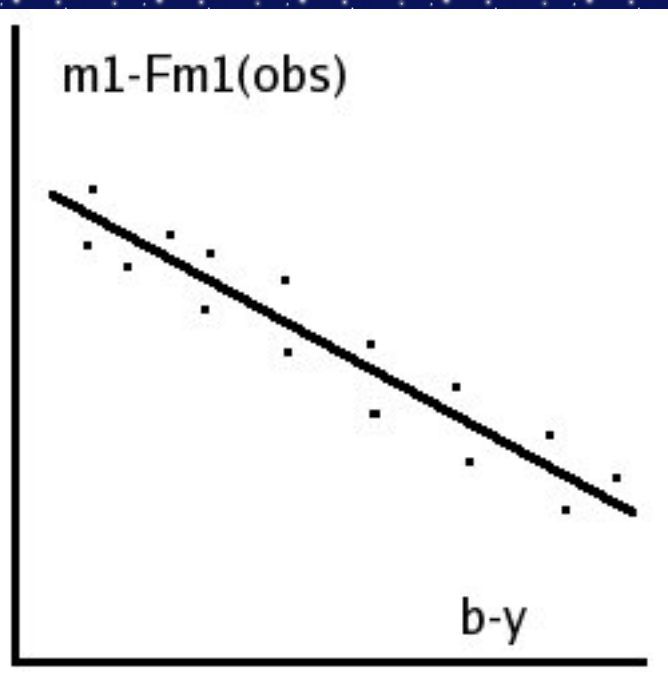
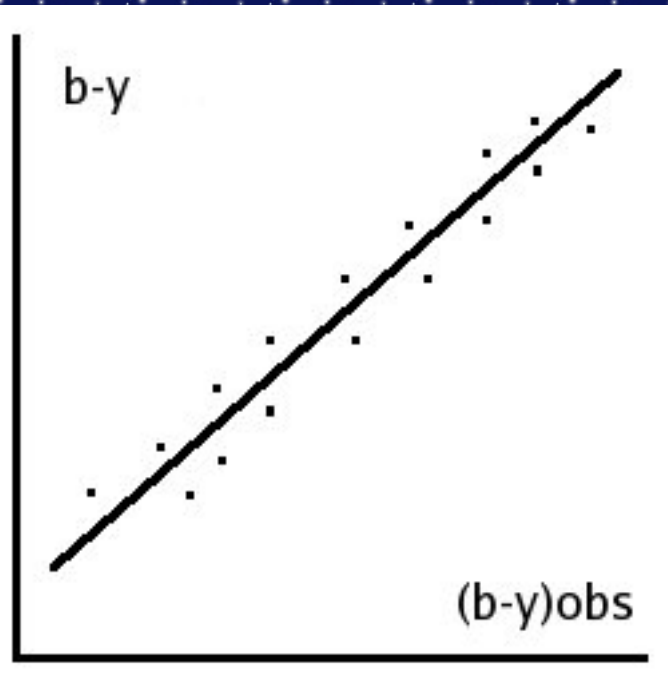
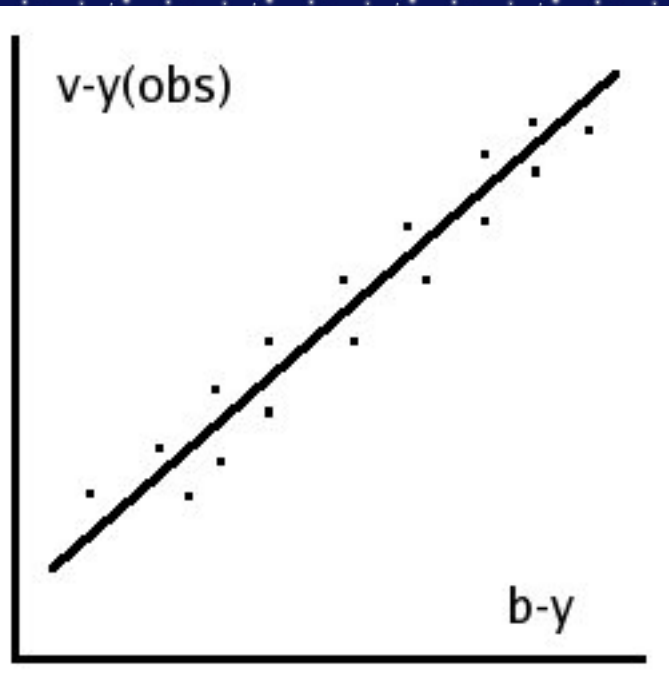
$$c_1 = G + H \cdot c_1(obs) + I \cdot (b - y)$$

(b-y):

a H β hatását korigálja

(H β : erős abszorpciós vonal , függ T – től)

Zérusponti tagokat itt is minden este mérni kell!



Illesztés: a „szokásos”
(pl. legkisebb négyzetek módszere)

Standard csillagok segítségével

Differenciális fotometria Johnson rendszerben:

$$\Delta V = (\Delta V)_{obs} + \epsilon \cdot (B - V)$$

$$\Delta (B - V) = \mu \cdot \Delta (B - V)_{obs}$$

$$\Delta (U - B) = \mu \cdot \Delta (U - B)_{obs}$$

Előnyök: levegőtömeg helyett levőtömeg-különbség lép!!!

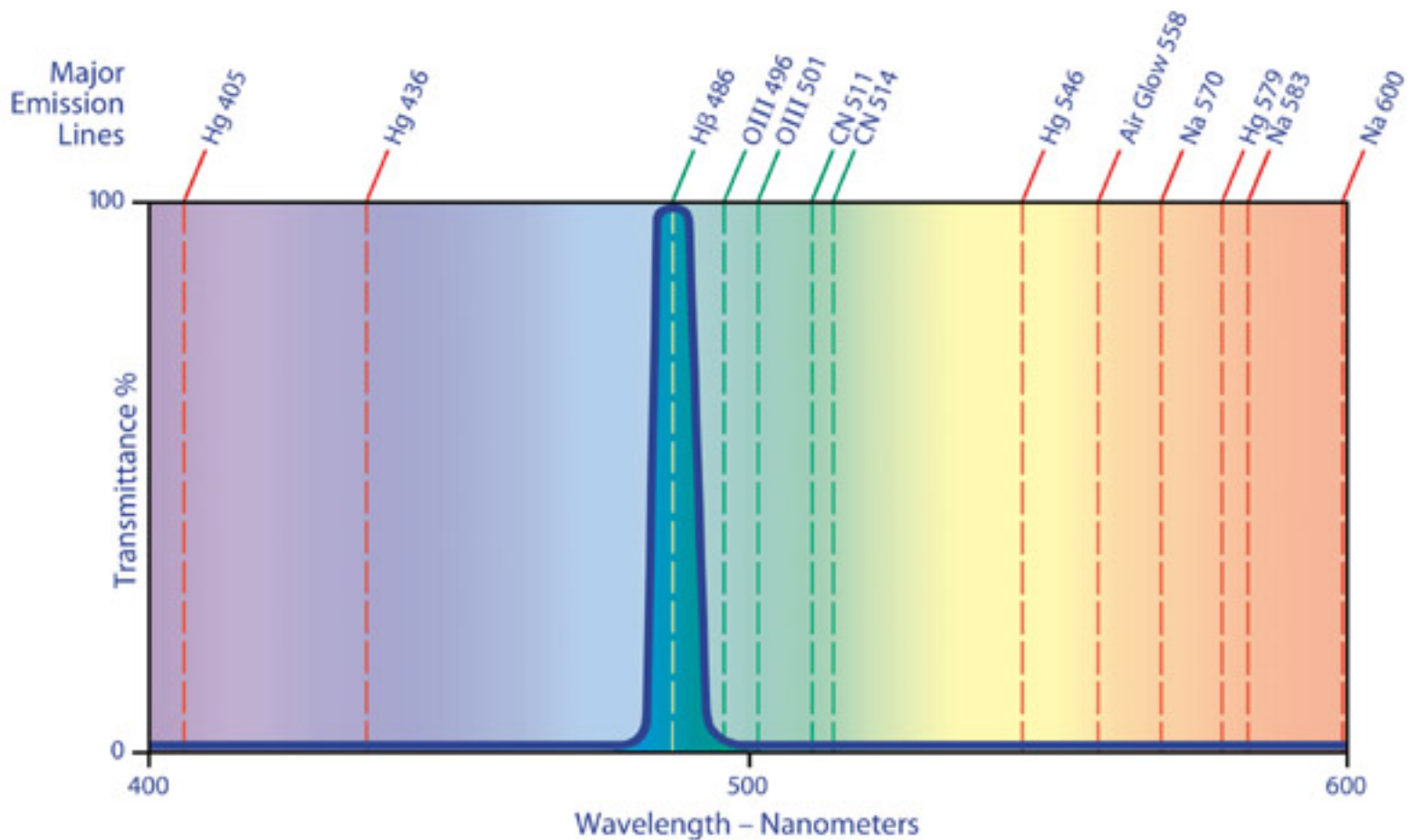
Szintagok lassan változnak, a zéruspontok gyakran, de ezek kiesnek...

Speciális szűrők:

Egyedi vonalra hangolva. Célja lehet csak az egyedi hullámhosszon történő megfigyelés vagy más káros vonalak kiszűrése, pl. légköri (tellurikus) vonalak likvidálása, utcai lámpák (Na, Hg gőz) kiszűrése.

| | λ_0 | $\Delta \lambda$ | Speciális napszűrők: |
|------------|-------------|------------------|-------------------------------------|
| W (wide) | 486 | 15 | $\Delta \lambda$ akár < 0.3 nm!!! |
| N (narrow) | 486 | 3 | |

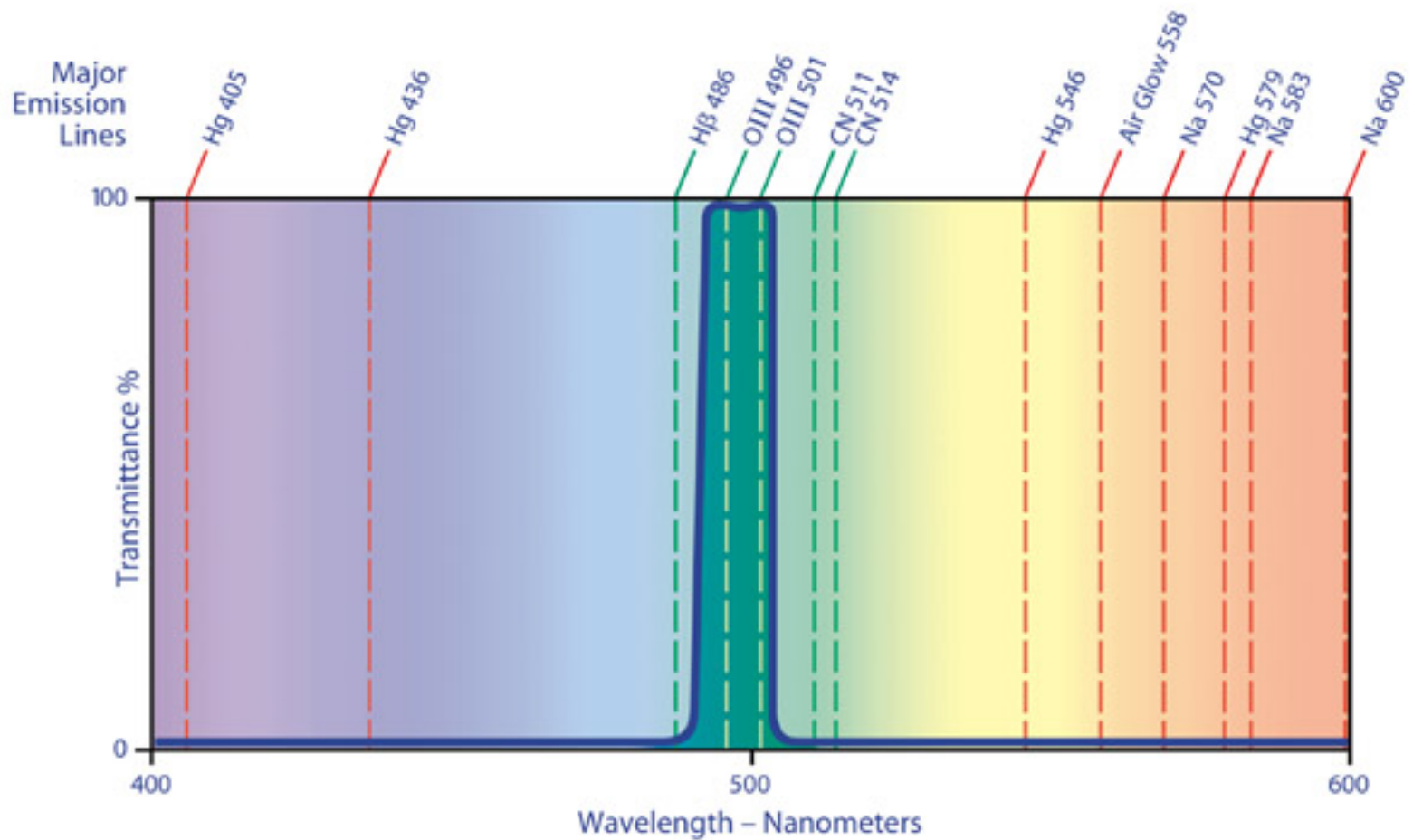
LUMICON HYDROGEN-BETA FILTER



Emission Line Key

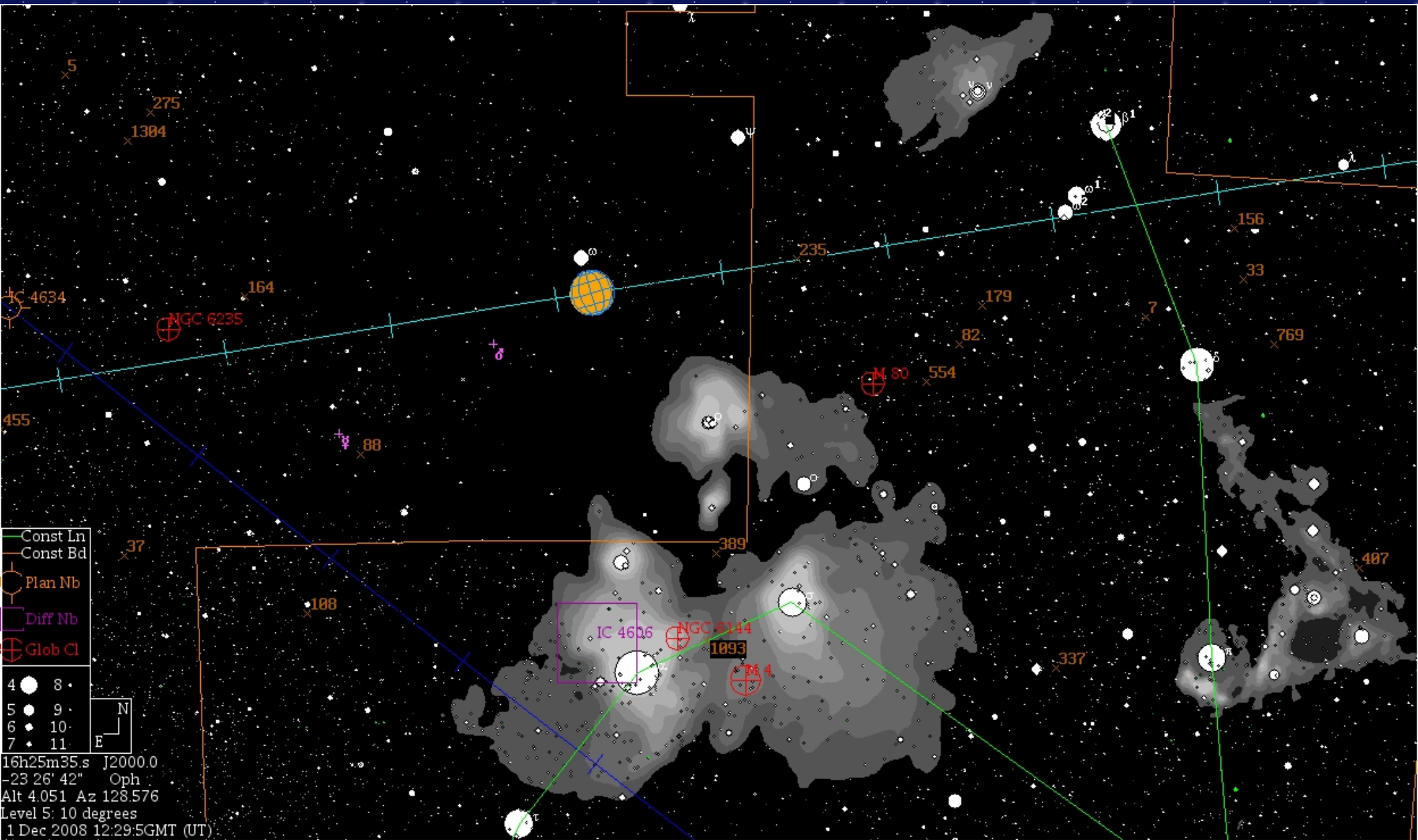
- Celestial: H β - Hydrogen Beta
OIII - Oxygen three
CN - Cyanogen
- Non Celestial: Hg - Mercury
Na - Sodium
Airglow

LUMICON OXYGEN III FILTER



Emission Line Key

- Celestial: Hβ - Hydrogen Beta
OIII - Oxygen three
CN - Cyanogen
- Non Celestial: Hg - Mercury
Na - Sodium
Airglow



A rho Oph környéke a Guide 8 alapján...



...ugyanaz valós távcsöves felvétel alapján...

/500 fényév, kb. 6 fok/



Egy még szélesebb látómezejű felvétel...

Intersztelláris vörösödés:

(interstellar reddening)

„Átok...”

$$\left. \begin{aligned} V &= V_0 + A_V \\ B &= B_0 + A_B \end{aligned} \right\} (B-V)$$

$$\Rightarrow (B - V)_0 + A_B - A_V = (B - V)_0 + E(B - V)$$

$$R_V = \frac{A_V}{E(B - V)} \approx 3.0 - 3.3 \quad A_B > A_V$$

Kékben erősebb abszorpció!

$$E(B - V) = A_B - A_V \quad \text{ez a vörösödés!}$$

Tejútrendszer közepénél R_V kb. 5...

(Walther Baade)

A_λ / A_V

C

$E(C)/E(B-V)$

| | |
|---|------|
| U | 1.57 |
| B | 1.33 |
| V | 1.00 |
| R | 0.75 |
| I | 0.48 |
| J | 0.28 |
| H | 0.18 |
| K | 0.11 |

| | |
|-----|------|
| U-B | 0.72 |
| V-R | 0.75 |
| V-I | 1.57 |
| V-K | 2.70 |
| J-K | 0.51 |

azaz:

$$\frac{E(U - B)}{E(B - V)} \approx 0.72$$

$$E(B-V) = (B-V)_{obs} - (B-V)_o$$

Ez az úgynevezett színexcesszus.

B-V=0.0 A0 színeképosztályú csillagokra!

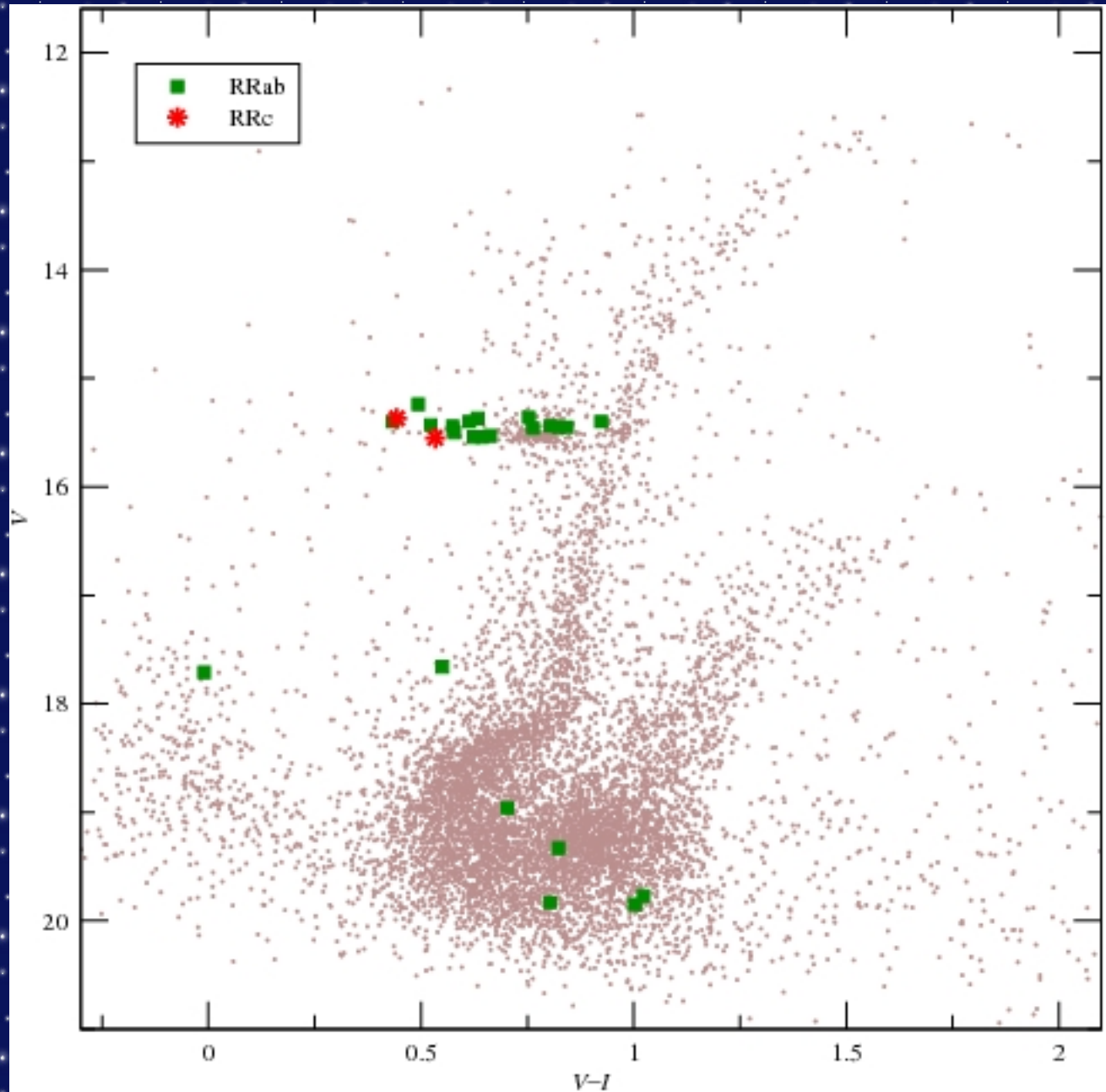
B0: -0.32, F0: 0.3, G0: 0.6, K0: 0.82, M0: 1.45

A magnitúdóban mért A értékek örült nagyok is lehetnek, a Tejútrendszer középpontja felé eléri a 10-30 magnitúdót!!!

A csillagközi anyag tulajdonságairól, extinkciót meghatározó paramétereiről, gyakorlati kérdésekről, az ISM kutatásáról bővebben a Galaktikus Csillagászat I. kurzuson lesz szó, Dr. Kun Mária (MTA CSKI) előadásában.

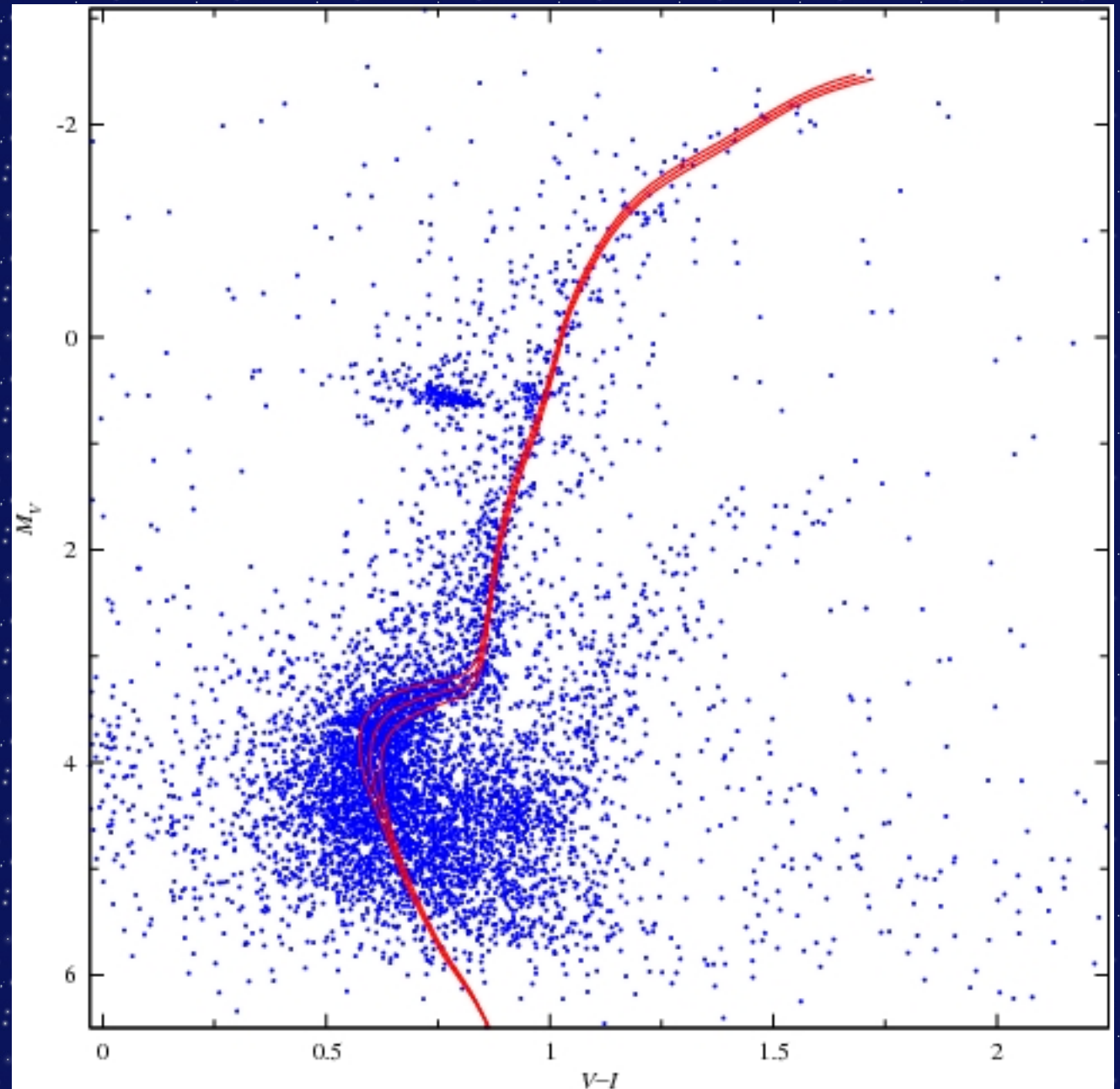
Szín-fényesség diagram:

Az NGC 362
gömbhalmaz
adatai
6295 csillag



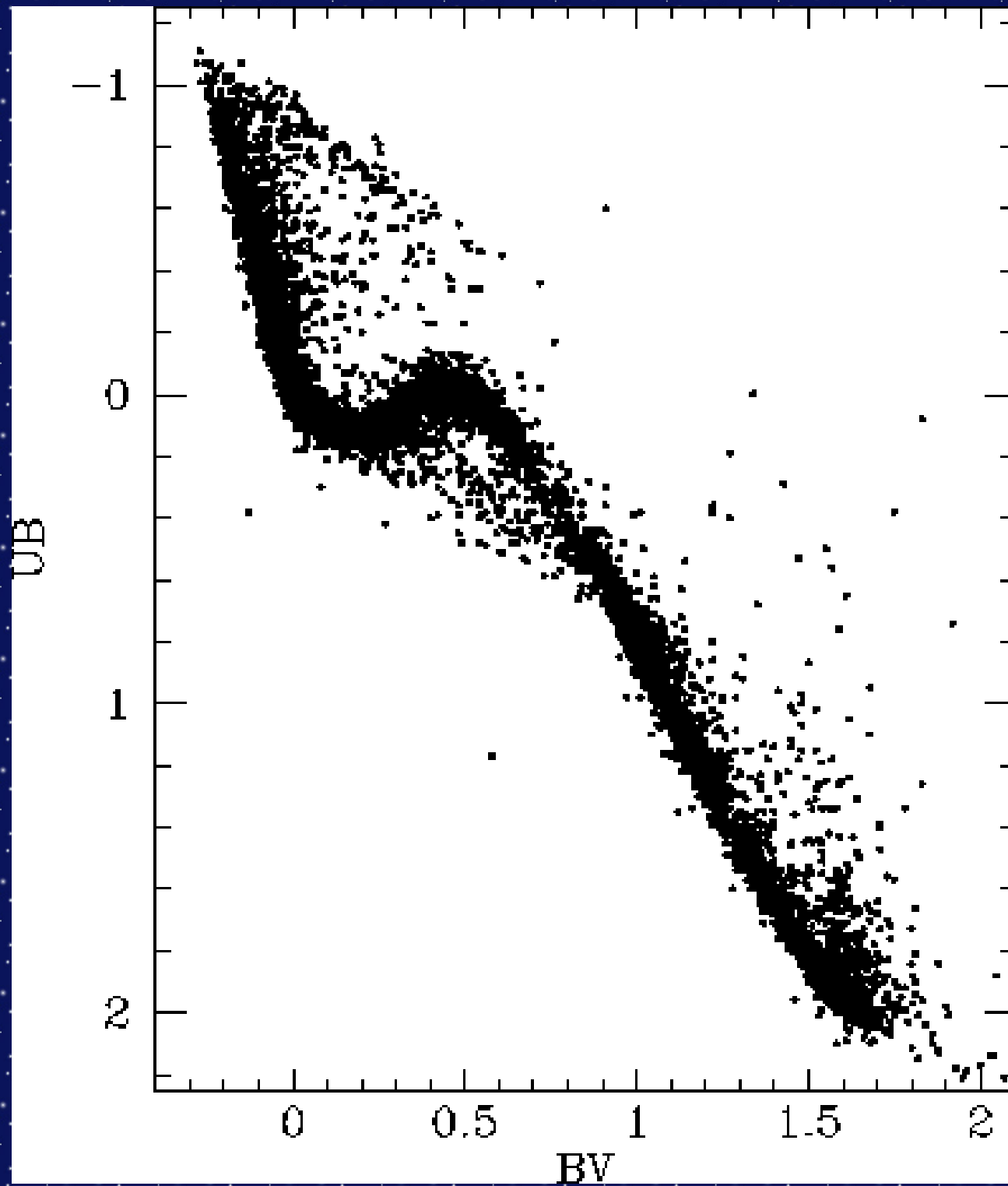
Mire is jó a CMD?

pl. izokrón
illesztés



Szín-szín diagram:

A vörösödés hatására
eltolódik!



Egyéb rendszerek:

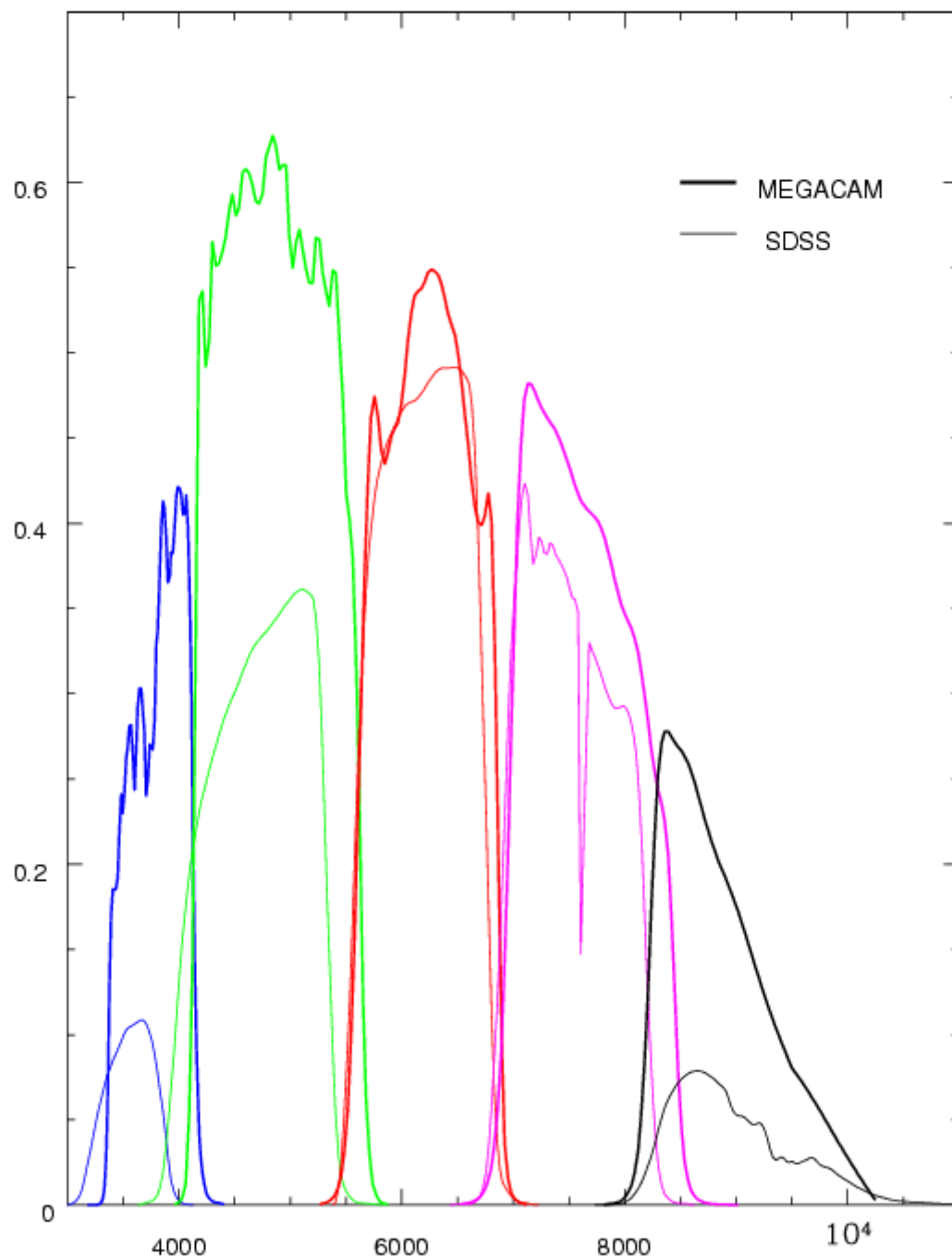
pl. Gunn (SDSS, Megacam)

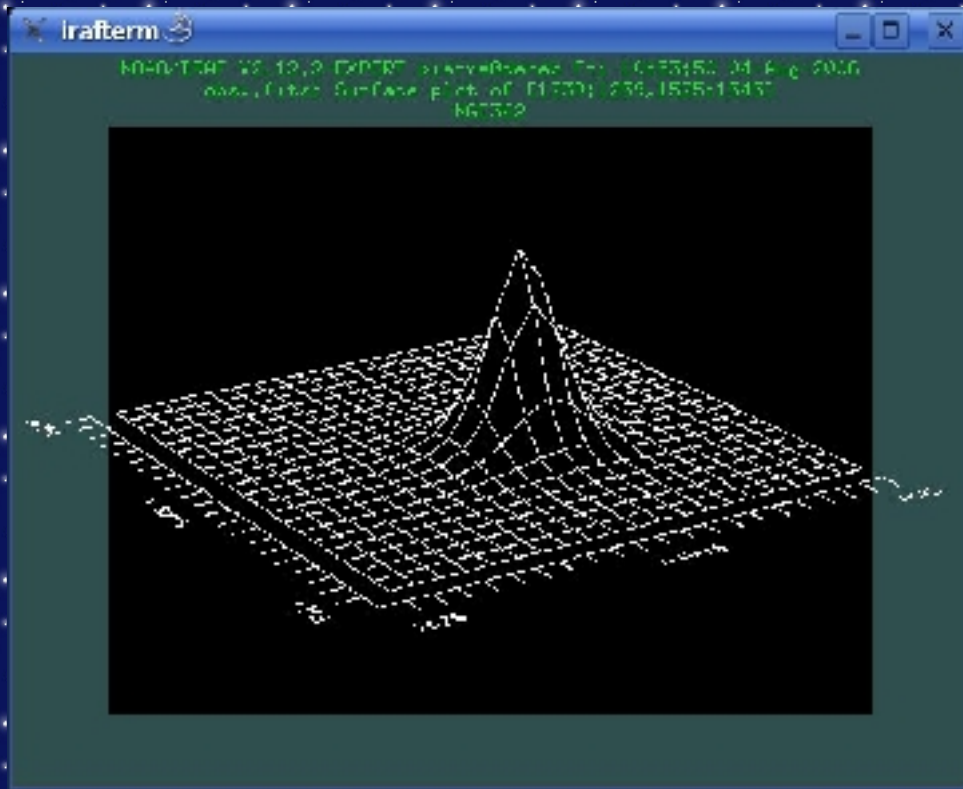
u, g, z

Megacam: CFHT

36 db. 2048 x 4612 CCD (!!!)

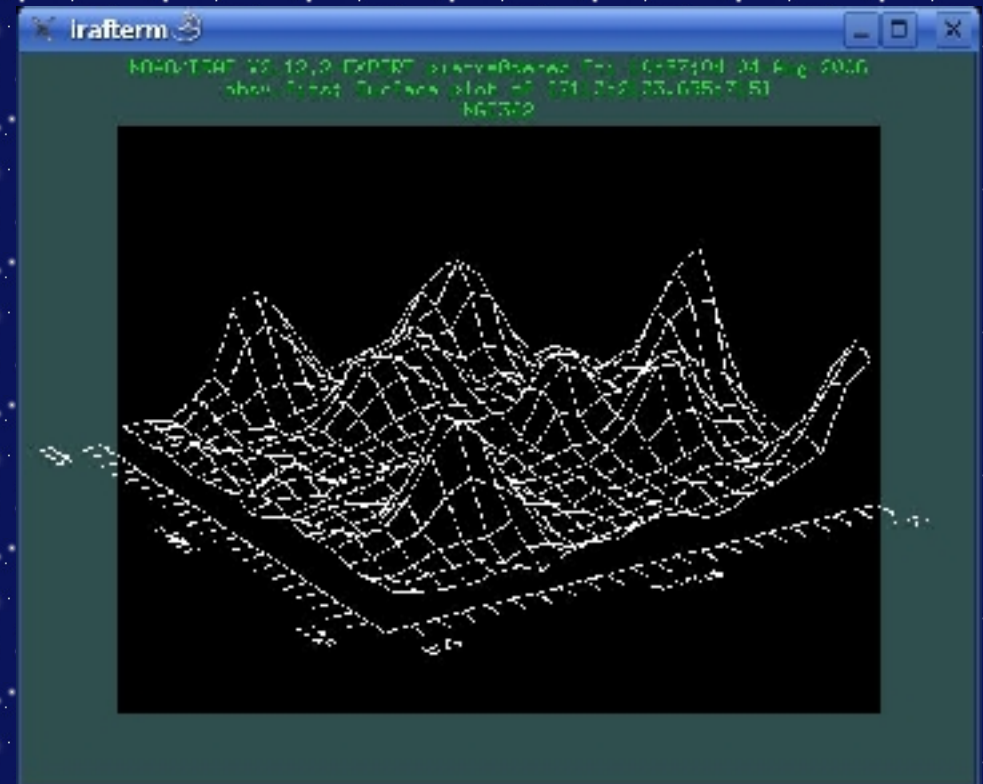
kb. 1 fok LM, 0.185 "/px



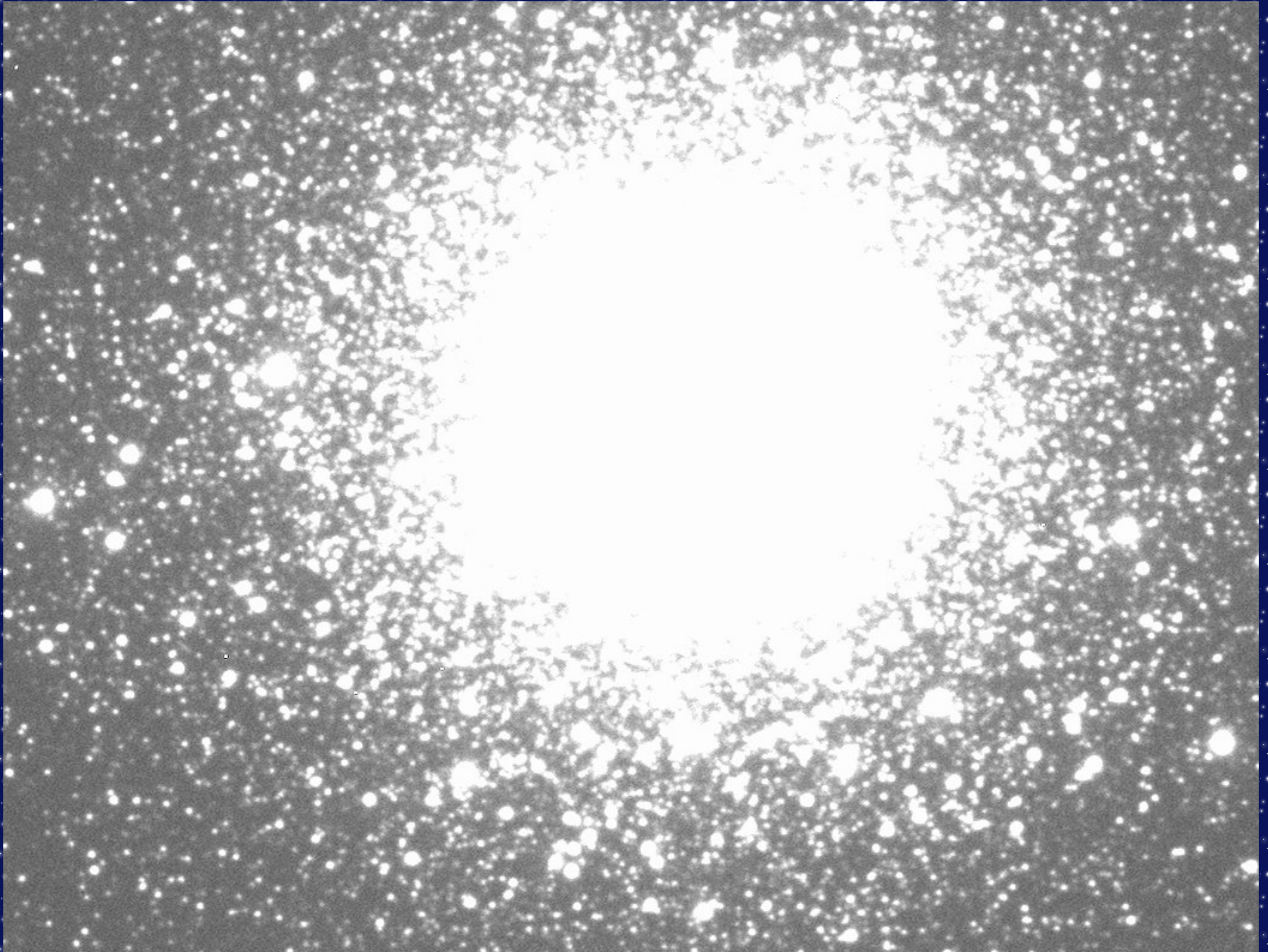


Az ideális eset...

Csillagok, ha rajban állnak...



Az NGC 362 központi tartománya



ISIS 2.1 képlevonás alkalmazása után: maradnak a változó fluxusú csillagok...

