

A Tejútrendszeren túl: a Lokális Csoport és távolabb

Kiss László, MTA CSFK CSI

Bevezetés a csillagászatba 4.

Miről lesz szó?

- Kilépés a Tejútrendszerből
- A galaxisok természete
- Másodlagos távolságindikátorok

- Tejútrendszer vs. galaxisok

2018. április 24-ig: a Tejútrendszeren belül jellemzően 10-50% pontosságú távolságok

2018. április 25.: 5-10% (Gaia DR2)

2020+: 1% (Gaia végső)

De mi van azon túl?

Még 1925-ben sem volt egyértelmű, hogy miből áll a Világegyetem.

XX.század elejének fő csillagászati problémája: miből állnak a "spirálködök" ??



2 fő hipotézis:

- a) közeli, születőben lévő bolygórendszerek
- b) távoli "csillagszigetek"



A megoldás kulcsa: távolságmérés

Miss Henrietta Leavitt

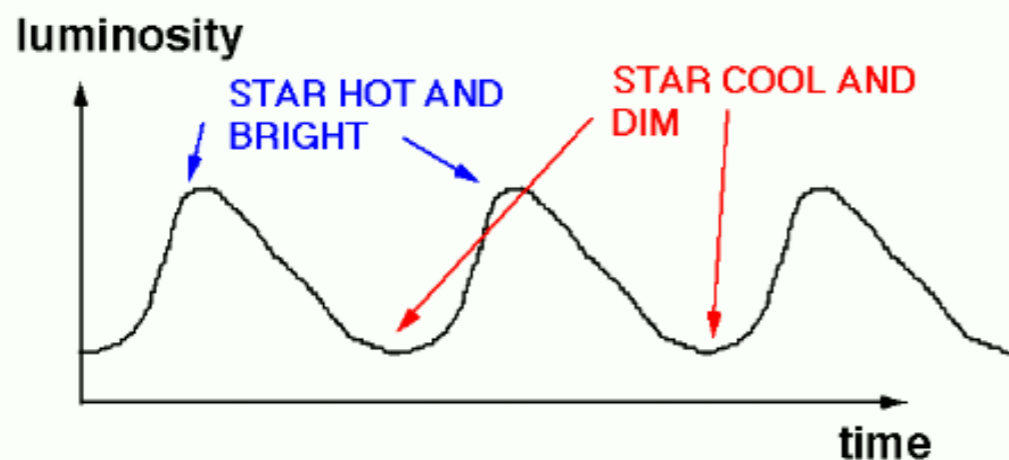


Cefeida csillagok



Periódus-fényesség reláció

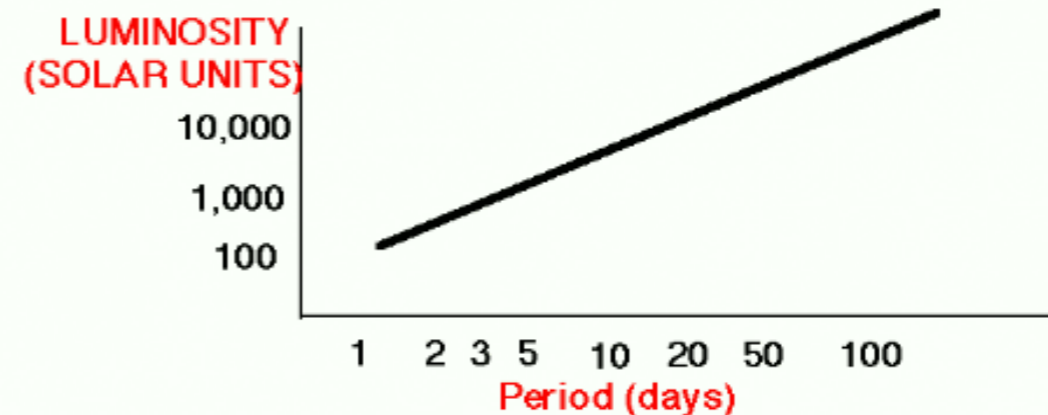
Light Curves of Pulsating Variables



• Cepheid Variables

18

Period-Luminosity Relationship

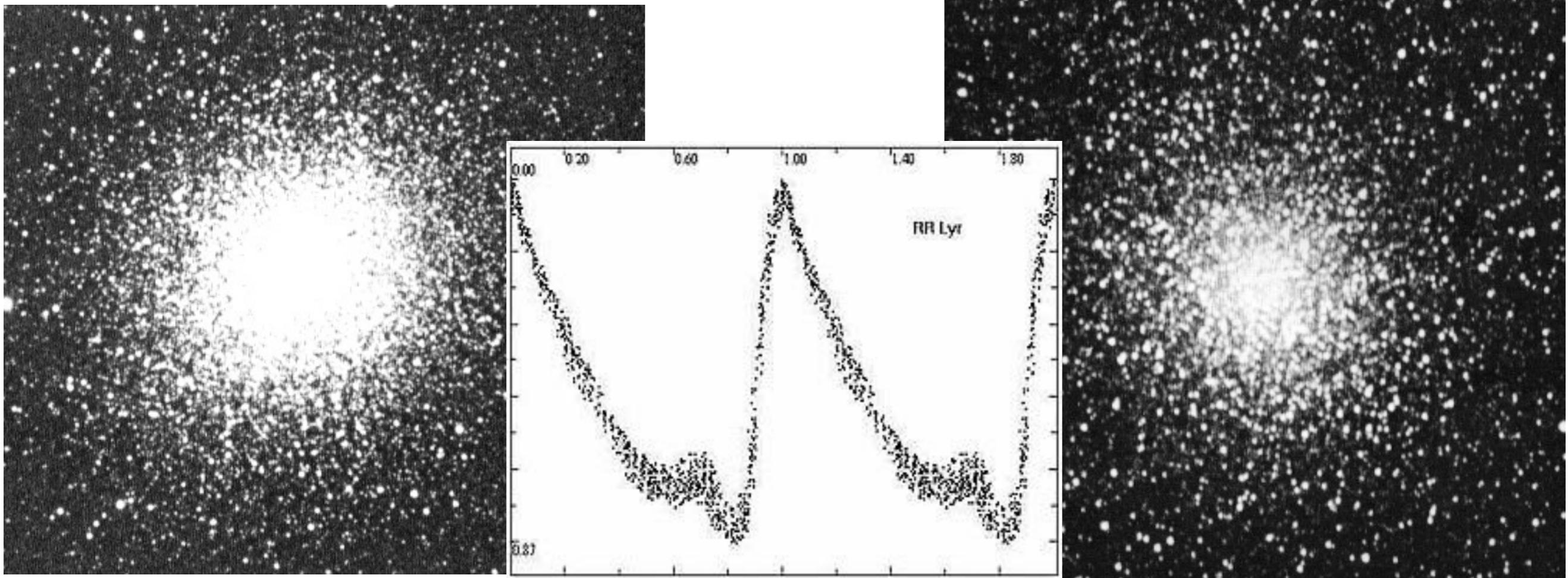


- the pulsation period of **Cepheid variables** is directly related to their average luminosity

21

Harlow Shapley (1885-1972)

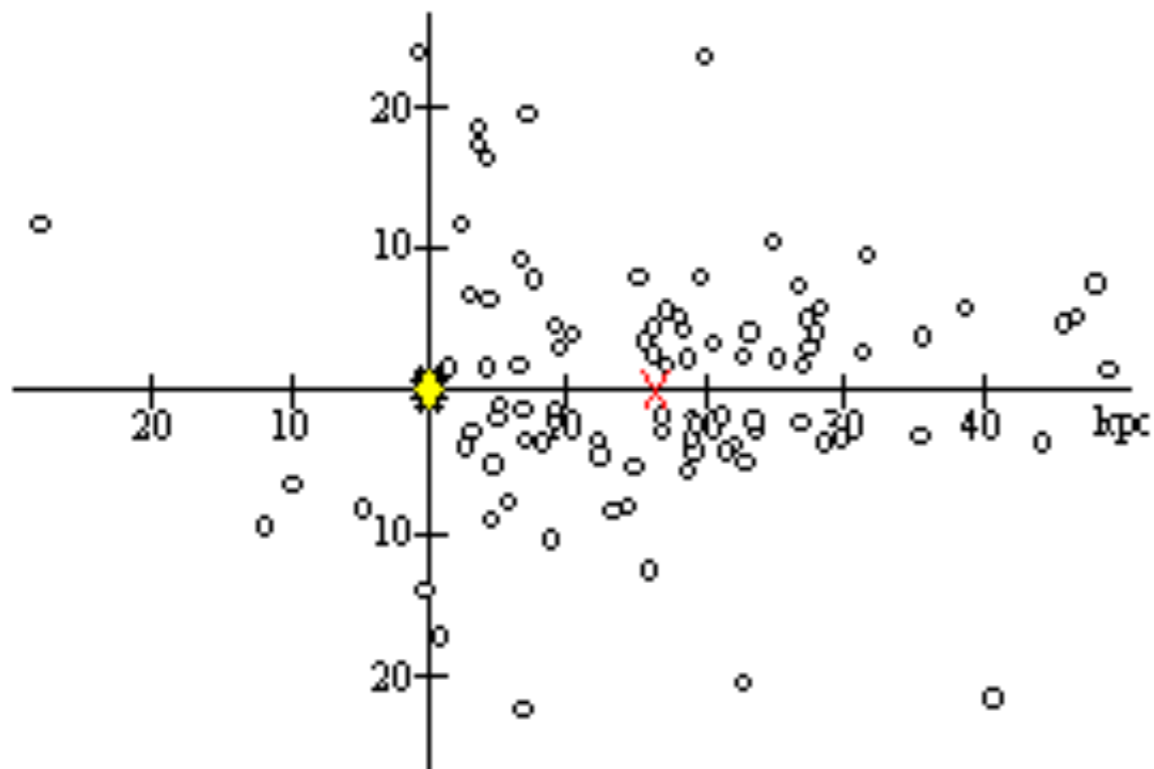
- egyetem: Princeton
- Wilson-hegyi csillagvizsgáló (Kalifornia)
- gömbhalmazok távolságmérése változócsillagokból



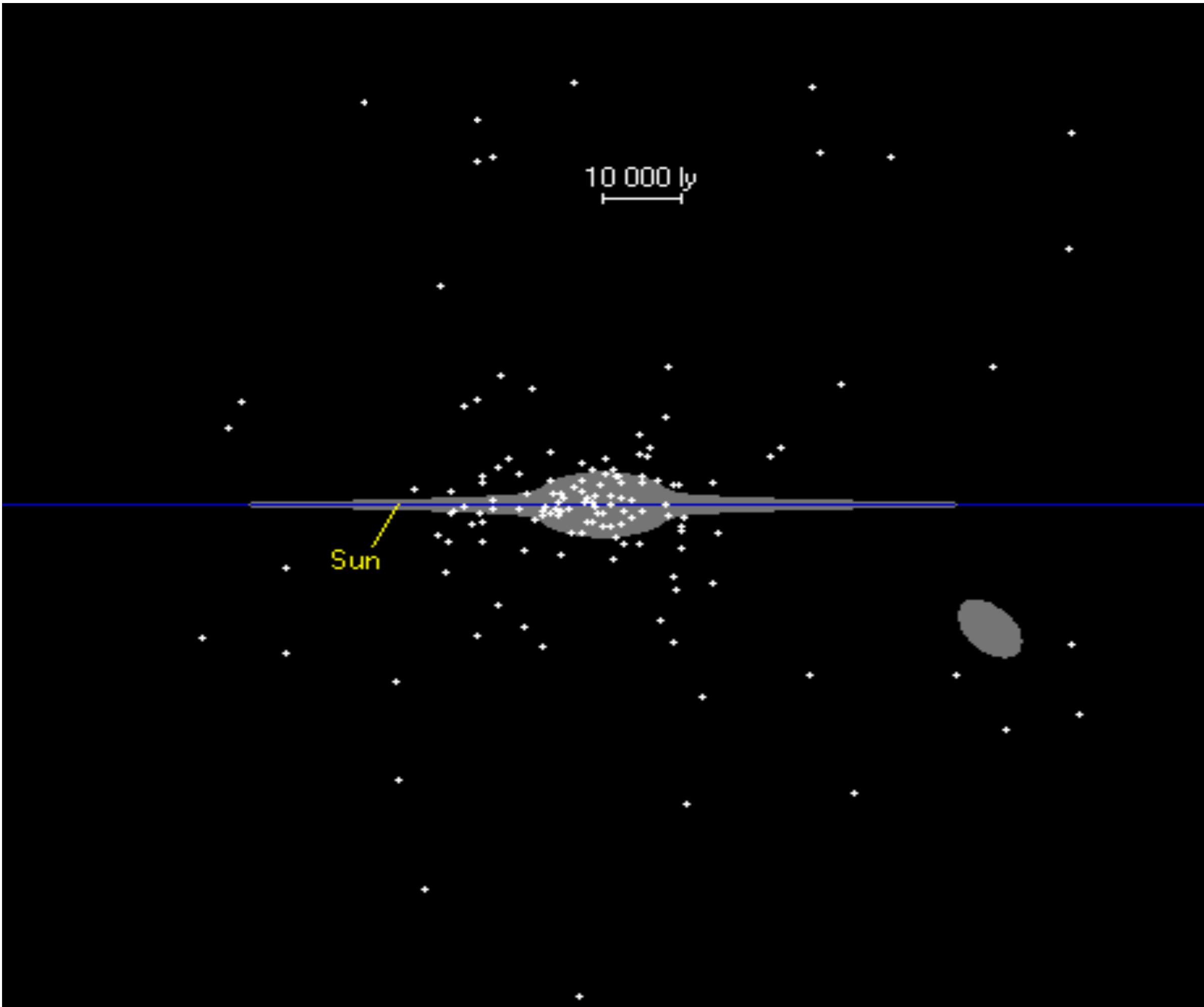
A gömbhalmazok távolságmérésének eredménye:
- a gömbhalmazok nem a Nap körül csoportosulnak

Shapley következtetése:
- a Nap NEM a Tejútrsz. középpontja

Shapley's Globular Cluster Distribution

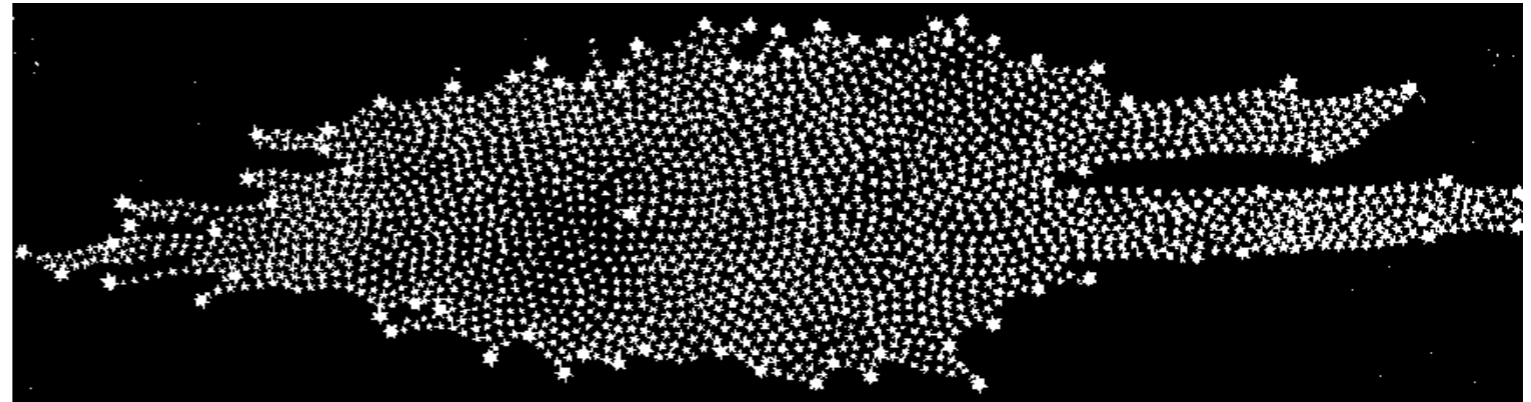


M5 © Anglo-Australian Observatory
Photograph by David Malin

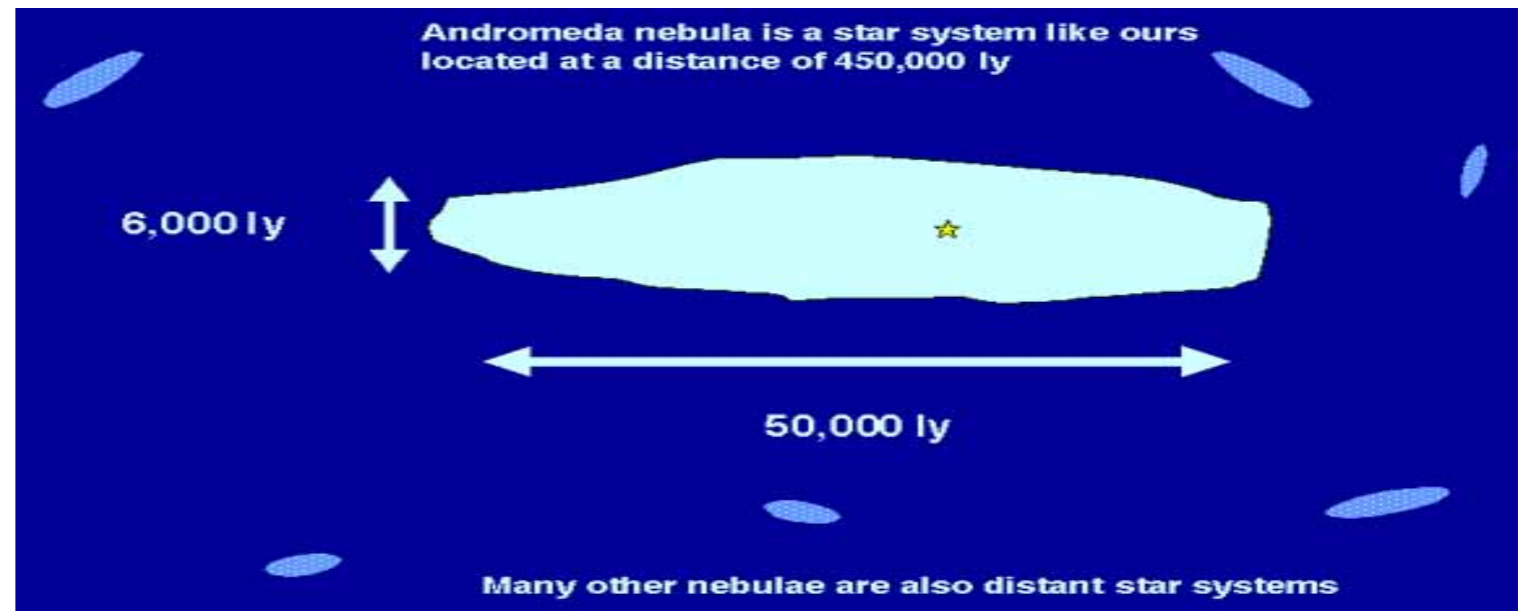


A Tejútrendszer alakjának "fejlődése"

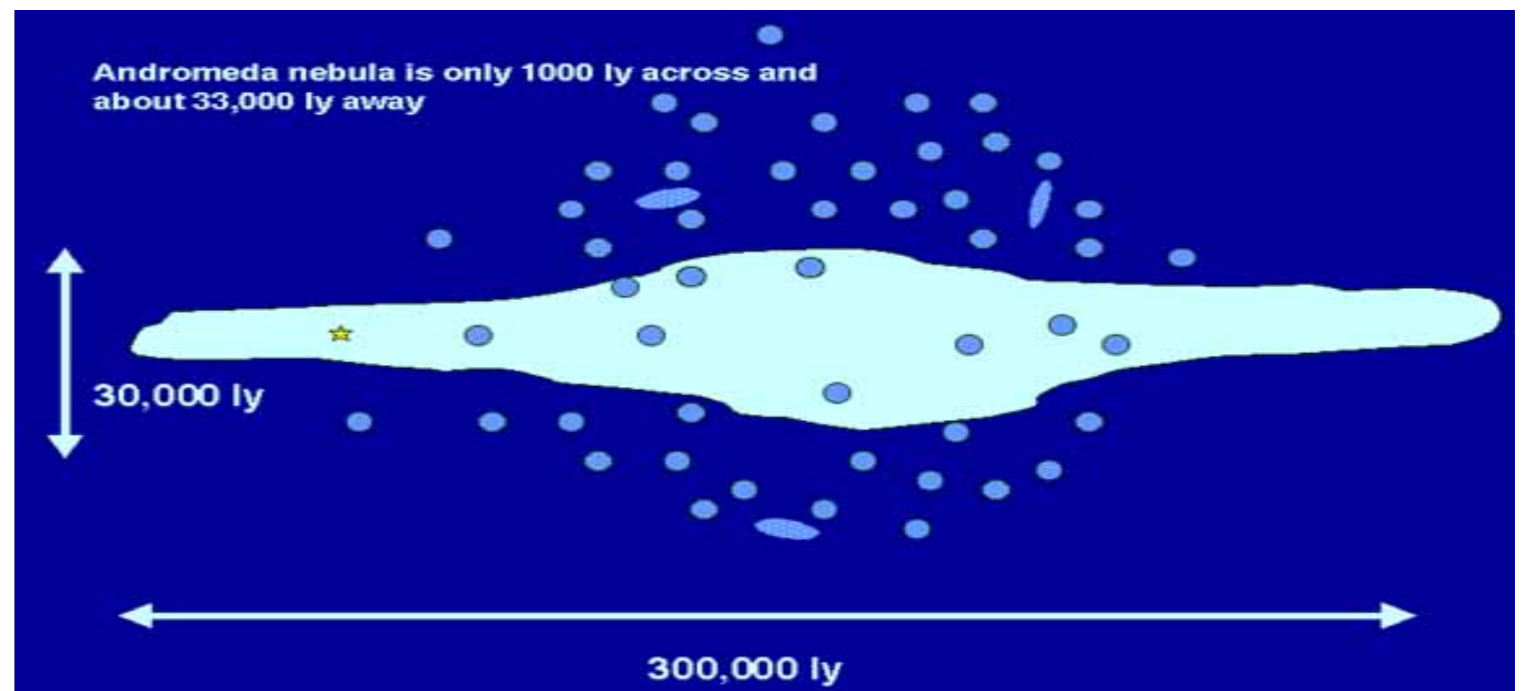
W.Herschel (1800)



J. Kapteyn (1920)



H. Shapley (1920)



Tejút --> Tejútrendszer



A Nagy Vita: 1920. április 26.

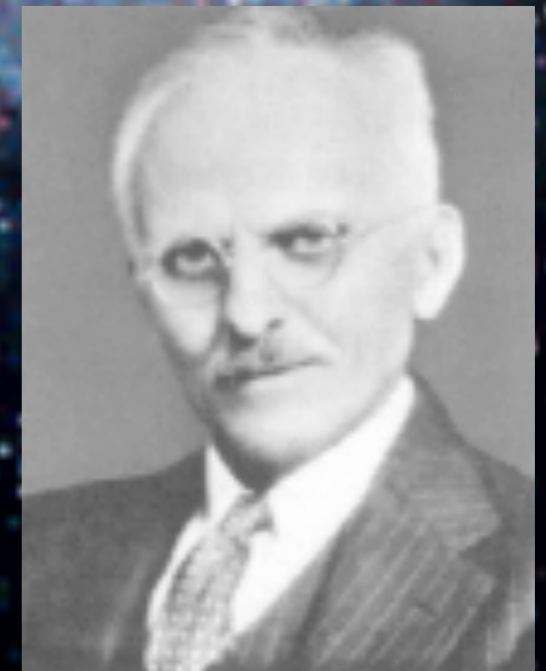


Harlow Shapley:

- a Tejútrendszer óriási
- a spirálködök közeli bolygórendszerek

Heber Curtis:

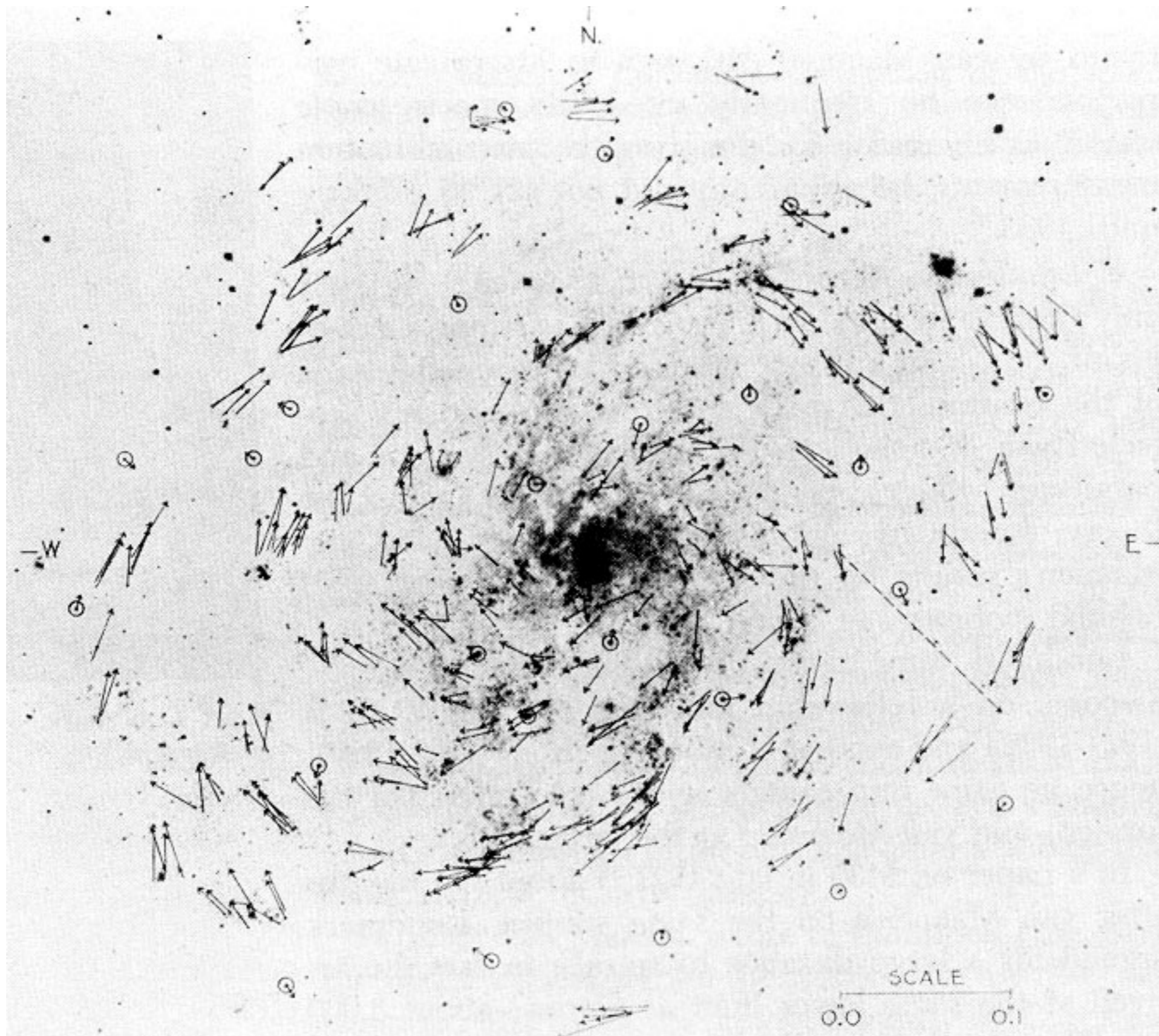
- a Tejútrendszer kicsi
- a spirálködök távoli csillagrendszerek



Shapley érvei:

- a gömbhalmazok távolságai alapján a Tejútrsz. óriási
- a spirálködök forognak (M101, van Maanen 1916)
- az Andromeda-ködben 1885-ben új csillagot figyeltek meg (S And) --> nem lehet távoli

van Maanen "felfedezése"




Shapley érvei:

- a gömbhalmazok távolságai alapján a Tejútrsz. óriási
- a spirálködök forognak (M101, van Maanen 1916)
- az Andromeda-ködben 1885-ben új csillagot figyeltek meg (S And) --> nem lehet távoli

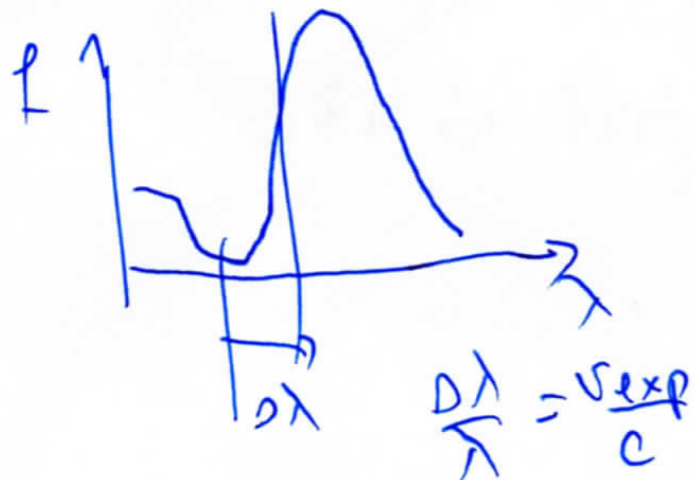
- vöröslés: Nova Per 1901 → expanziós parallaxis a spektrométer; mg lehetett
becsülni a távolságot és azonosítást fizessék maximumban.

Centri nyújtási változás:


$$\delta^*(t) = \frac{v_{exp} \cdot t}{d}$$

$$d = \frac{v_{exp} \cdot t}{\delta^*(t)}$$

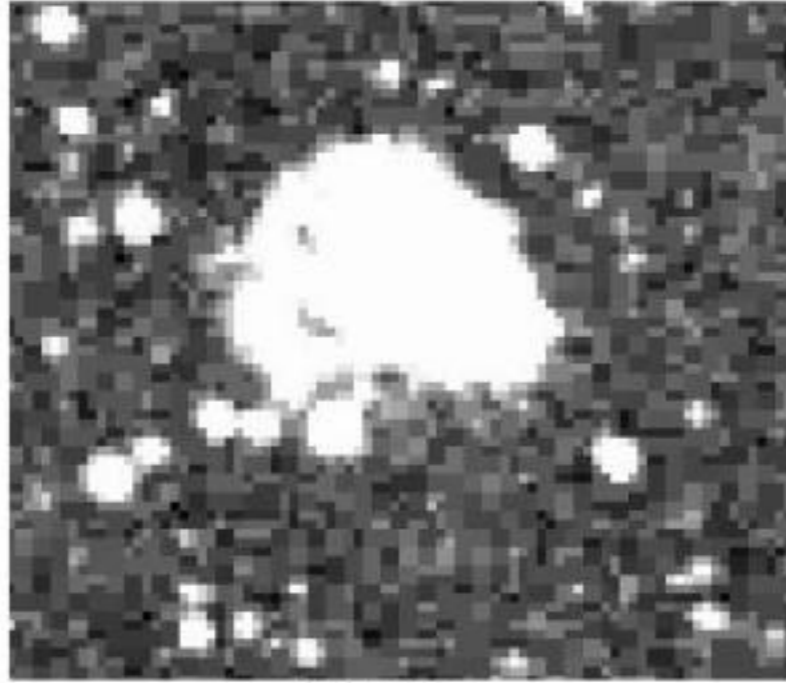
(460 pc a Nova Per 1901-re)



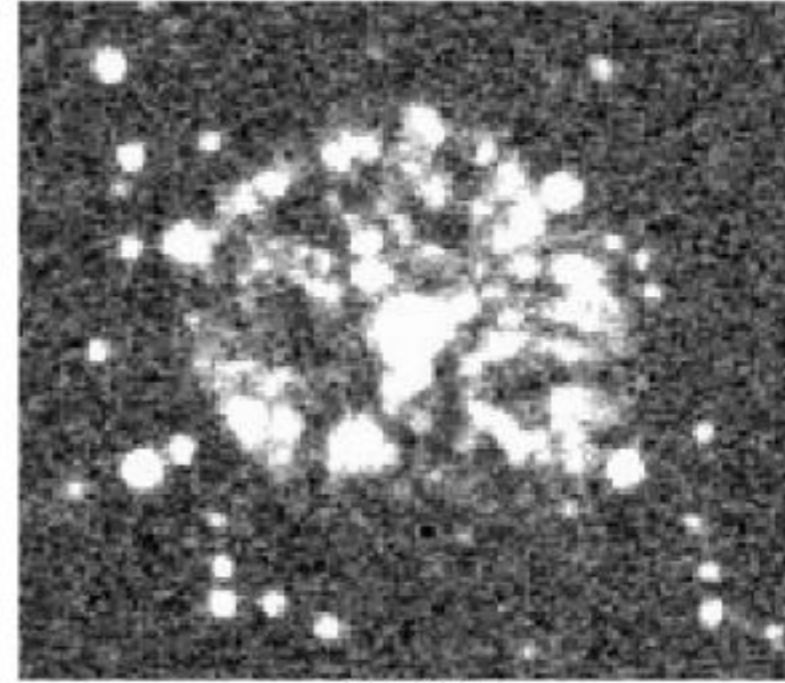
1885: S And on M31-ben

~ bonyvis max → 2.5 kpc-re van on M31

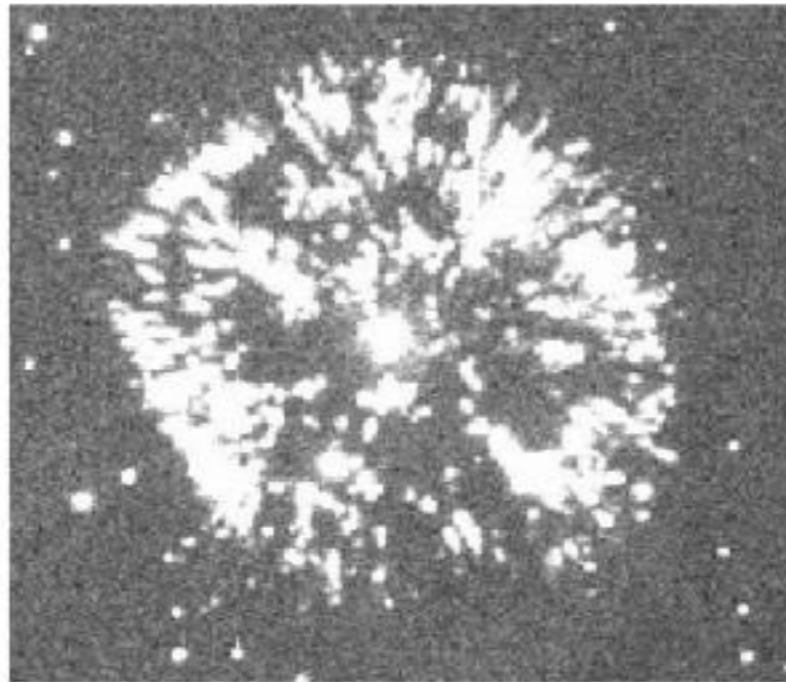
GK Persei



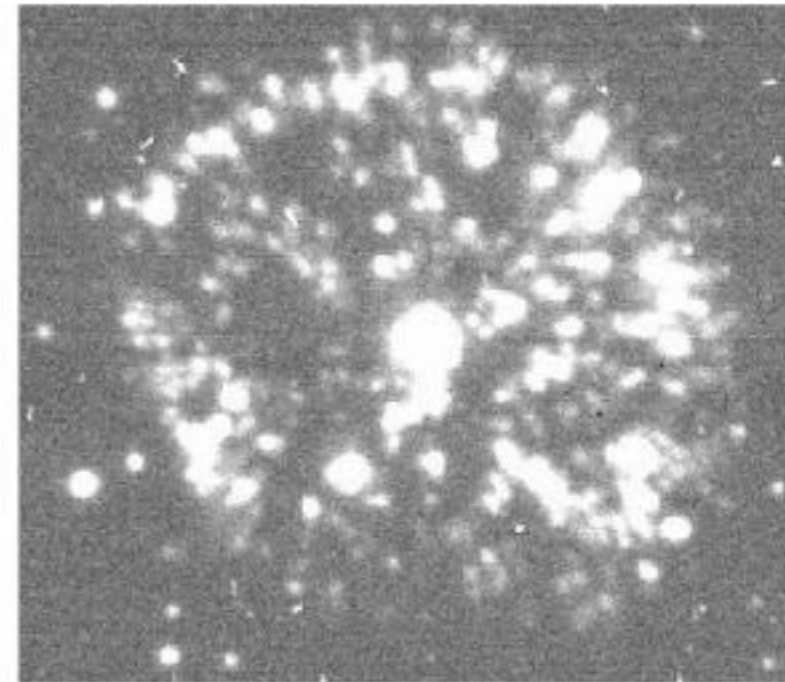
1957



1989



1993



2001

Shapley érvei:

- a gömbhalmazok távolságai alapján a Tejútrsz. óriási
- a spirálködök forognak (M101, van Maanen 1916)
- az Andromeda-ködben 1885-ben új csillagot figyeltek meg (S And) --> nem lehet távoli

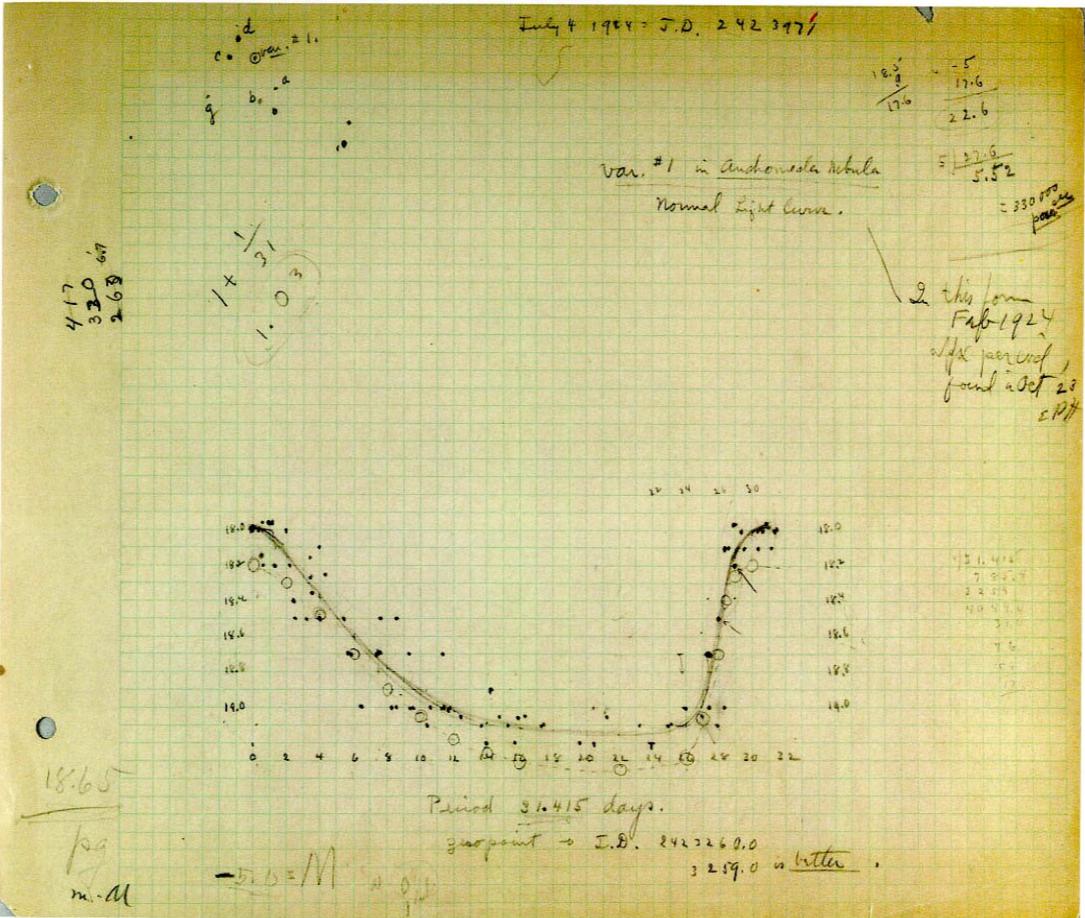
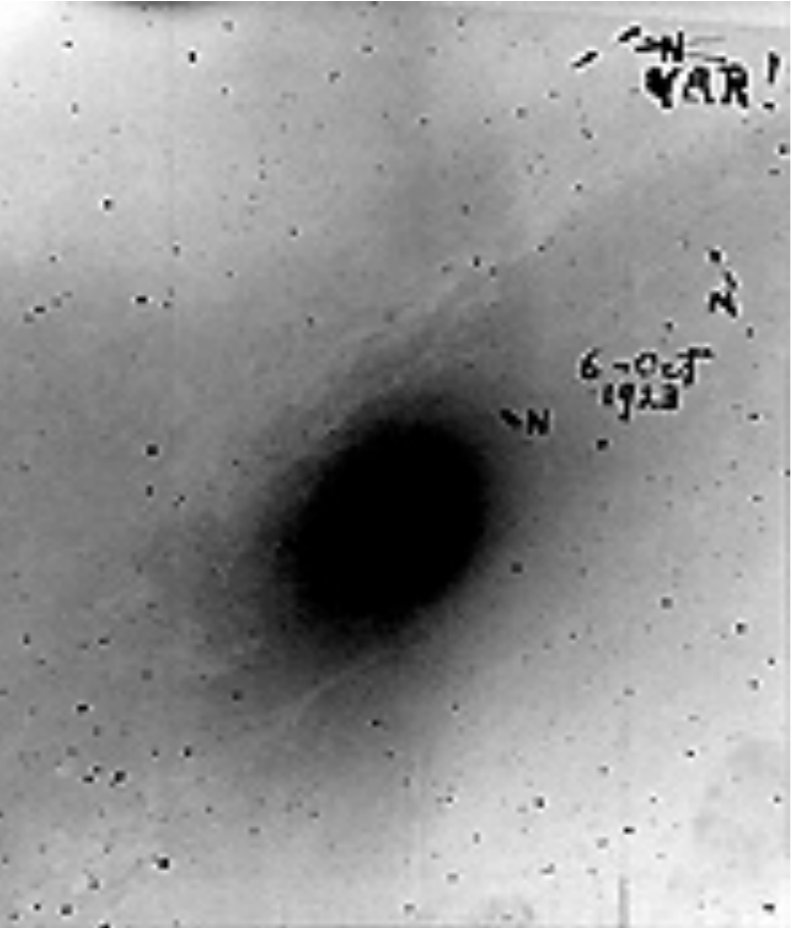
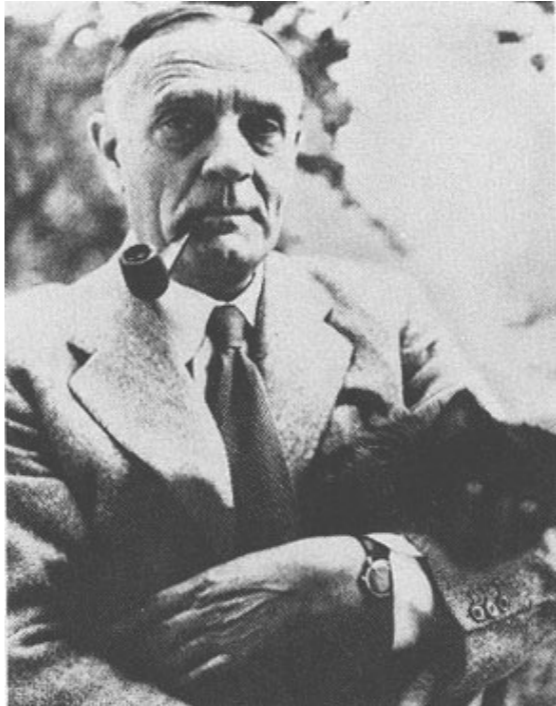
- spirálködök eloszlása: kitüntetett eloszlás, a Tejútrendszer síkjától messze
- spirálködök sebessége: Vesto Slipher mérései szerint mindegyik nagy sebességgel távolodik a Tejútrendszertől, tehát köze van hozzá

Curtis érvei:

- nóvák: 1917-ben halvány nóvák felfedezése az M31-ben (15-17 magnitúdósak) -> az S And valami egészen különleges dolog volt (szupernóva).
Ha a halvány nóvákat hasonlítjuk össze a GK Per-rel, akkor az M31 150 kpc-re van.
- spirálködök átmérője: 3 nagyságrendet változik, nehezen egyeztethető össze a Tejútrendszeren belüli helyzettel
- spirálködök eloszlása: megmagyarázható, ha a Tr. síkjában sok fényelnyelő anyag van
- spirálködök sebessége: nincs semmi ok, ami miatt ne lehetne nagy sebességűk a Tejúthoz képest

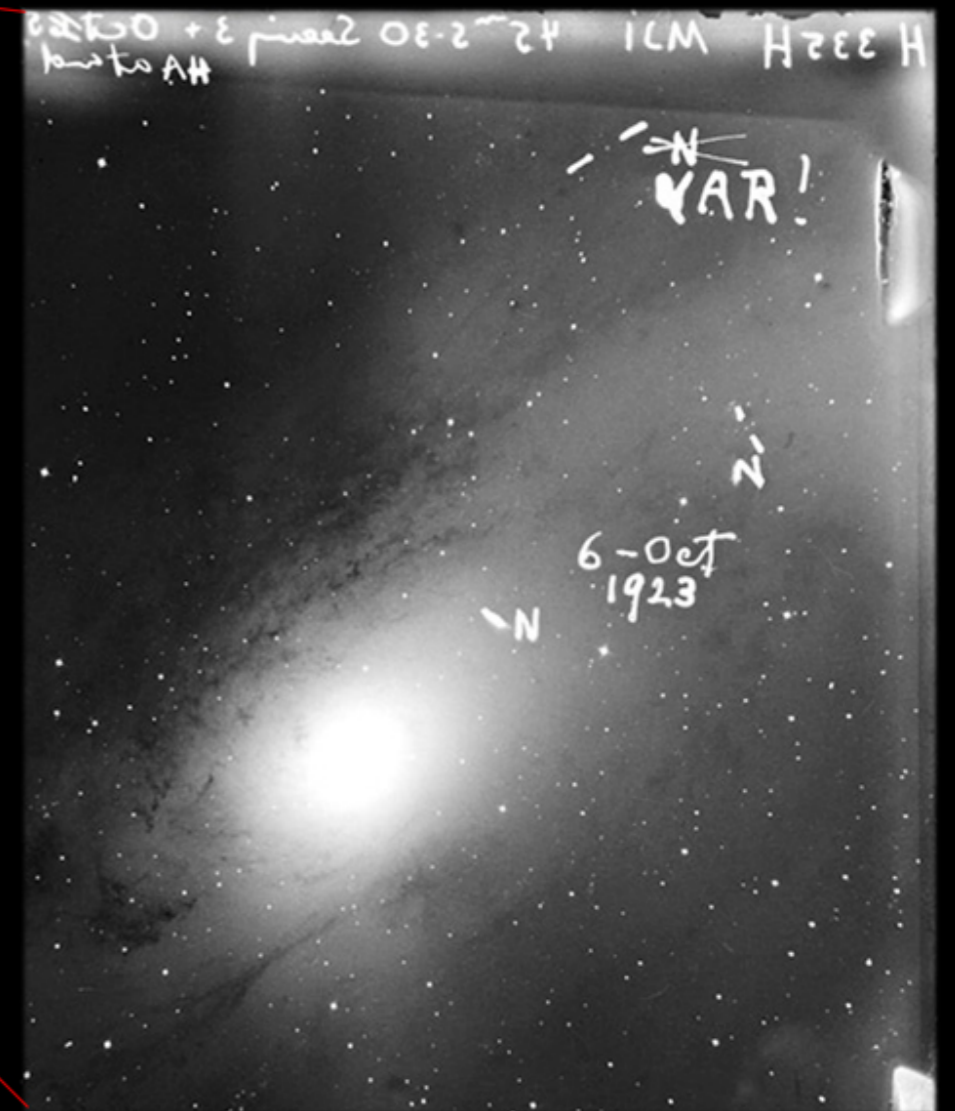
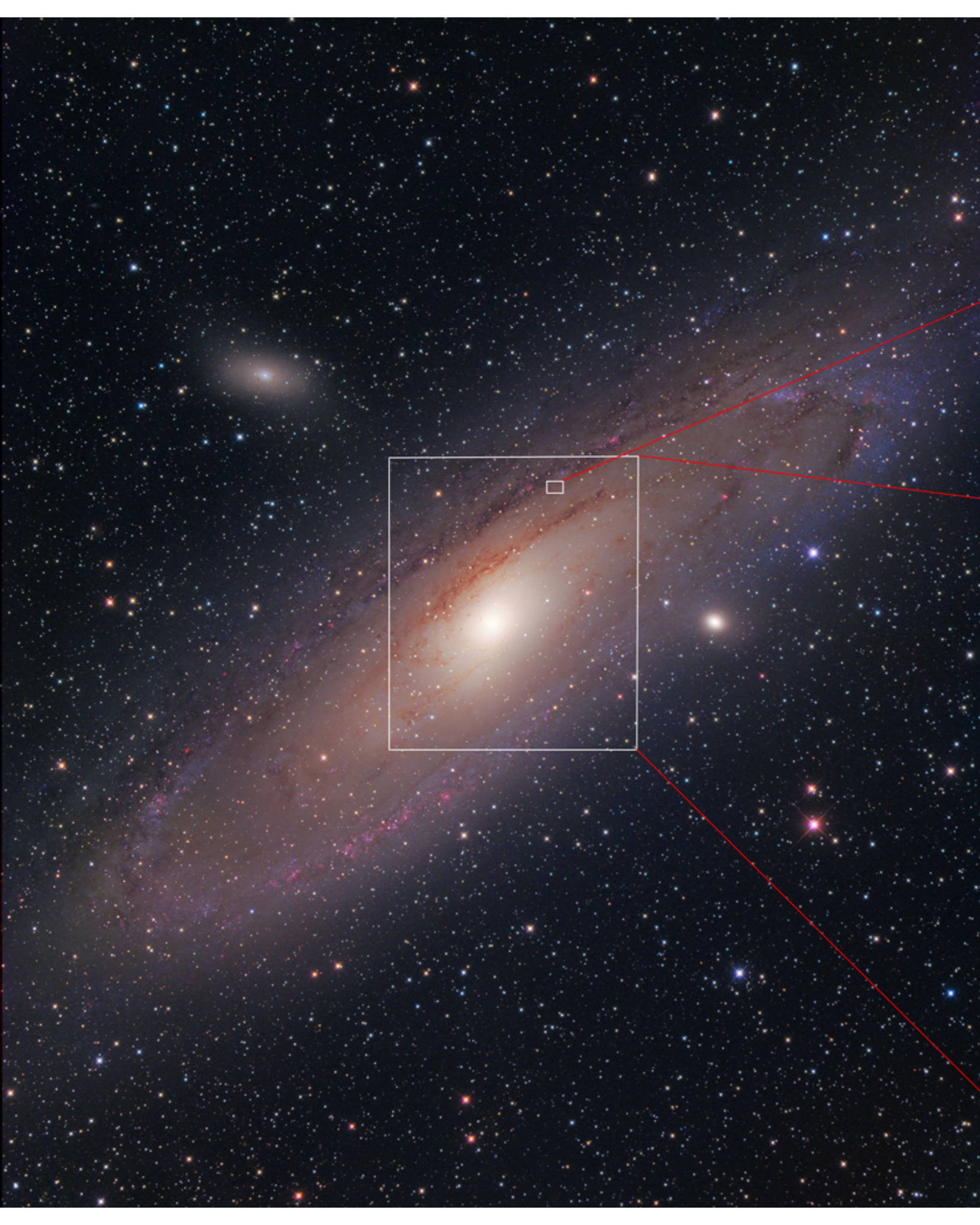
Edwin Hubble (1889-1953)

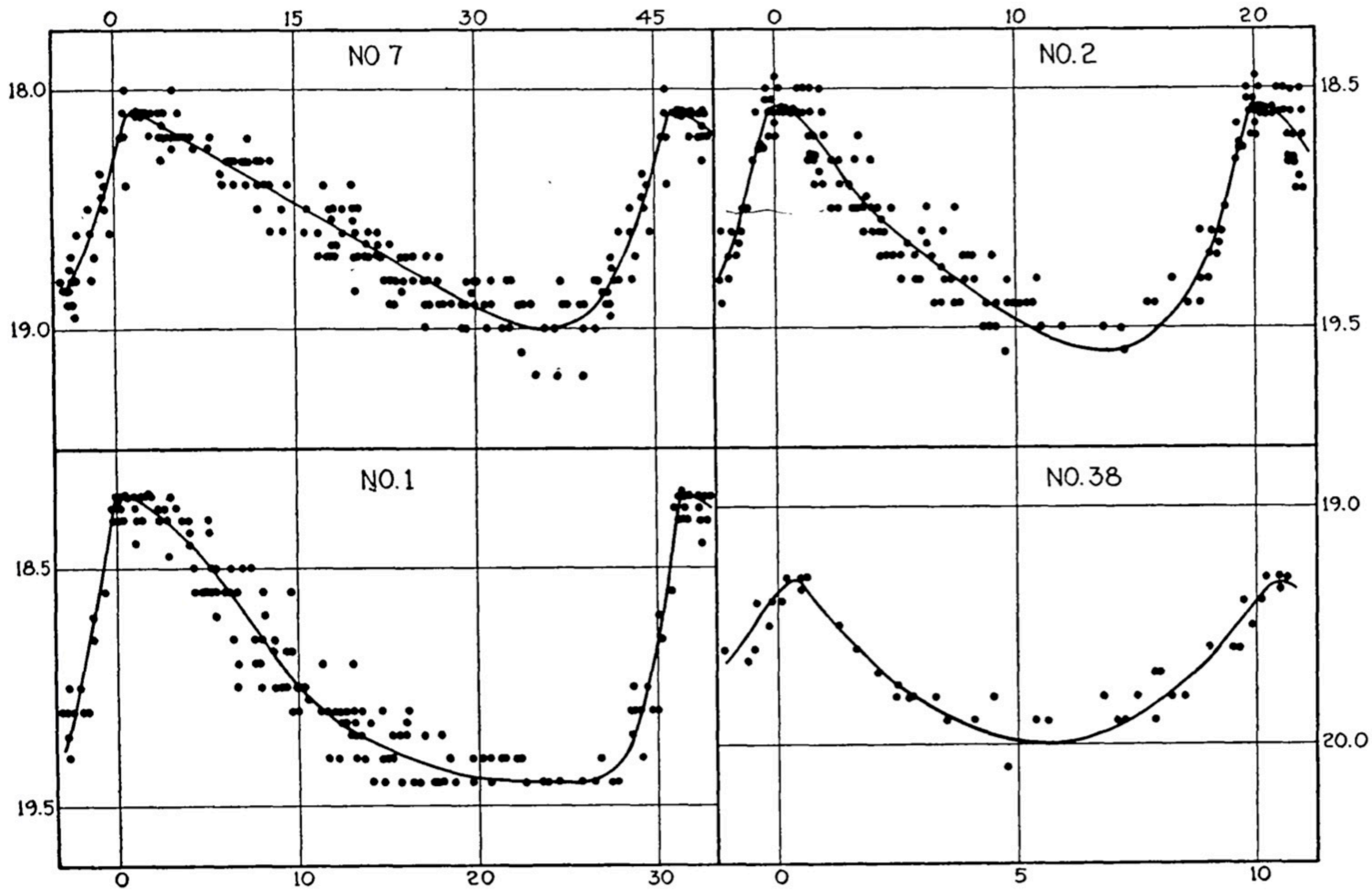
- Wilson-hegyi cs.v.
- csillagok azonosítása az M31-ben és M33-ban
- cefeida csillagok felfedezése, távolságmérés
- a spirálködök = távoli galaxisok

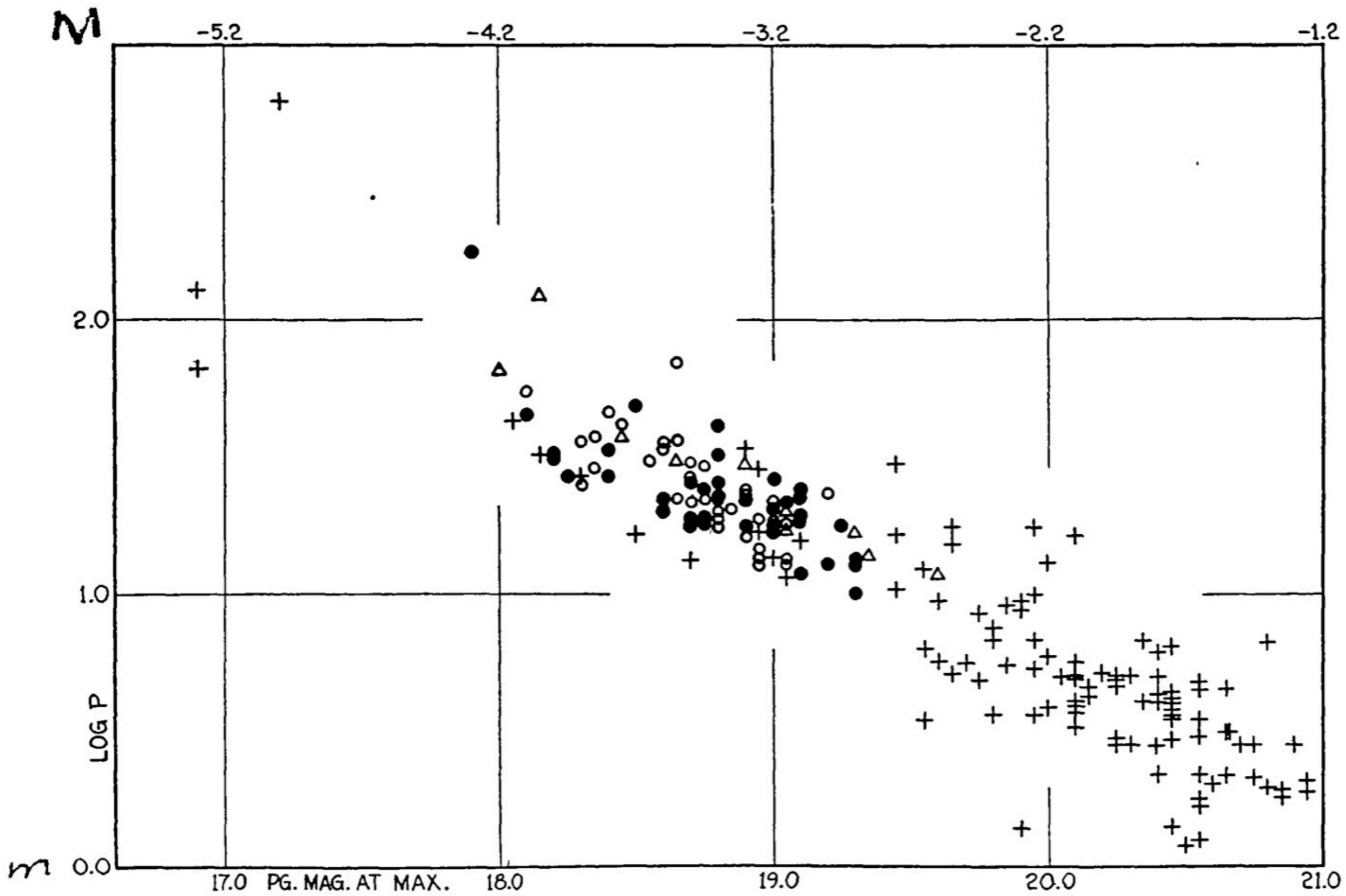


M33 © IAC/IGO/Malin
Photo from Isaac Newton Telescope Plates
by David Malin

- Mt. Wilson 100"-es (2,5 m-es) teleszkóp
1919-1924 között csillagaira bontotta az M31-et és M33-at
- 1924: első cefeidák felfedezése az M31-ben
Még ugyanabban az évben: 33 cefeida az M31 és M33 spirálködökben







N.G.C. 6822, A REMOTE STELLAR SYSTEM¹

By EDWIN HUBBLE

(1925)

ABSTRACT

A study of N.G.C. 6822.—The object is a very faint cluster of stars and nebulae, about $20' \times 10'$, resembling the Magellanic Clouds. Detailed investigations confirm the similarity and show that it extends to many structural features of these systems. Familiar relations such as those connecting periods and luminosities of Cepheids, luminosities of brightest stars involved in diffuse nebulae, and frequencies of the most luminous stars in the systems are consistent when applied to N.G.C. 6822, the first object definitely assigned to a region outside the galactic system.

Variable stars.—Eleven of the fifteen variables found in the cluster are Cepheids. A system of photographic magnitudes has been established from comparisons with the two nearest Selected Areas; and periods, light-curves, and magnitudes have been determined for the Cepheids. The periods range from 12 to 64 days and the magnitudes at maximum, from 17.45 to 19.05. The period-luminosity relation is conspicuous, and a comparison with Shapley's general curve in *Harvard Circular*, No. 280, indicates a distance for N.G.C. 6822 of 214,000 parsecs. $m - M = 21.65$.

Nebulae.—Five diffuse nebulae are involved in the cluster. The four brightest show emission spectra similar to those of the diffuse galactic nebulae. A radial velocity of +25 km/sec., uncorrected for solar motion, has been derived from one slit spectrogram of the brightest nebula. The mean diameter of the diffuse nebulae, about 40 parsecs, is comparable with those of the largest nebulae in other systems. In addition to the diffuse nebulae, several small objects are present which are probably non-galactic nebulae whose images are superposed on that of the cluster.

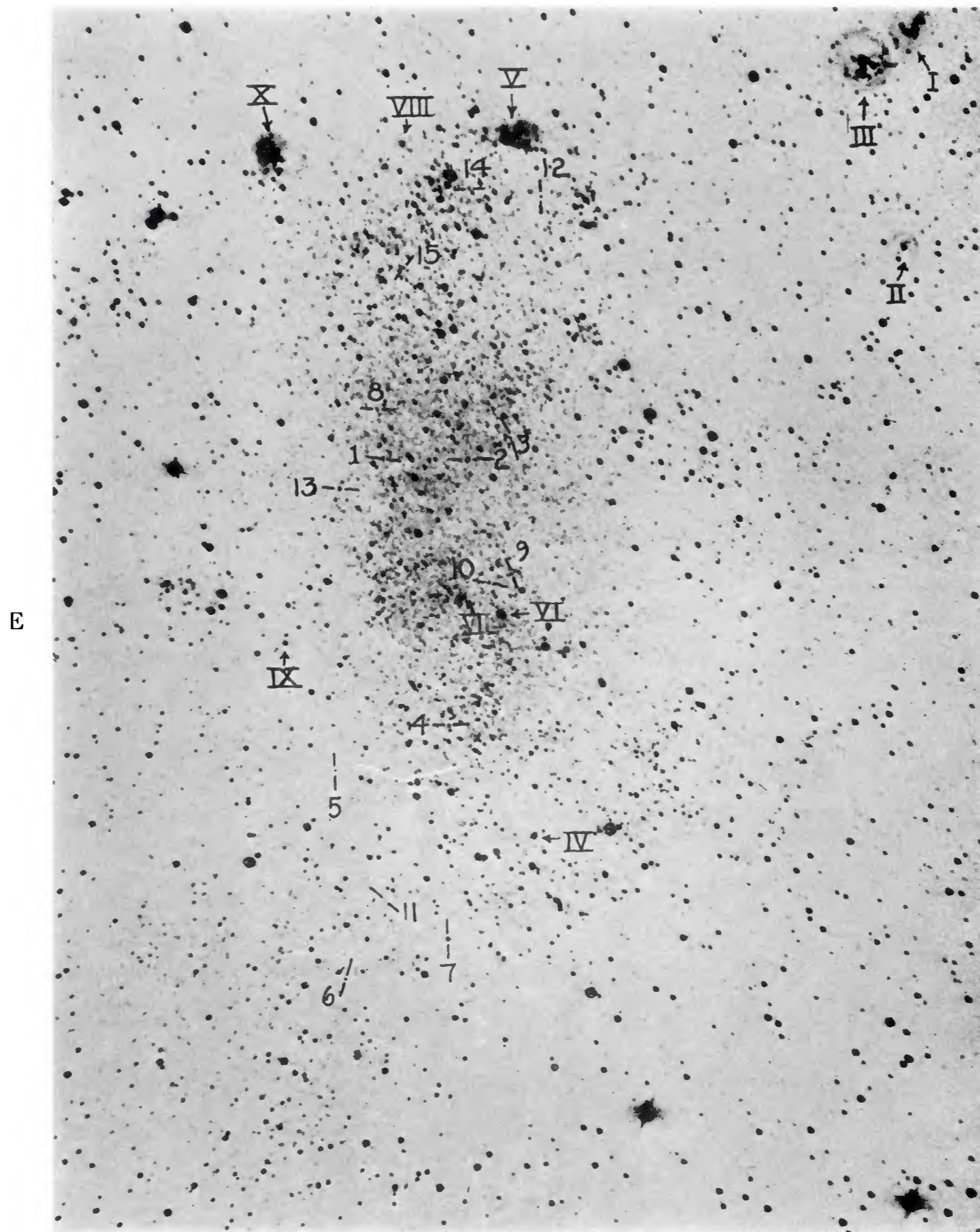
Star counts.—The distribution of apparent photographic magnitudes has been determined down to 19.4, corresponding to absolute magnitude -2.25 . The brightest stars in the system are of absolute magnitude about -5.8 . When a mean color-index of +1.35 is assigned to the cluster stars, their frequencies are very similar to those of the absolute visual magnitudes in the vicinity of the sun.

Luminosity and space density.—The surface brightness of the central core is about 22.1 photographic magnitudes per square second of arc. This value leads to a total absolute magnitude of -12.0 for the core, or -12.7 for the entire system, and to a space density of about 6.1 absolute magnitudes per cubic parsec for the core, or 8.8 for the entire system.

Cepheid criterion of distance.—Since the Cepheid criterion appears to function normally in N.G.C. 6822, its value as a means of exploring extragalactic space is considerably enhanced.

Influence of instruments on observations of nebulae.—A summary of the early observations of N.G.C. 6822 illustrates the confusion which may arise from disregarding the limitations of various types of instrument and emphasizes the caution required in discussing observations of nebulae.

N



N.G.C. 6822

Negative print of Plate XIV. Variable stars are designated by Arabic figures; nebulae involved in or superposed on the cluster by Roman numerals.

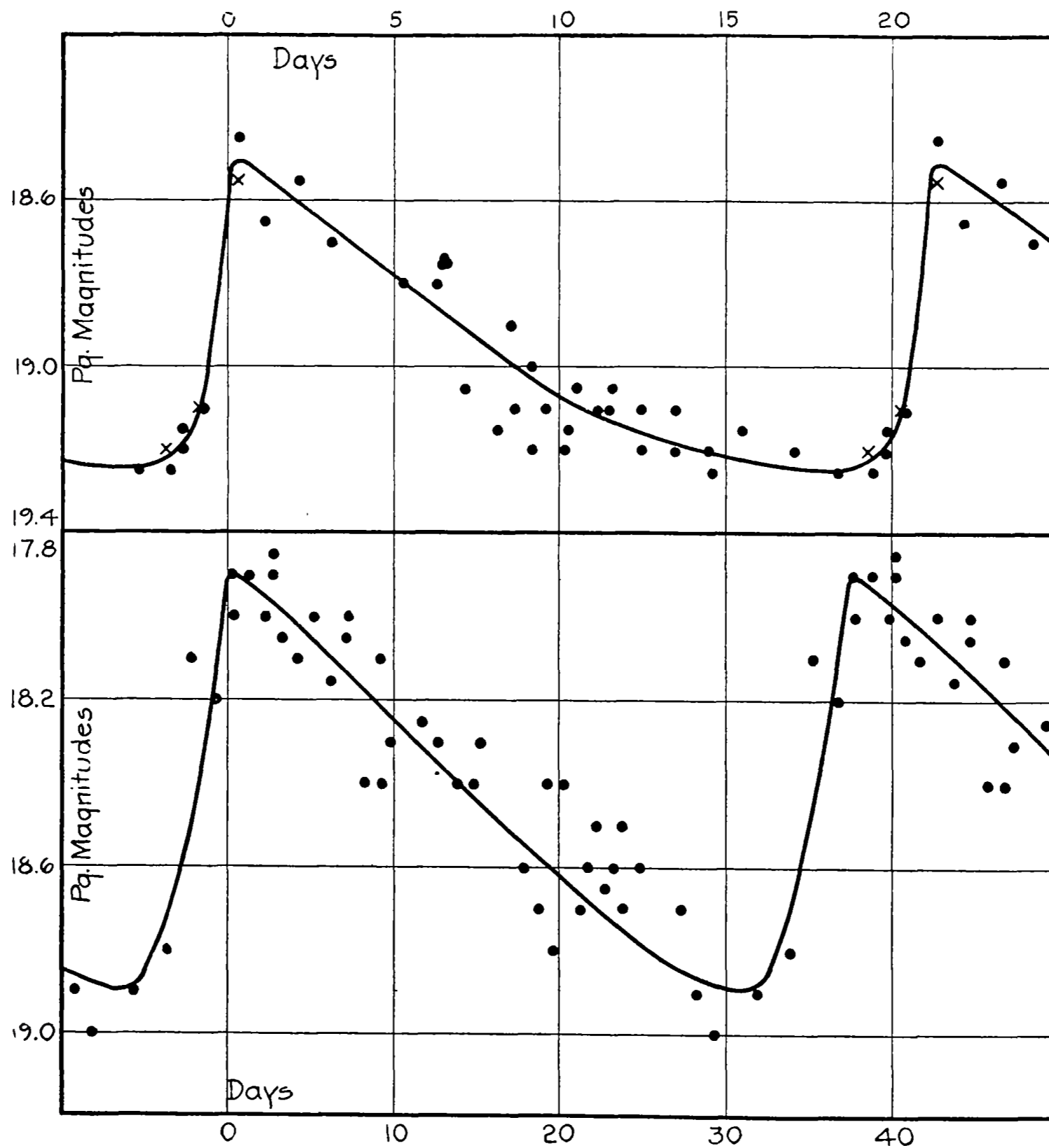


FIG. 1.—Light curves for two Cepheids in N.G.C. 6822. Upper curve, variable No. 6. Period 21.06 days; range 18.5–19.25. Lower curve, variable No. 2. Period 37.45 days; range 17.9–18.9. The three crosses on the rising slope of the upper curve represent observations on successive days and illustrate the rapid brightening of the variables.

EXTRA-GALACTIC NEBULAE¹

By EDWIN HUBBLE

(1926)

ABSTRACT

This contribution gives the results of a statistical investigation of 400 extra-galactic nebulae for which Holetschek has determined total visual magnitudes. The list is complete for the brighter nebulae in the northern sky and is representative to 12.5 mag. or fainter.

The classification employed is based on the forms of the photographic images. About 3 per cent are irregular, but the remaining nebulae fall into a sequence of type forms characterized by rotational symmetry about dominating nuclei. The sequence is composed of two sections, the elliptical nebulae and the spirals, which merge into each other.

Luminosity relations.—The distribution of magnitudes appears to be uniform throughout the sequence. For each type or stage in the sequence, the total magnitudes are related to the logarithms of the maximum diameters by the formula,

$$m_T = C - 5 \log d,$$

where C varies progressively from type to type, indicating a variation in diameter for a given magnitude or vice versa. By applying corrections to C , the nebulae can be reduced to a standard type and then a single formula expresses the relation for all nebulae from the Magellanic Clouds to the faintest that can be classified. When the minor diameter is used, the value of C is approximately constant throughout the entire sequence. The coefficient of $\log d$ corresponds with the inverse-square law, which suggests that the nebulae are all of the same order of absolute luminosity and that apparent magnitudes are measures of distance. This hypothesis is supported by similar results for the nuclear magnitudes and the magnitudes of the brightest stars involved, and by the small range in luminosities among nebulae whose distances are already known.

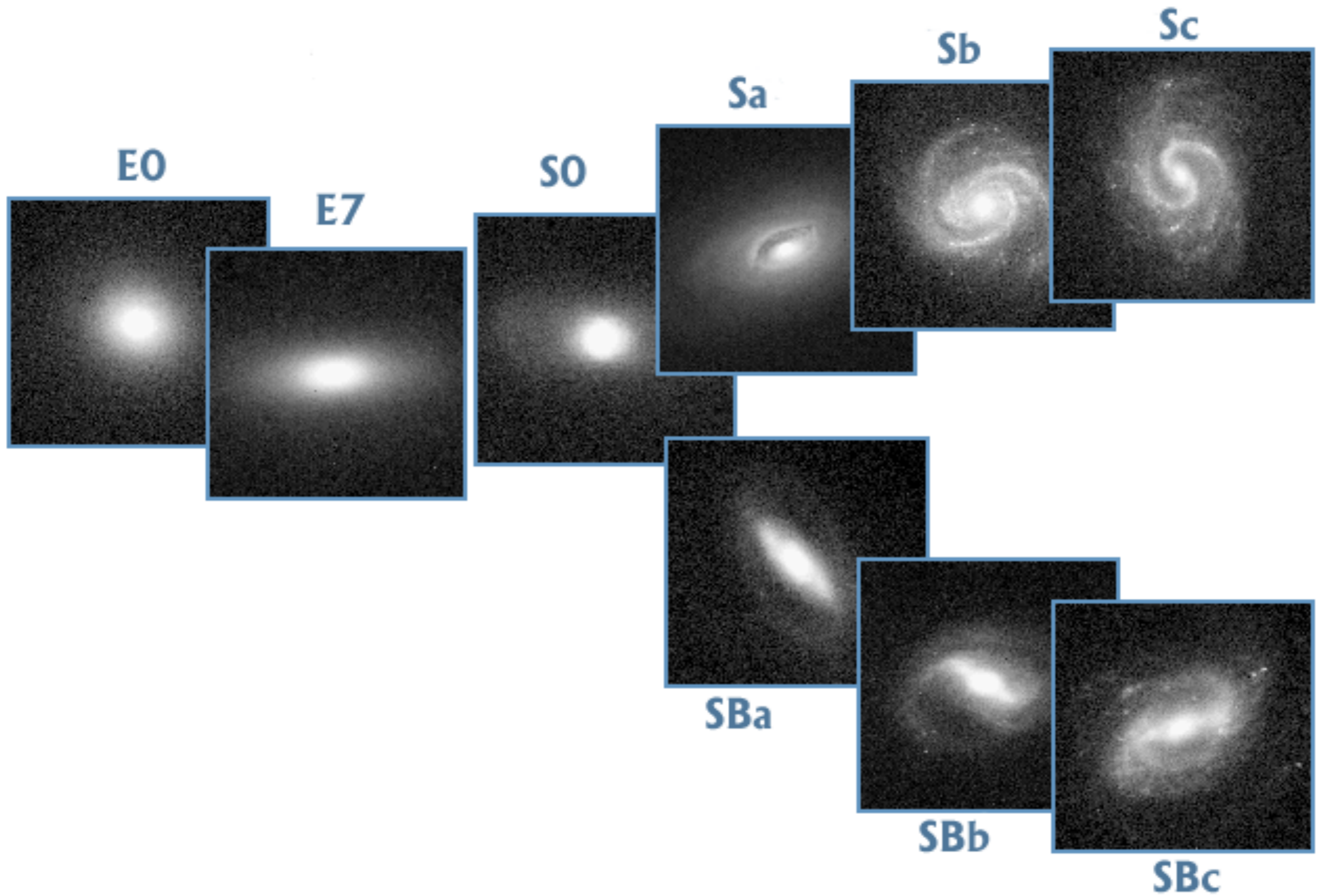
Distances and absolute dimensions.—The mean absolute visual magnitude, as derived from the nebulae whose distances are known, is -15.2 . The statistical expression for the distance in parsecs is then

$$\log D = 4.04 + 0.2 m_T,$$

where m_T is the total apparent magnitude. This leads to mean values for absolute dimensions at various stages in the sequence of types. Masses appear to be of the order of $2.6 \times 10^8 \odot$.

Distribution and density of space.—To apparent magnitude about 16.7, corresponding to an exposure of one hour on fast plates with the 60-inch reflector, the numbers of nebulae to various limits of total magnitude vary directly with the volumes of space represented by the limits. This indicates an approximately uniform density of space, of the order of one nebula per 10^{17} cubic parsecs or 1.5×10^{-31} in C.G.S. units. The corresponding radius of curvature of the finite universe of general relativity is of the order of 2.7×10^{10} parsecs, or about 600 times the distance at which normal nebulae can be detected with the 100-inch reflector.

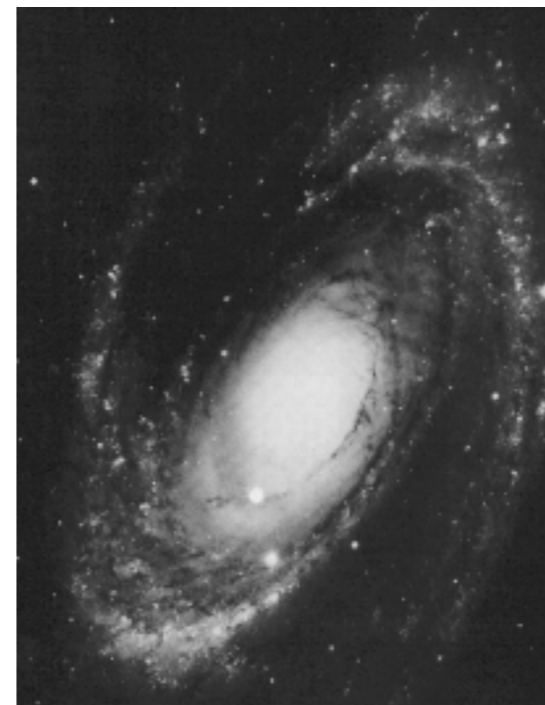
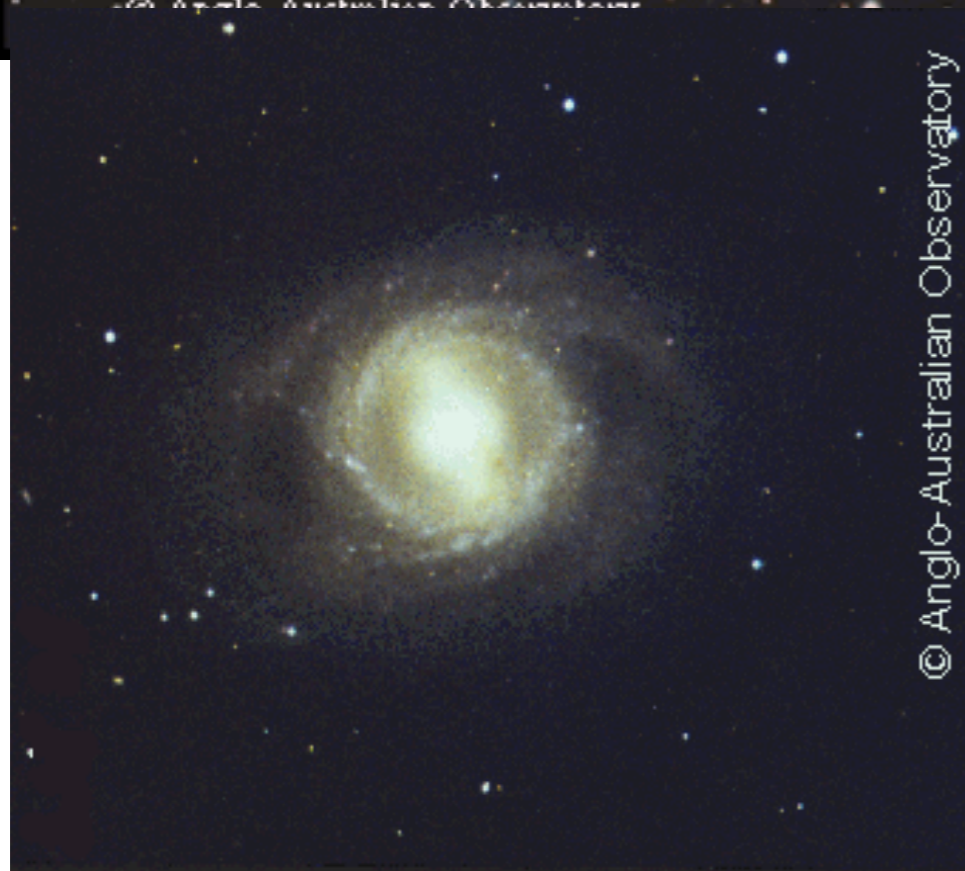
Hubble-féle galaxis-osztályozás



Elliptikus galaxisok



Spirális galaxisok



Szabálytalan galaxisok



- Mt. Wilson 100"-es (2,5 m-es) teleszkóp
1919-1924 között csillagaira bontotta az M31-et és M33-at
- 1924: első cefeidák felfedezése az M31-ben
Még ugyanabban az évben: 33 cefeida az M31 és M33 spirálködökben
- Cefeidák P-L relációja alapján:
M31 - 900 ezer fényév
M33 - 850 ezer fényév
(S And tényleg szupernóva volt!)
- 1937: Lokális Csoport felismerése

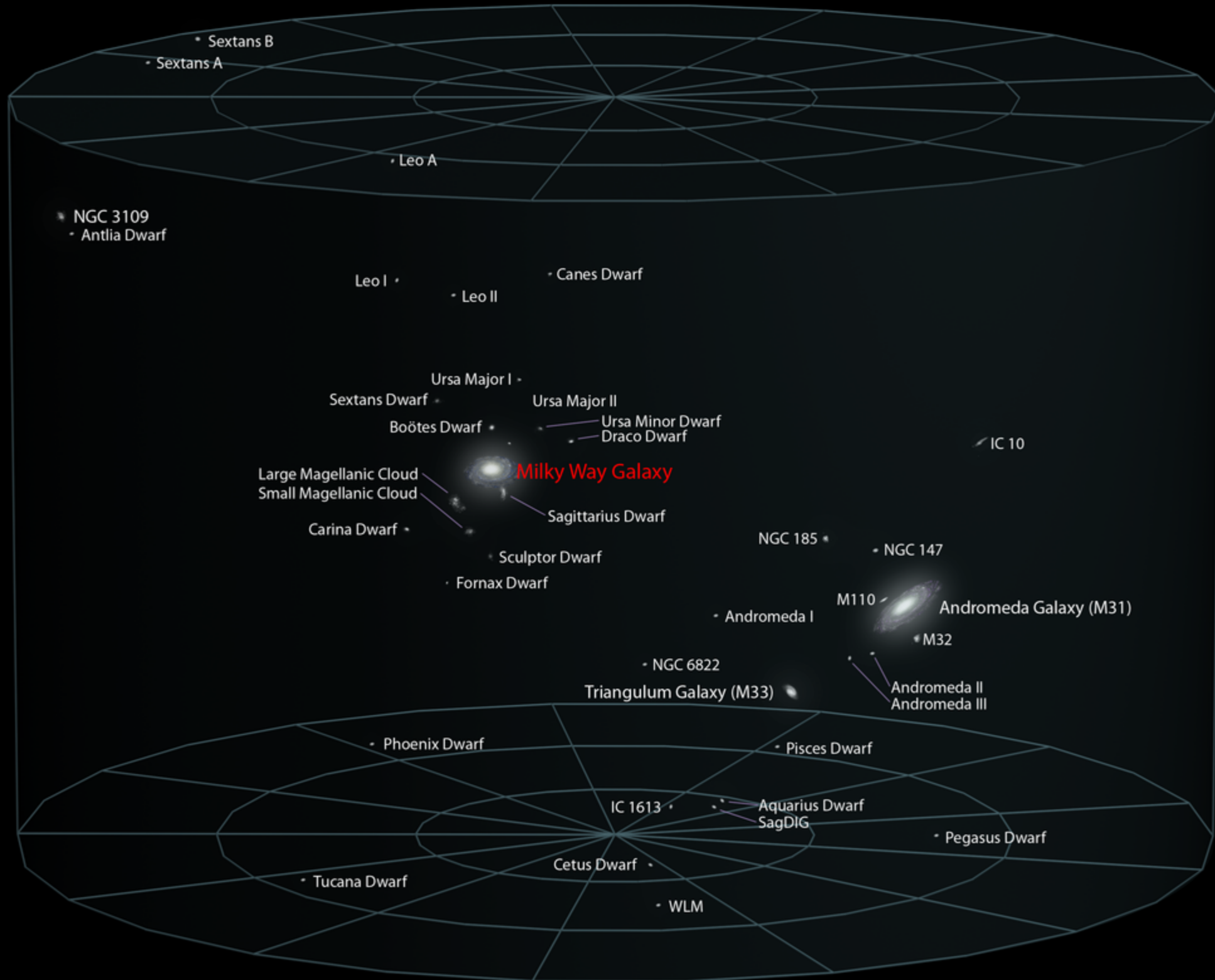
- Volt egy kis bibi: Hubble cefeidák alapján távolságokat mért, majd a legnagyobb abszolút fényességű csillagok alapján 40 gx-ra becsült távolságot.
A látszó szögátmérők alapján számolt valódi átmérő az **összes** galaxisra kisebbnek adódott, mint a Tejútrendszeré.
-> a galaxisok méretproblémája.

- Walter Baade (1942): Mt. Wilson, M31, nagy határfényességű fotók (világháború!)
Felfedezés: két típusú csillag létezik
 - kékes színű csillagok -> Pop. I -> fiatal, fémdús
 - vörös színű csillagok -> Pop. II -> idős, fémszegény
- Palomar-hegyi 5 m-es távcső: 300 db cefeida az M31-ben. Mindkét populációban vannak cefeidák, de eltérő abszolút fényességeknél
 - Pop. I cefeidák: delta Cep
 - Pop. II cefeidák: W Vir (4x halványabb)

- Kiderült, hogy a Shapley-féle P-L kalibráció a W Vir típusra volt jó (GH-k szintén Pop. II, ezért nem derült ki a hiba)
- Viszont az extragalaktikus cefeidák többsége Pop. I volt
- 1952: a populációk felfedezése, a P-L relációk rendbetétele. A Tejútr. maradt ugyanakkora, a galaxisok viszont kétszer távolabb kerültek (M31: 2-2,5 millió fényév)

Megoldódott a galaxisok méretproblémája.

LOCAL GALACTIC GROUP



(Wikipédia)

Távolabbi galaxisok

- Lokális Csoport után kinyílt az Univerzum
Nagyságrendileg százmilliárd galaxis!
- 20-30 Mpc-ig cefeidák és egyéb fényes csillagok
(pl. nóvák, vörös óriáság teteje - TRGB)
-> Virgo-halmazig kb.
- Mi a helyzet még távolabb?
-> tomboló empíria

① Plasteris lüdiš luminositätsfigura

4959 Å, 5007 Å

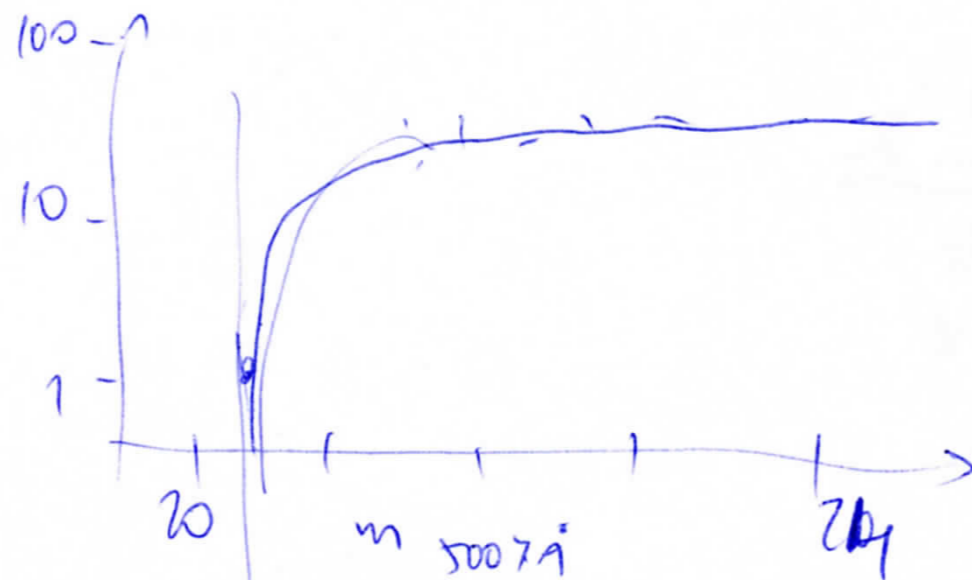
[0111] [0111] titelt wendel

Eg adett galaxian a wälyffjäd's adett firschen $10^4 \cdot 10^5$ wäly falälkats!

A lüdiš emisians nindafäl alpsian wäly länzen fels wälykät

(ländänin nindafäl ländett löper !)

De a luminositätsfigura eg adett ge PN-populatsion, van
müde.



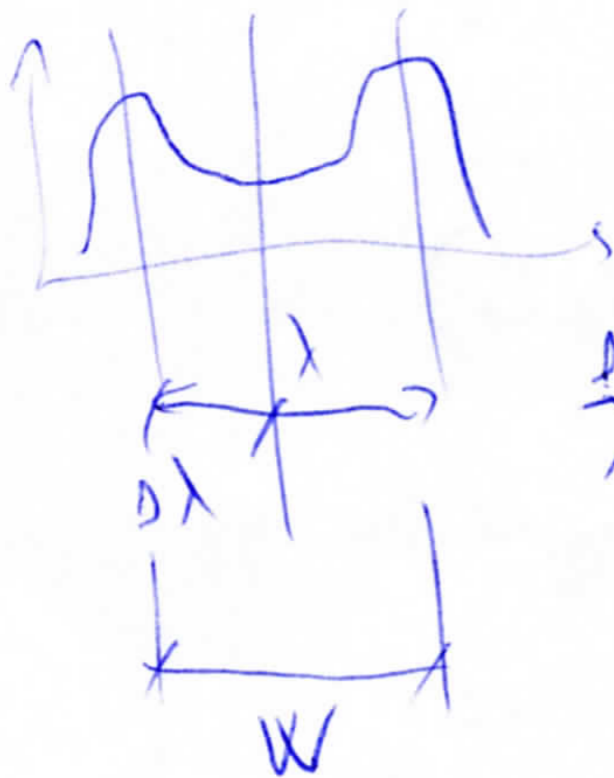
↓ Maximäls luminositäts (ländätaläts,
löffn't b feler löpe lörejan)

② Tully-Fisher relation

Spiralgalien's rotation speed is correlated with absolute magnitude.



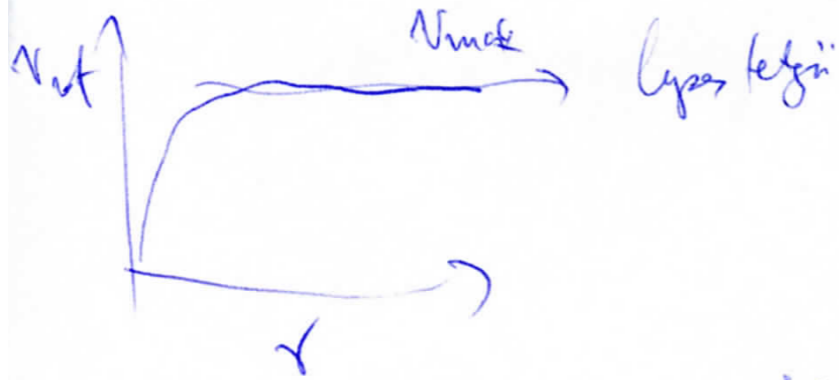
21 cm \rightarrow hydrogen emission line component



$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v_{rot}}{c}$$

$$W = \frac{2\Delta\lambda}{\lambda} \approx \frac{2v_{max} \sin i}{c}$$

Spiralgalaxis rotációs görbéje:



R távolságig becsült légy: $M = \frac{v_{\max}^2 R}{G}$

Tff. $M/L = \Sigma_{MC} = \text{const.}$ Spirális $\cdot r$

$$L = \frac{1}{\Sigma_{MC}} \cdot \frac{v_{\max}^2 R}{G}$$

ha felt., légy az összes spirális felületi tömegre is használó

$$\frac{L}{R^2} = \Sigma_{SB}$$

$$L = \frac{1}{\Sigma_{MC} \Sigma_{SB} G^2} \cdot v_{\max}^4$$

$$L \sim v_{\max}^4$$

Tully-Fisher reláció

$$M = a \log \left(\frac{W}{2 \sin i} \right) + b$$

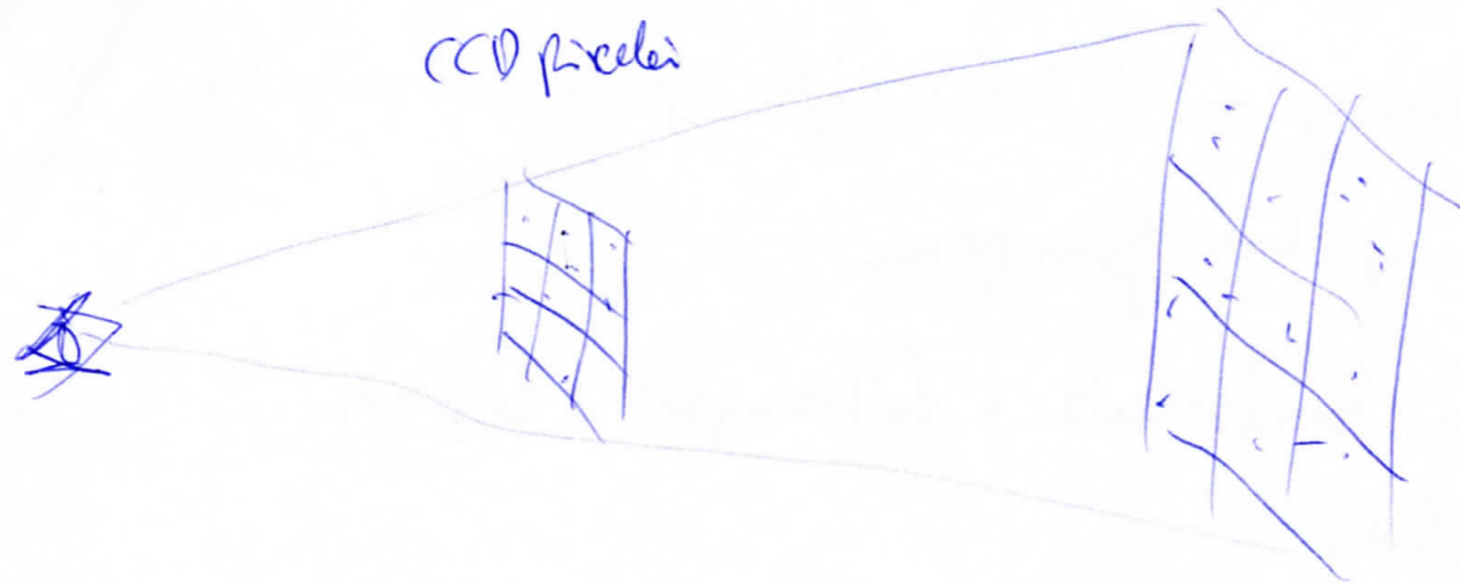
a, b galaxisok közötti
konstanst

③ Fundamentális szétválasztás, mint a Tully-Fisher,
de an elliptikus galaxisok (melyek kinntartású tárgyok egyébként
vannak). Amikor: sebesség

$$L \sim \sigma^4 \quad (\text{Faber-Jackson reláció})$$

Ha valaki ellipszoid egy hamachi paraméter: ez az az feltétel egy
széles körben, ezért fund. sz. elválasztás

h) Felületi fényes fluktuációk



Fluxus/pixel, ill. n $\text{évm}^2/\text{pé}^2$

Ha N cella van a képen \rightarrow minden évként \rightarrow n \sqrt{N} évm^2

Átlagos fluxus/cella \bar{f}

\rightarrow felületi fényesség/pixel $N \bar{f}$

n $\sqrt{N} \bar{f}$

$$N \sim d^2$$

$$\bar{f} \sim d^{-2}$$

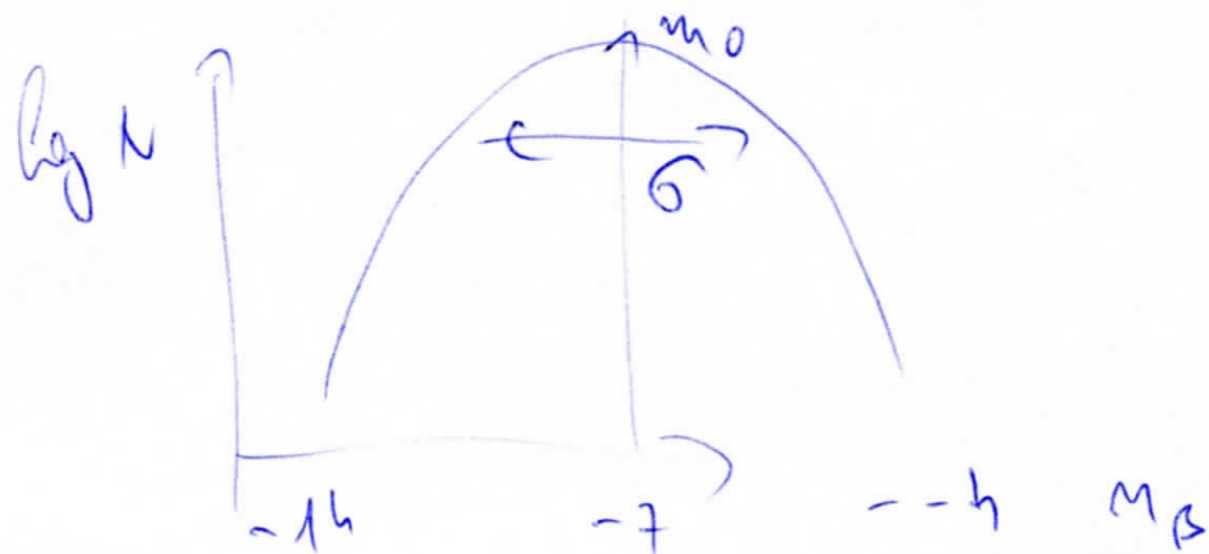
$\left. \begin{array}{l} N \sim d^2 \\ \bar{f} \sim d^{-2} \end{array} \right\} \rightarrow N \bar{f}$ független a fókusztávól

$$\sqrt{N} \bar{f} \sim \frac{1}{d}$$

Kétzer távolabbi galaxison kétféle képpel is a felületi fényes fluktuációk.

⑤ Gumbelmann's luminosity figure

Center on elliptical galaxy's luminosity (mean elliptical galaxy
 size - from Gumbelmann)



$$\phi(m) = A e^{-\frac{(m-m_0)^2}{2\sigma^2}}$$

Gaussian distribution, $\sigma = 1.4 \text{ mag.}$

minimum luminosity or m_{limit}

6) ~~S~~ Sznyar-Edwards (Sznyar-Edwards-efektus)

a mindenképpen kátférfordított fluktuáció α -halmazokban.

Ugyan Compton-efektus a α -halmazban

A kátférfordított fotónok kátférfordított a kátférfordított a fotónok
elektronokkal kátférfordított

Δ



Ugyanazt be is rövidít, de az az energiaja ugyan \rightarrow a α -halmaz
invalens megállás a kátférfordított állapot

Bezárt modell, benne egy geometria α -halmaz találat

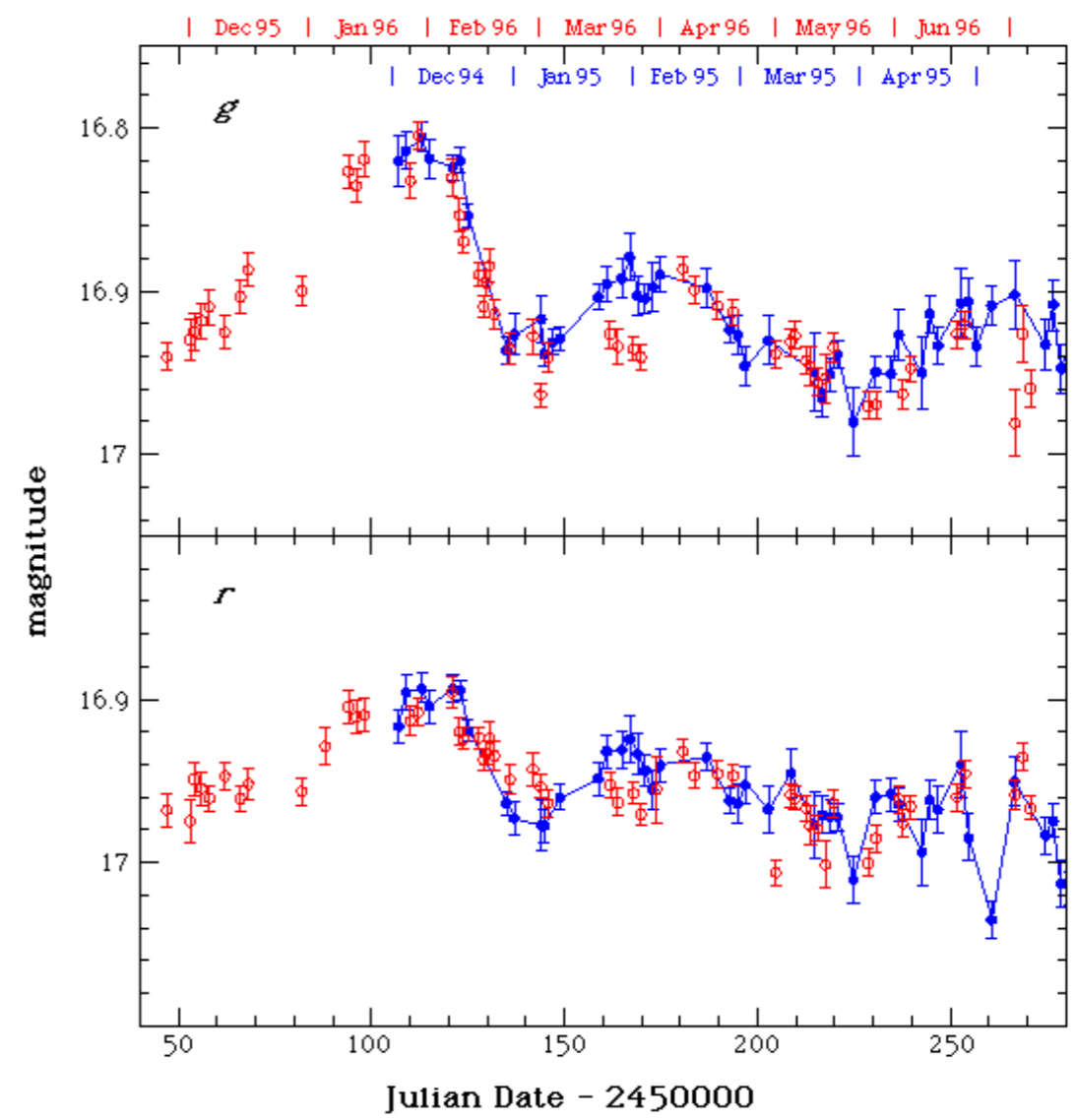
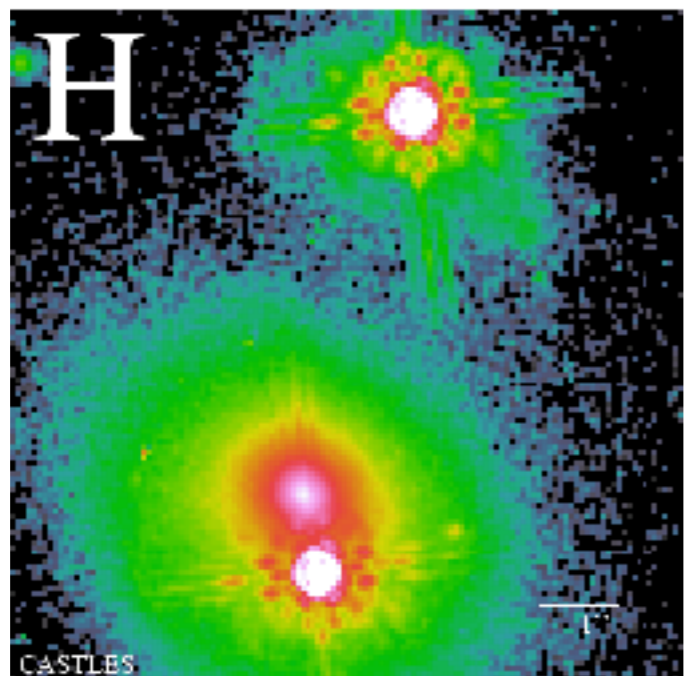
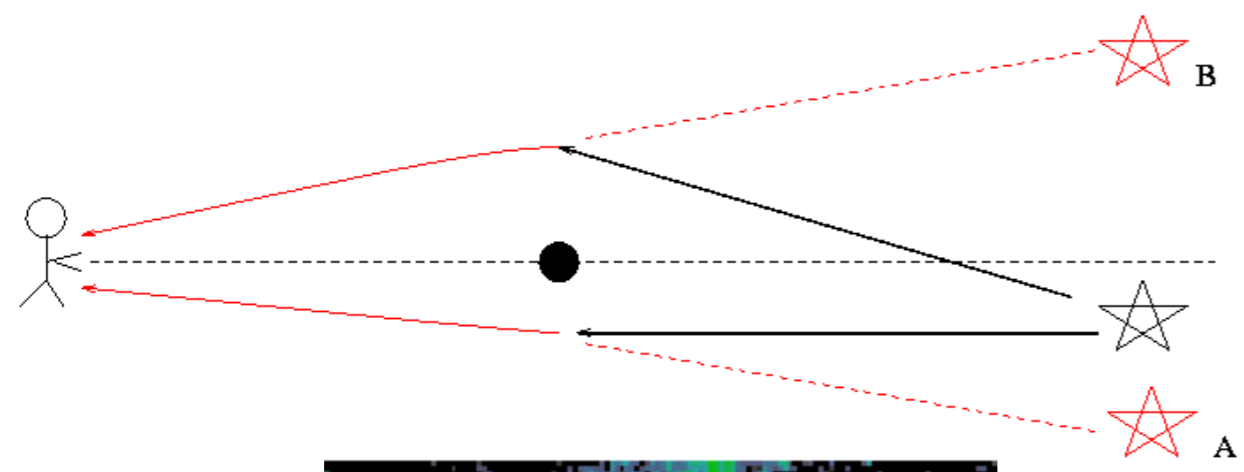
⑦ Gravitációs lencse

ha a csillag megdőlés előtt lefele, utána kitérőre a fény útja

$$\Delta t \sim \left(\frac{d_L d_S}{d_S - d_L} \right)$$

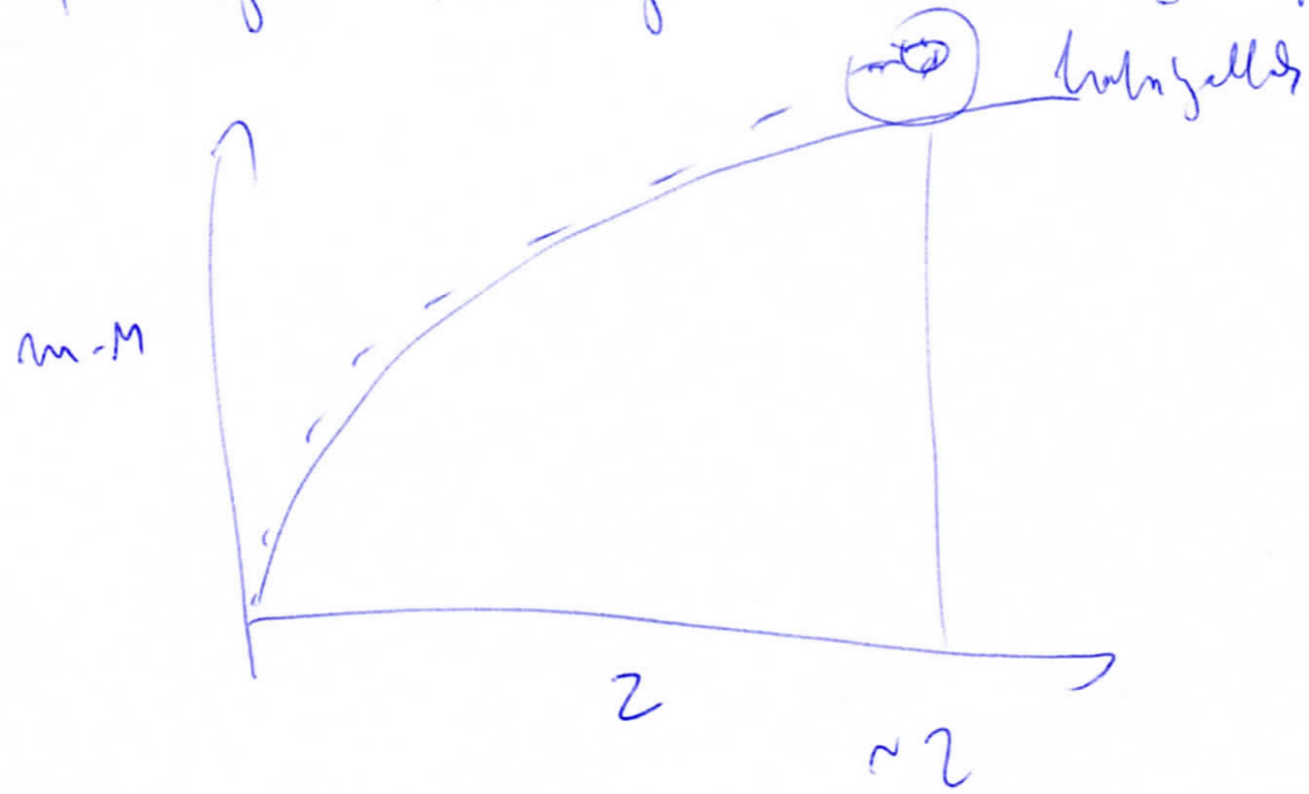
→ d_L, d_S aránya a Hubble-távolságtól

→ d_L, d_S meghatározhatók



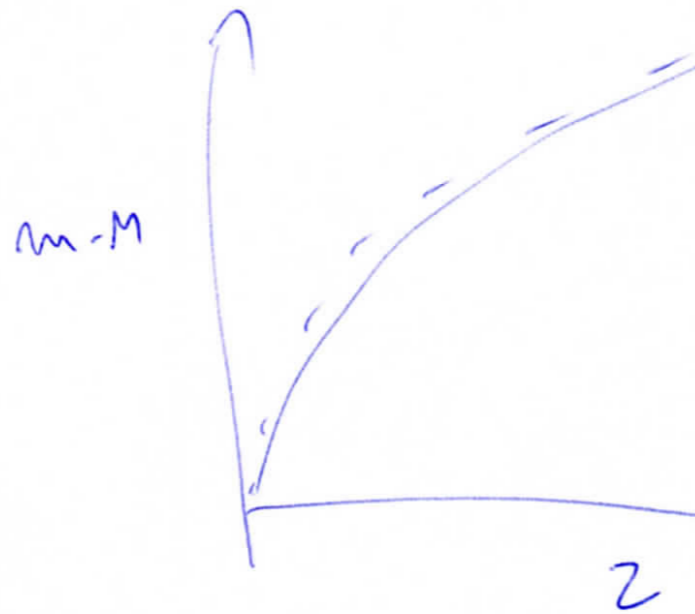
3) Szuperkriticitás:

(a szuperkriticitás, a szuperkritikus hőmérséklet feletti (15K))

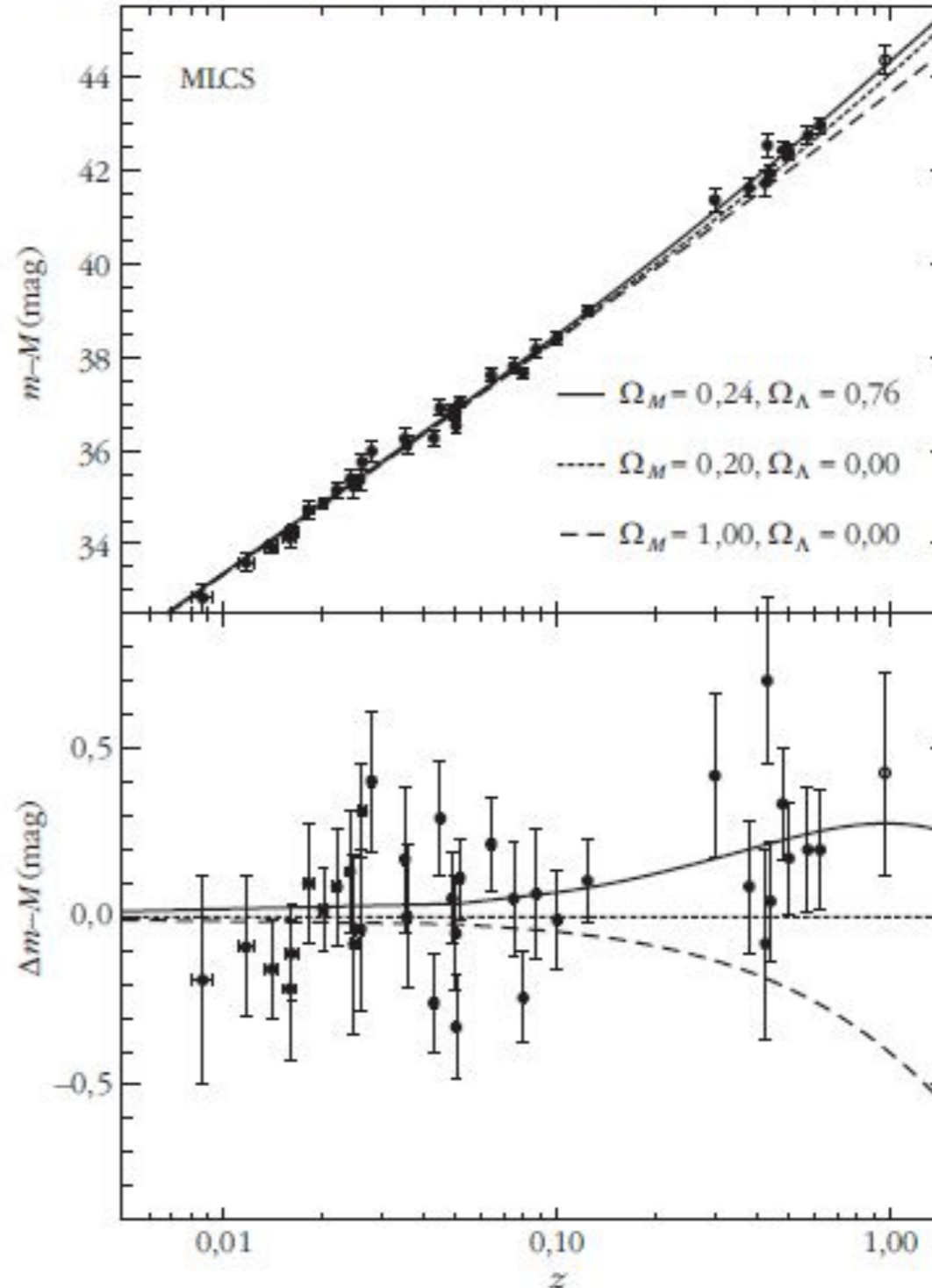


3) Szupernóvák:

Ia szupernóvák, 9 mag



2. ábra. Közeleli és távolabbi Ia típusú szupernóvák távolságmodulusa a vöröseltolódás függvényében, az MLCS-módszerrel történt kalibrációs eljárás alapján számolva (felső diagram). Jól látszik, hogy a távolabbi objektumok esetében a nem nulla Ω_Λ értékkel számoló modell illeszkedik legjobban az adatokra. Az alsó diagramon a mért adatoknak a modellektől való eltérései láthatóak [8].



1. ábra. A 2011-es Fizikai Nobel-díj nyertesei: Saul Perlmutter (balra), valamint a díj másik felét megosztva elnyerő Adam G. Riess (középen) és Brian P. Schmidt (jobbra). A felvétel a trió által 2006-ban elnyert Shaw-díj átadó ünnepségén készült (Wikipedia).

(Szalai 2011)