



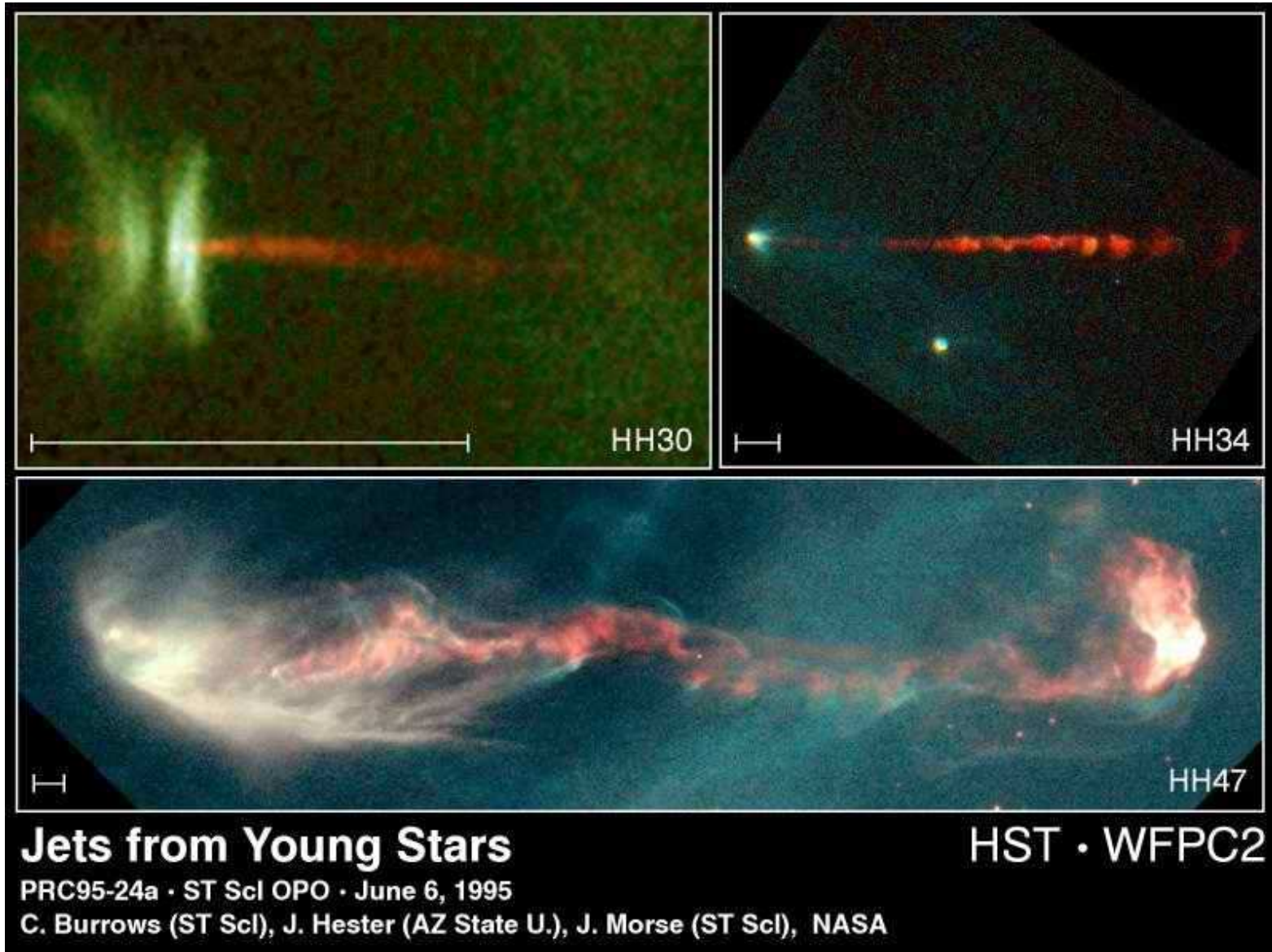
Astrofyzika II. cvičení

Vznik hvězd, Pogsonova rovnice

Vladimír Štefl

Ústav teoretické fyziky a astrofyziky

Jety u mladých hvězd



Astrofyzikální jety mladých hvězd

typické hodnoty:

- l - $(0,01 \rightarrow 1)$ pc, v - $(100 \rightarrow 400)$ km.s⁻¹,
 dM/dt - $(10^{-9} \rightarrow 10^{-6}) M_{\odot}$
- jaké síly akcelerují a kolimují svazek, jak se jet šíří?
- jaké jsou zákony šíření jetů v mezihvězdném prostředí?

Význam HST - snímky s velkým rozlišením:

vlastní pohyb uzlů ze snímků pořízených za několik roků dříve až desítky roků, což byl čas srovnatelný s ochlazení oblasti po průchodu rázové vlny

Výzkum superjetu HH 34 – kinematika

George Howard Herbig 1920, Guillermo Haro 1913 - 1988

THE ASTROPHYSICAL JOURNAL, 468:L103–L106, 1996 September 10
© 1996. The American Astronomical Society. All rights reserved. Printed in U.S.A.

HUBBLE SPACE TELESCOPE OBSERVATIONS OF JETS FROM YOUNG STARS

THOMAS P. RAY

School of Cosmic Physics, Dublin Institute for Advanced Studies, 5 Merrion Square, Dublin 2, Ireland

REINHARD MUNDT

Max-Planck-Institut für Astronomie, 69117 Heidelberg, Germany

JOHN E. DYSON

Department of Physics and Astronomy, University of Leeds, Leeds LS2 9JT, England

SAM A. E. G. FALLE

Department of Applied Mathematical Studies, University of Leeds, Leeds LS2 9JT, England

AND

ALEJANDRO C. RAGA

Instituto de Astronomía, Universidad Nacional Autónoma de México, Apartado Postal 70-264, México, DF 04510

Received 1996 April 30; accepted 1996 June 21

ABSTRACT

We report on *Hubble Space Telescope* (*HST*) emission line ([S II] $\lambda\lambda$ 6716,6731, H α , and [O I] λ 6300) and nearby continuum imaging of the HL Tau and HH 30 jets from our own *HST* program as well as a study of *HST* Archive [S II] $\lambda\lambda$ 6716,6731 images of the HH 1 and HH 34 jets. It is found in all cases that these jets are well resolved in the lateral direction (with FWHM diameters $\approx 0''.2$) as far as we can follow them to their source which, in the case of HH 30, is as close as $0''.25$ (35 AU). Assuming the jet has essentially zero angular width at its origin, one can deduce a *lower bound* for the initial opening angle, and the values obtained are very large indeed (e.g., $\approx 60^\circ$ for the HH 30 jet and counterjet). Our data are shown to support models in which the jet is initially poorly focused before being asymptotically collimated into a “column” with a diameter of order a few tens of AU. As regards the origin of the knots seen in these jets, it is found that many of the knots in the HH 1 and HH 34 jets resemble internal bow shocks, at least far away from their driving source ($\approx 5''$ and $10''$ in the case of HH 1 and HH 34 jets, respectively). This is consistent with models in which the knots are attributed to “internal working surfaces” caused by temporal variations in the outflow from the source. It is found in the case of the HH 30 jet, however, that its knots, at least close to the source, might have another origin.

Subject headings: ISM: jets and outflows — stars: formation — stars: mass loss

Vývoj superjetu HH 34 - kinematika

A&A 395, 647–656 (2002)
DOI: 10.1051/0004-6361:20021180
© ESO 2002

Astronomy
&
Astrophysics

The time-dependent ejection velocity histories of HH 34 and HH 111

A. C. Raga¹, P. F. Velázquez¹, J. Cantó², and E. Masciadri²

¹ Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM, Ap. 70-543, 04510 D.F., México
e-mail: pablo@nuclecu.unam.mx

² Instituto de Astronomía, UNAM, Ap. 70-264, 04510 D.F., México
e-mail: elena@astroscu.unam.mx

Received 24 May 2002 / Accepted 31 July 2002

Abstract. The southern lobe of HH 34 and the western lobe of HH 111 show remarkable similarities. Both objects have a chain of well aligned knots, ending in well defined bow shocks (HH 34S and HH 111V, respectively). In this paper, we derive the past ejection velocity histories from previously published radial velocity measurements of the HH 34 and HH 111 jets. This is done under the assumption that the flows are ballistic. From these reconstructed ejection velocity variabilities, we compute axisymmetric gasdynamic simulations of the two flows, and find that we do obtain large working surfaces at the positions of the HH 34S and HH 111V bow shocks for the time at which these objects are being observed. This appears to be quite definite proof that these bow shocks are indeed the result of an ejection velocity time-variability. Also, there is the observational fact that the HH 34S bow shock is huge, being wider than HH 111V by a factor of ~ 3 . We find that we can reproduce this difference in size by choosing an appropriate value for the density of the ambient medium. Finally, from our small sample of two reconstructed ejection velocity variability histories, we attempt to make some statements about the general nature of these variabilities, and their implications on the possible ejection/collimation mechanisms.

Key words. ISM: Herbig-Haro objects – ISM: jets and outflows – ISM: kinematics and dynamics – ISM: individual objects: HH 34, HH 111 – shock waves

Vývoj superjetu HH 34

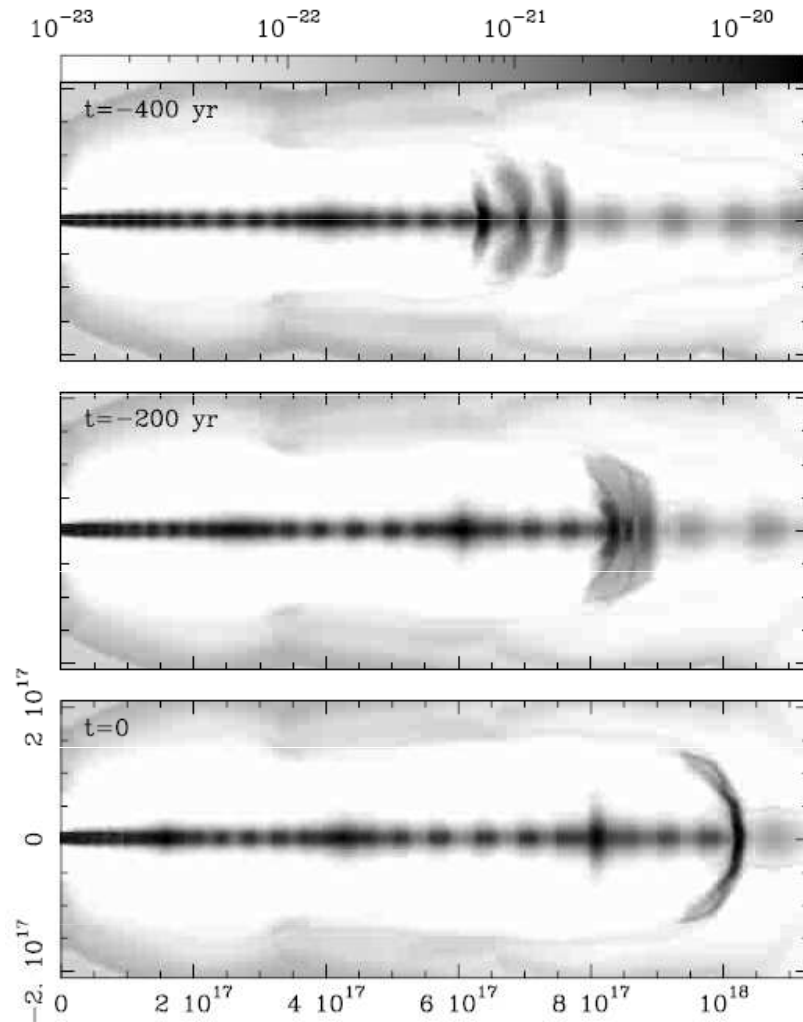


Fig. 3. Time sequence of the density stratifications obtained from the HH 34 model. The simulation is started at $t = -3000$ yr, and $t = 0$ corresponds to the time at which HH 34 is being observed. The densities are depicted with a logarithmic greyscale, with the values given (in g cm^{-3}) by the bar on the top of the figure. The z (horizontal) and r (vertical) axes are labeled in cm. The computational domain extends out to $z = 1.68 \times 10^{18}$ cm.

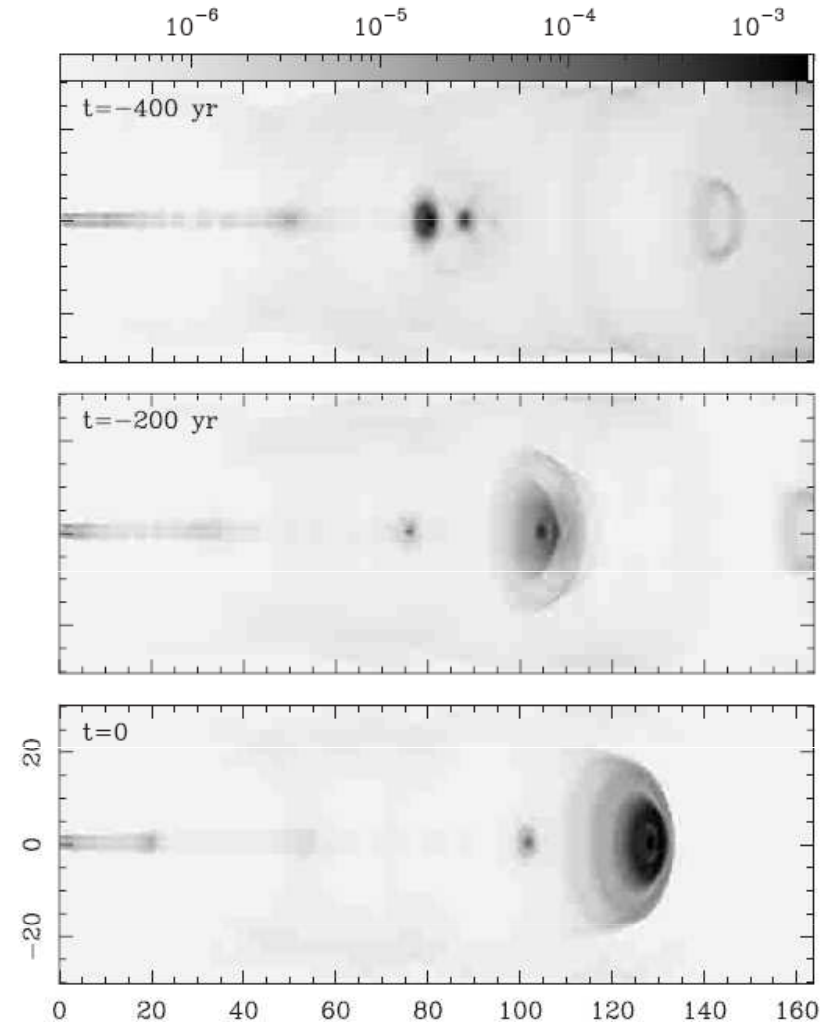


Fig. 4. Time sequence of the $\text{H}\alpha$ maps predicted from the HH 34 model. The simulation is started at $t = -3000$ yr, and $t = 0$ corresponds to the time at which HH 34 is being observed. The maps have been computed assuming a $\phi = 30^\circ$ angle between the outflow axis and the plane of the sky. The $\text{H}\alpha$ intensities are depicted with a logarithmic greyscale, with the values given (in $\text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2} \text{sterad}^{-1}$) by the bar on the top of the figure. The x (horizontal) and y (vertical) plane of the sky coordinates are labeled in arcsec (computed as offsets from the position of the source assuming a distance of 460 pc to the object).

Vývoj jetu HH 34 $v = f(r)$

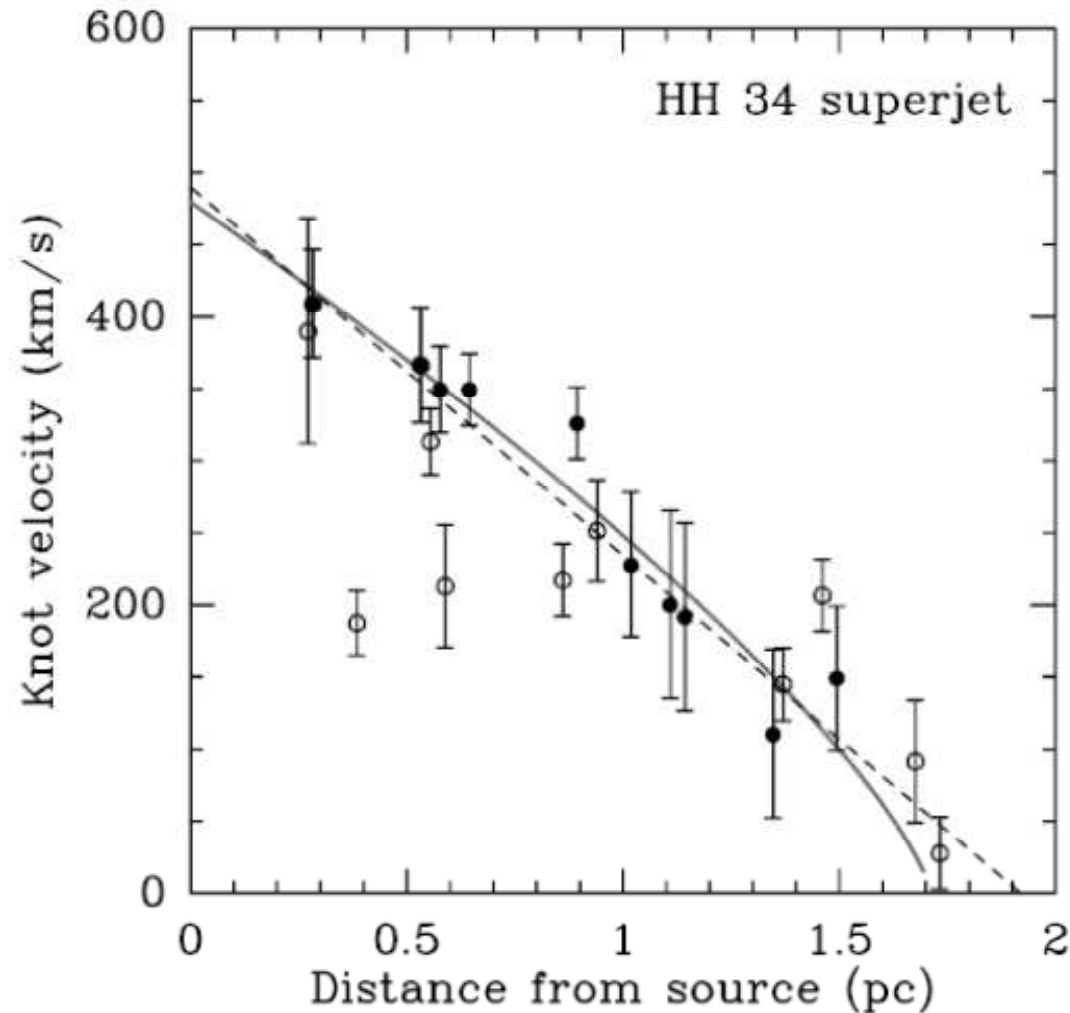


Fig. 1. Spatial velocity vs. distance for the North (filled circles) and South (open circles) knots of the HH 34 superjet system. The radial velocities and positions measured by Devine et al. (1997) have been deprojected assuming a constant angle $\phi = 28^\circ$ to the plane of the sky. The “errorbars” denote the velocity width in each knot. The dashed line shows a linear fit to the data (see Sect. 2.1). The grey curve shows the predicted behaviour for constant mass clumps decelerated by the ambient medium (see Sect. 3).

Studium superjetu HH 34

$\text{erg cm}^{-2} \text{s}^{-1} \text{\AA}^{-1} \text{pixel}^{-1}$

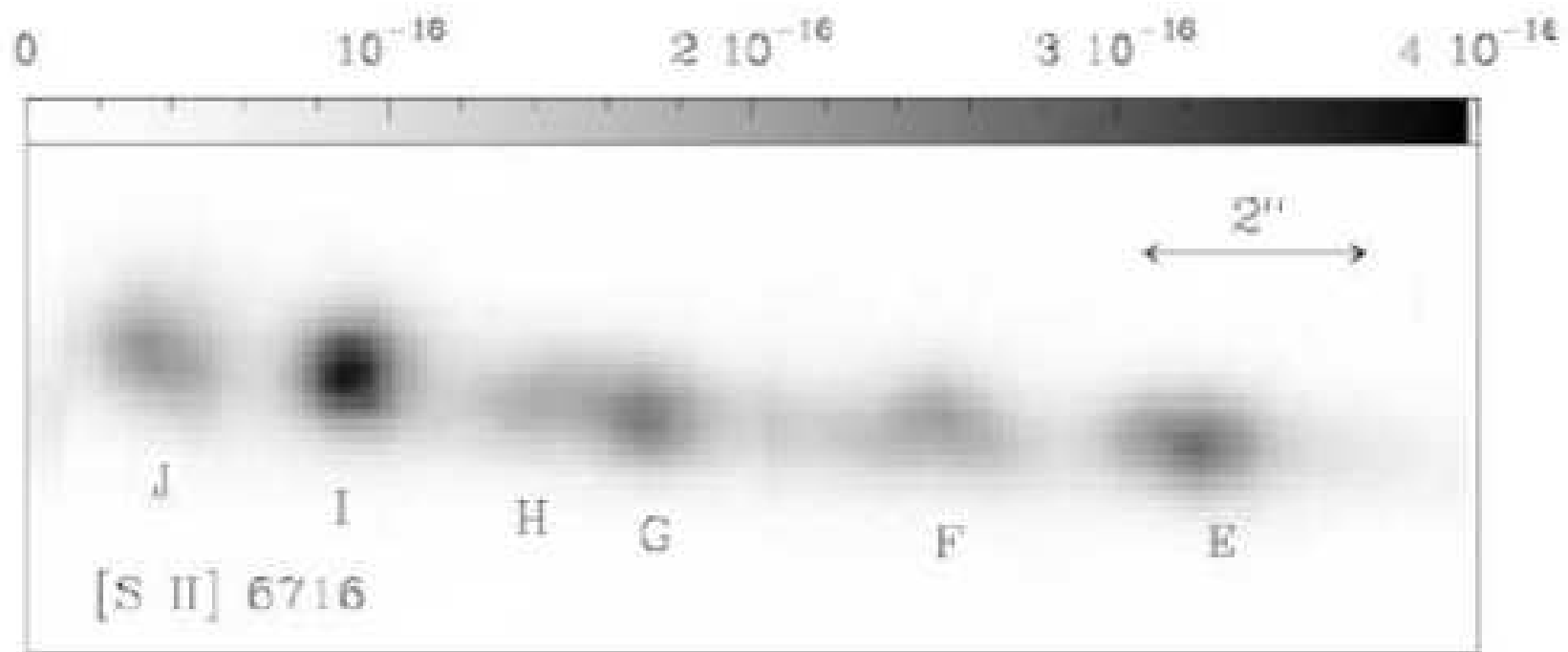


FIG. 2.—[S II] $\lambda 6716$ intensity map of the collimated jet of HH 34 con-

Studium superjetu HH 34

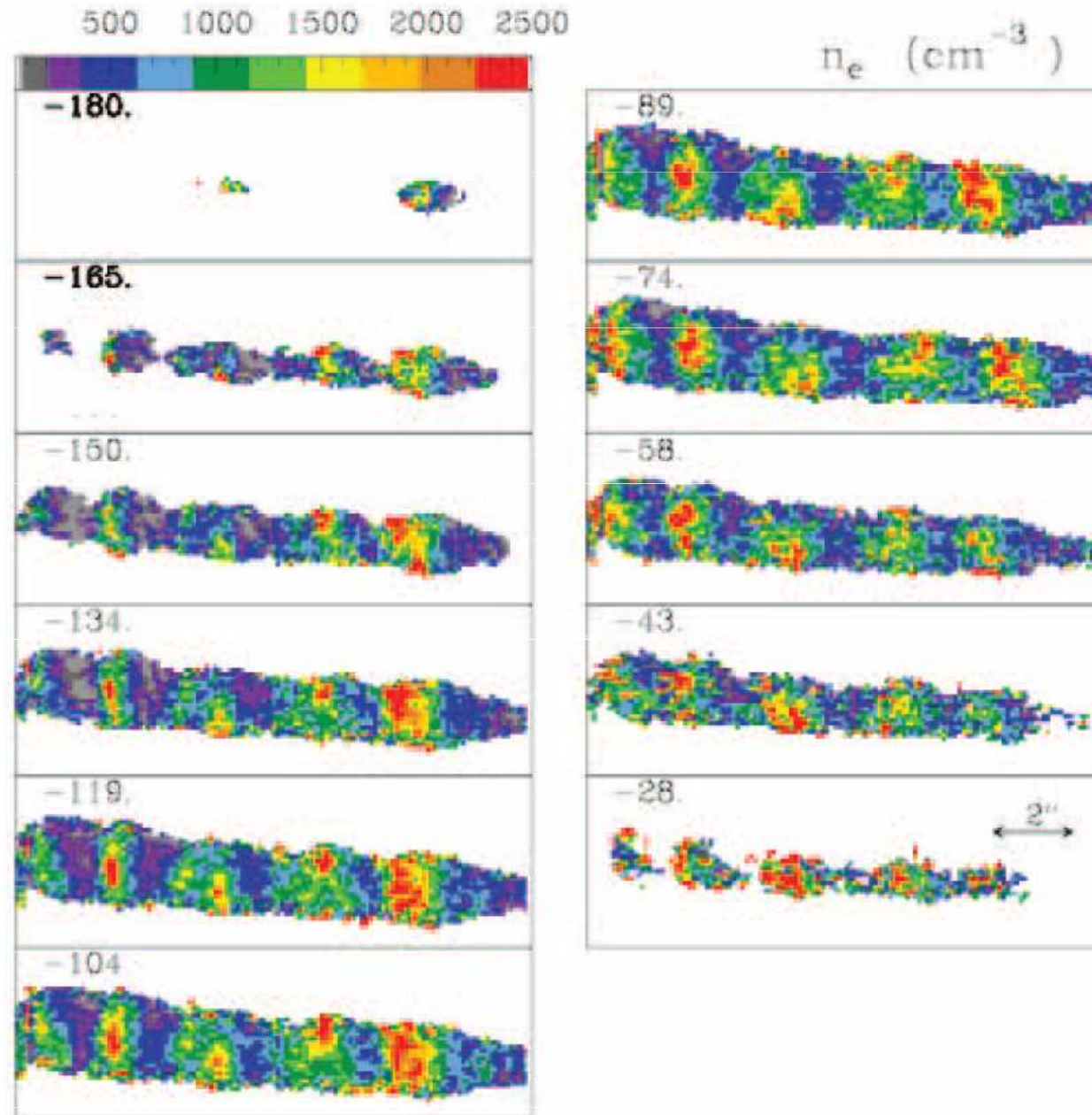


FIG. 9.—Electron density (n_e) map derived from the [S II] $\lambda 6716/\lambda 6731$ ratio maps at the heliocentric radial velocity shown in each panel. The scale in cubic centimeters is shown by the bar.

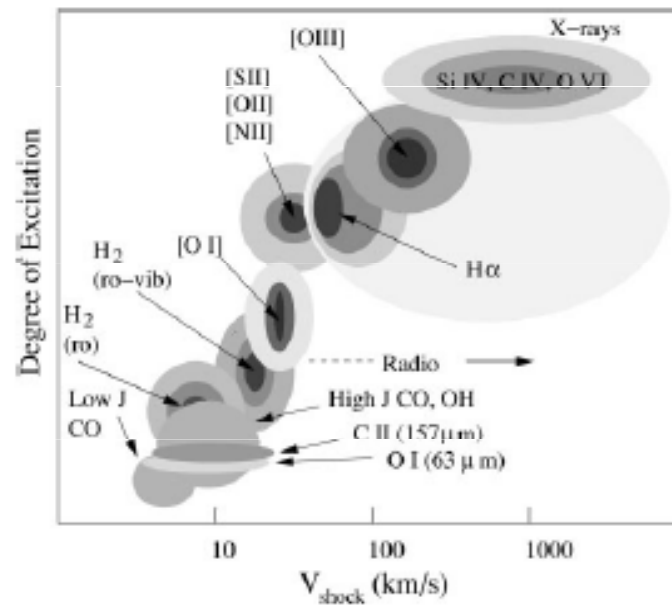
Studium superjetu HH 34

při vzdálenosti 460 pc:

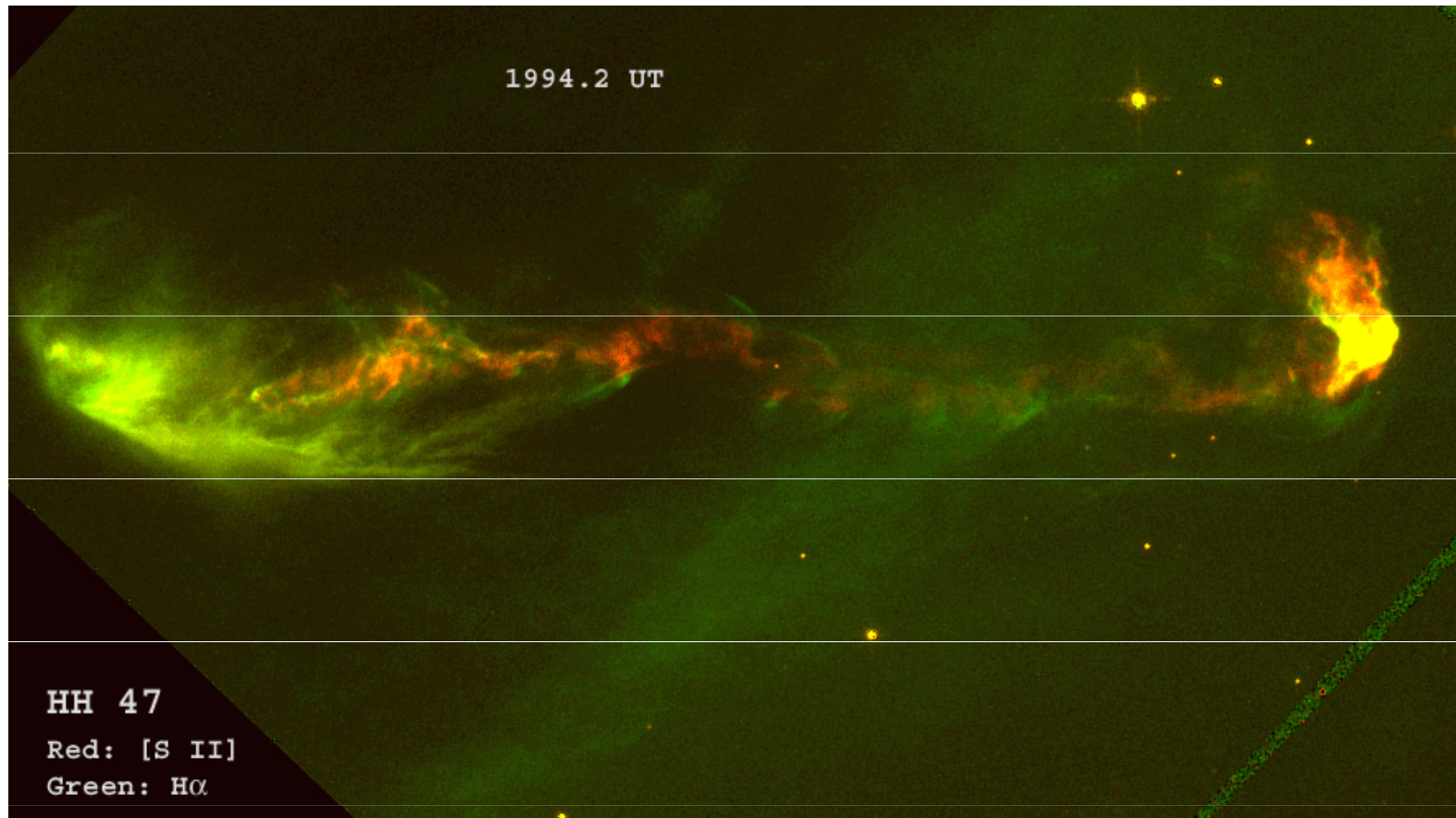
délka jetu $l = 1,5 \text{ pc} \dots 4,6 \cdot 10^{16} \text{ m}$

počáteční průměr jetu $d = 9,7 \cdot 10^{-4} \text{ pc} \dots 6 \cdot 10^{13} \text{ m}$

poměr $l/d = 773$



Snímek jetu HH 47



modrá barva O III

zelená barva H α

červená barva S II



Pogsonova rovnice

1. Určete poměr hustot zářivých toků Vega a Polárky, jestliže pozorovaná bolometrická hvězdná velikost první hvězdy je $m_{bV} = 0,03$ mag, druhé $m_{bP} = 2,02$ mag.
2. V jakém poměru jsou jasnosti Capelly a Deneba, jestliže pozorované hvězdné velikosti hvězd jsou $m_C = 0,08$ mag, druhé $m_D = 1,25$ mag.
3. Jedněm z největších dalekohledů na Zemi - Keckovým dalekohledům o průměrech zrcadel 10,4 m jsou dostupné hvězdy asi 28 mag. Kolikrát jsou slabší, než hvězdy rozlišitelné lidským okem?
4. Jaká je pozorovaná hvězdná velikost dvojhvězdy, jejíž složky okem nerozlišitelné, mají hvězdné velikosti $m_1 = 2,00$ mag a $m_2 = 3,00$ mag.
5. Jaká je pozorovaná hvězdná velikost dvojhvězdy, jejíž složky okem nerozlišitelné, mají hvězdné velikosti $m_1 = 11,40$ mag a $m_2 = 11,70$ mag.
6. Dvě srážející se galaxie se vyznačují obě pozorovanou hvězdnou velikostí 12,00 mag. Jaká je jejich výsledná hvězdná velikost m_c ?
7. Vzdálená galaxie se vyznačuje pozorovanou hvězdnou velikostí 20,30 mag. Exploze supernovy v ní zvýší její jasnost na 20,00 mag. Určete hvězdnou velikost samotné supernovy.

Pogsonova rovnice

8. Nalezněte zářivý výkon jednotlivých složek dvojhvězdy a celkový zářivý výkon (v jednotkách zářivého výkonu Slunce), jestliže složky mají pozorovanou bolometrickou hvězdnou velikost $m_1 = 1,99$ mag a $m_2 = 2,85$ mag, paralaxa $\pi = 0,072$ “.

9. Stanovte pozorovanou hvězdnou velikost složek trojhvězdy, jejíž celková pozorovaná bolometrická hvězdná velikost je $m_c = 3,70$ mag, poměr hustot zářivých toků druhé a třetí složky je 2,8 a rozdíl pozorovaných bolometrických hvězdných velikostí třetí a první složky činí $m_3 - m_1 = 3,32$ mag.

10. Rozdíl absolutních bolometrických hvězdných velikostí dvou hvězd o stejných efektivních povrchových teplotách činí 6,4 mag. Určete poměr poloměrů obou hvězd.

11. O kolik stupňů se zvýší efektivní povrchová teplota hvězdy s původní teplotou 10 000 K, jestliže se pozorovaná hvězdná velikost sníží o 0,1 mag. Předpokládáme zachování stejného poloměru.

12. Určete zářivý výkon Síria, jestliže znáte pozorovanou bolometrickou hvězdnou velikost – 1,60 mag a jeho vzdálenost od Země 8,6 l.y.

$$\frac{L_1}{L_2} = 2,512^{(M_2 - M_1)} \quad \frac{L}{L_S} = 2,512^{(4,75 - M)}$$

13. Při pozorování cefeidy v galaxii M 31 byla zjištěna perioda pulsace 3 dny a pozorovaná hvězdná velikost $m = 21,6$ mag, absolutní hvězdná velikost $M = - 2,88$ mag. Mezi periodou pulsace a absolutní hvězdnou velikostí platí vztah $\log P + 0,394 M = - 0,657$. Stanovte vzdálenost galaxie M 31.

Pogsonova rovnice

15. Vypočtete pozorovanou bolometrickou hvězdnou velikost složek trojhvězdy, jestliže celková bolometrická hvězdná velikost je $m_c = 3,70$ mag, poměr hustot zářivých toků druhé a třetí složky je 2,8 a rozdíl pozorovaných bolometrických hvězdných velikostí třetí a první složky je $m_3 - m_1 = 3,32$ mag.

16. Pozorovaná bolometrická hvězdná velikost první hvězdy je $m_1 = 0,14$ mag, a roční paralaxu $\pi'' = 0,123''$, druhá hvězda má pozorovanou bolometrickou hvězdnou velikost $m_2 = 3,07$ mag a roční paralaxu $\pi'' = 0,003''$. Nalezněte poměr hustot zářivých toků a zářivých výkonů obou hvězd.

Pogsonova rovnice

$$\log \frac{\varphi_1}{\varphi_2} = \log 2,512^{(m_2 - m_1)}$$

$$\log \frac{\varphi_1}{\varphi_2} = (m_2 - m_1) 0,4$$

$$2,5 \log \frac{\varphi_1}{\varphi_2} = (m_2 - m_1)$$

hustota světelného toku... lumen/m²

hustota zářivého toku... W/m²

pozorovaná hvězdná velikost m závisí na vzdálenosti kosmického tělesa (např. hvězdy), proto pro srovnání byla zavedena ***absolutní hvězdná velikost M*** . Taková hvězdná velikost, kterou by kosmické těleso mělo, jestliže ho umístíme do vzdálenosti 10 pc.

Astronomické a fyzikální fotometrické veličiny

bolometrické vyjádření Pogsonovy rovnice

hvězdné velikosti bolometrické, vztahují se na celkovou energii v celému rozsahu spektra

$$m_B - m_A = 2,5 \log \frac{\varphi_A}{\varphi_B}$$

platí $m_A = 0$, jestliže $\varphi_A = 2,48 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

dosazení $m_B = -2,5 \log \varphi_B - 19,04$

jinak napsáno $m_{bol} = -2,5 \log \frac{\varphi}{\varphi_0} - 19,04$,

úpravou obdržíme $\log \frac{\varphi}{\varphi_0} = 0,4 (m_0 - m)$ při $m_0 = 0, \varphi_0 = 1$

$\log \varphi = -0,4 m$, $m = -2,5 \log \varphi$

Určování zářivého výkonu hvězd

$$\Phi = \frac{L}{4\pi r^2} S$$

vycházíme z Pogsonovy rovnice $\frac{L_1}{L_2} = 2,512^{(M_2 - M_1)}$ M absolutní bolometrické hvězdné velikosti v mag

$$\frac{L}{L_S} = 2,512^{(M_S - M)}$$

zářivý výkon Slunce zvolíme za jednotkový $L_S = 1$, $M_{Sbol} = 4,75$ mag

$$L * = 2,512^{(M_S - M)} \quad \log L * = 0,4 (4,75 - M)$$

při znalosti absolutní bolometrické hvězdné velikosti lze určovat zářivý výkon

Stanovte zářivý výkon Siria A, jestliže jeho $M_{bol} = -1,6$ mag a vzdálenost činí 8,6 ly.

Určování zářivého výkonu Siria A

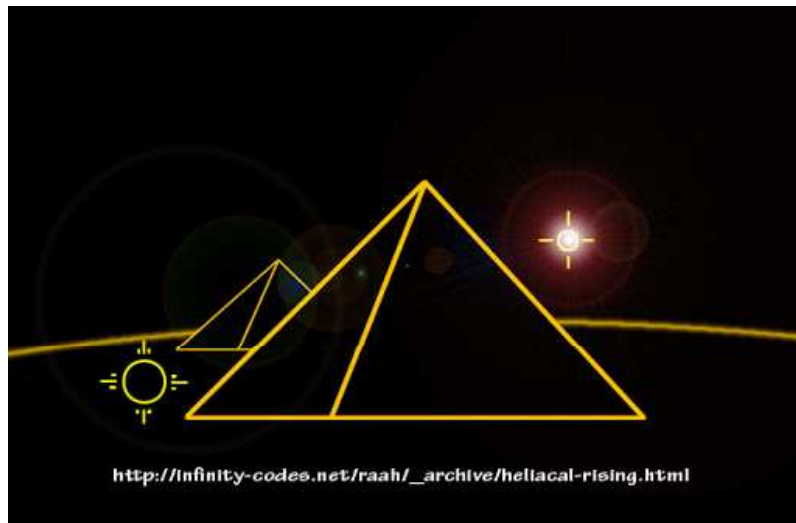
Určete zářivý výkon Siria A, jestliže $M_{\text{bol}} = -1,6 \text{ mag}$, vzdálenost činí 8,6 ly.

Řešení: $8,6 \text{ ly} = 2,64 \text{ pc}$,

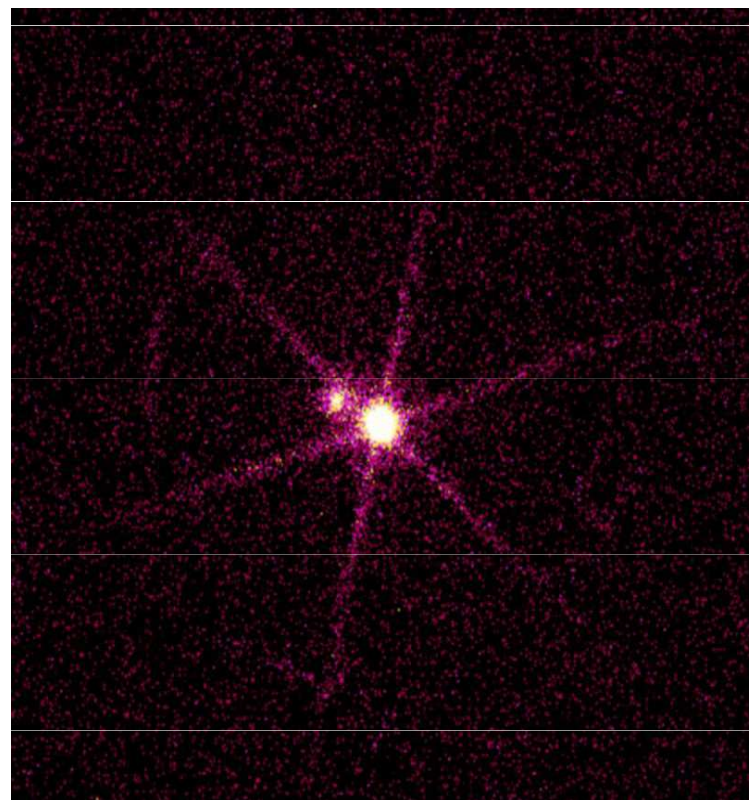
$$M = m + 5 - 5 \log r = 1,29 \text{ mag}$$

$$\log L = 0,4 (4,75 - 1,29) = 24 L_s$$

význam Siria – Soltise v Egyptě, heliakický východ určoval příchod záplav na Nilu



Sirius A i B v optickém a rentgenovém oboru



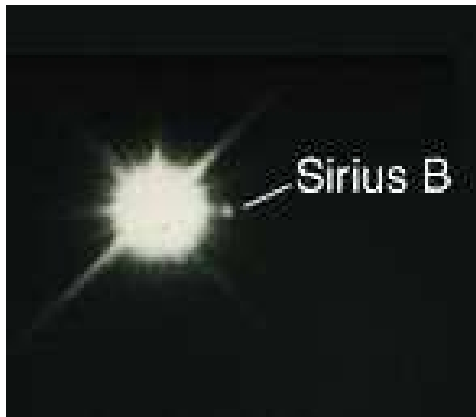
Paradox hmotností dvojhvězdy Sirius A a B



$2 M_S$

$9\,500\text{ K}$

$24 L_S$

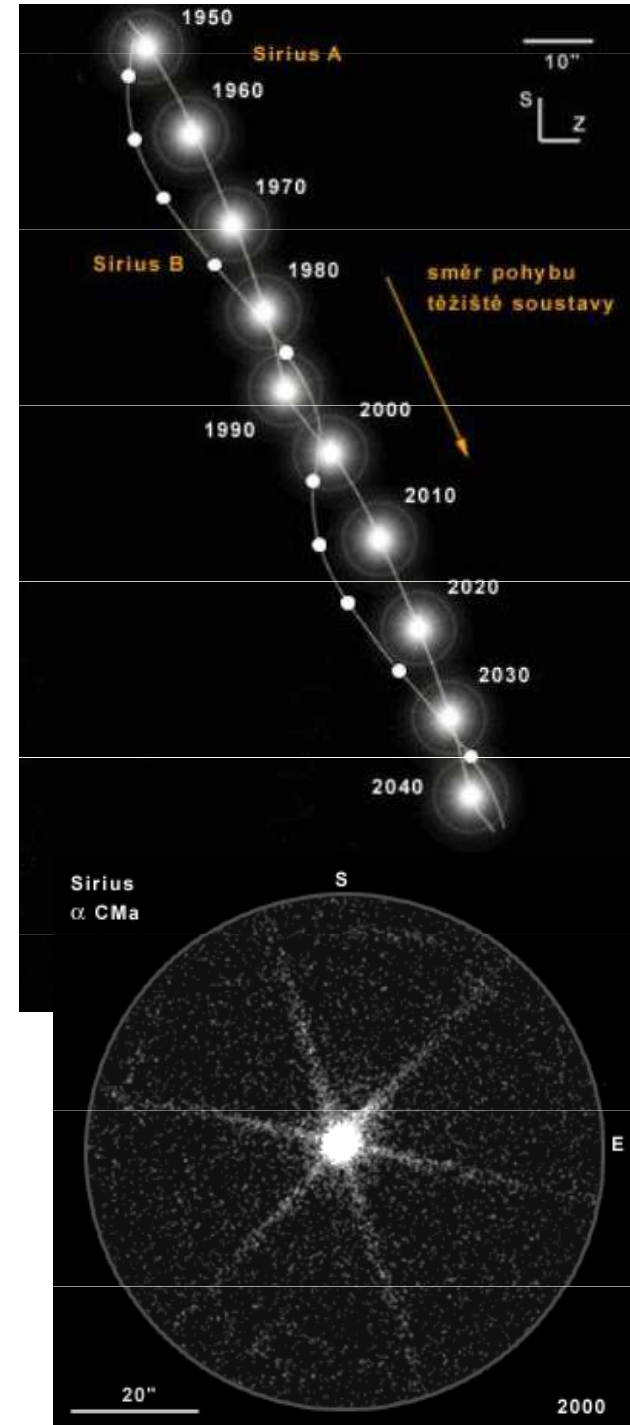


$9 \cdot 10^{-3} R_S \approx 9 \cdot 10^{-1} R_Z$

$1 M_S$

$25\,200\text{ K}$

$2 \cdot 10^{-3} L_S$



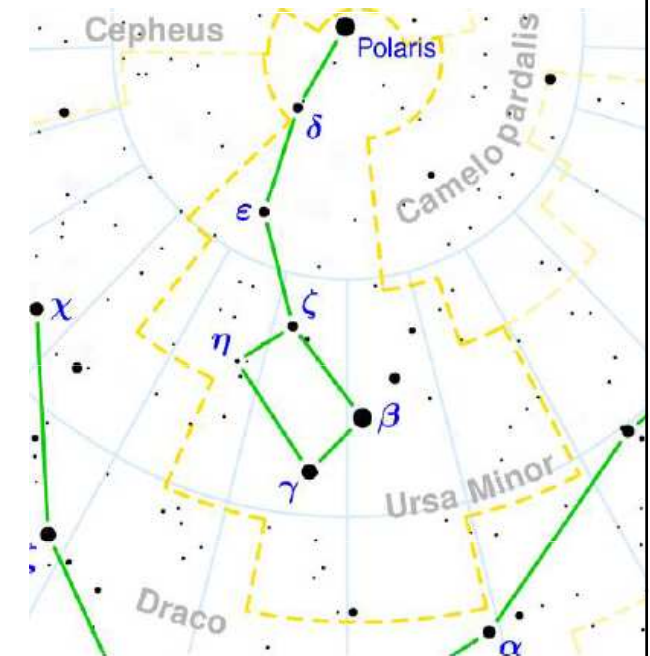
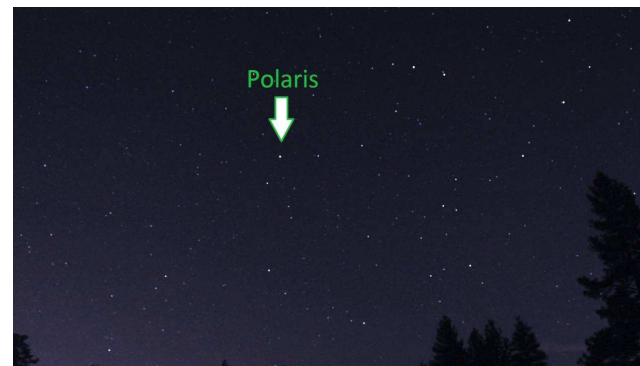
Pogsonova rovnice

V jakém poměru jsou hustoty zářivých toků Vegy a Polárky, jestliže pozorovaná bolometrická hvězdná velikost Vegy činí $m_V = 0,03$ mag a Polárky $m_P = 2,03$ mag.

Poměr hustot zářivých toků je $\frac{\varphi_V}{\varphi_P} = 2,512^{(m_P - m_V)} = 6,25$.

Vega - α Lyr, 3 M_S , 3,5 R_S , 10 000 K, A0 V, $r = 7,8$ pc, rotační osa míří k nám

Polárka - Alrucaba, 6 M_S , 46 R_S , 7 200 K, F7 Ib, $r = 100$ pc, nepravidelná cefeida, amplituda pulsací 3,97 dne se zmenšuje, dvojhvězda, druhá složka 1,5 M_S , oběžná doba 29,6 r



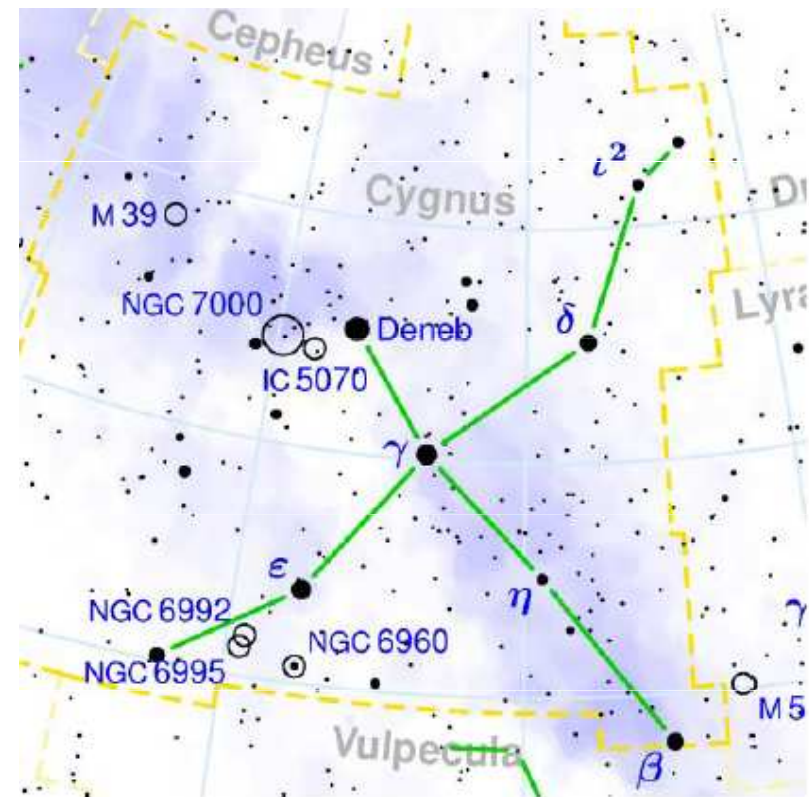
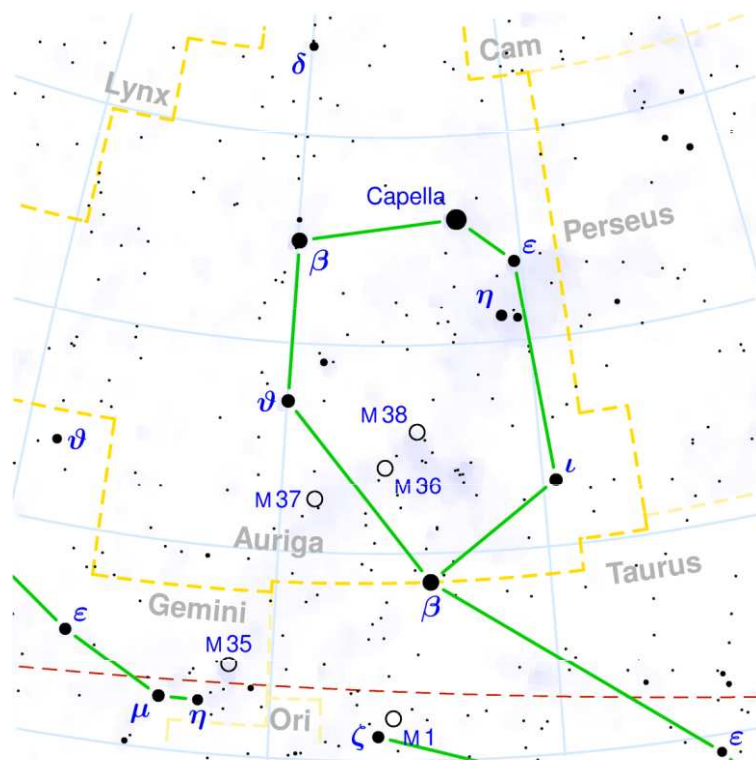
Pogsonova rovnice

V jakém poměru jsou hustoty zářivých toků Capelly a Deneba, jestliže pozorovaná bolometrická hvězdná velikost Capelly činí $m_C = 0,08$ mag a Deneba $m_D = 1,25$ mag.

Poměr hustot zářivých toků je $\frac{\varphi_C}{\varphi_D} = 2,512^{(m_D - m_C)} = 2,75$.

Capella - α Aur, 2,5 M_S , 12 R_S , 5 000 K, K0 III, $r = 13$ pc

Deneb - α Cyg, 21 M_S , 200 R_S , 8 700 K, A2 Ia, $r = 800$ pc



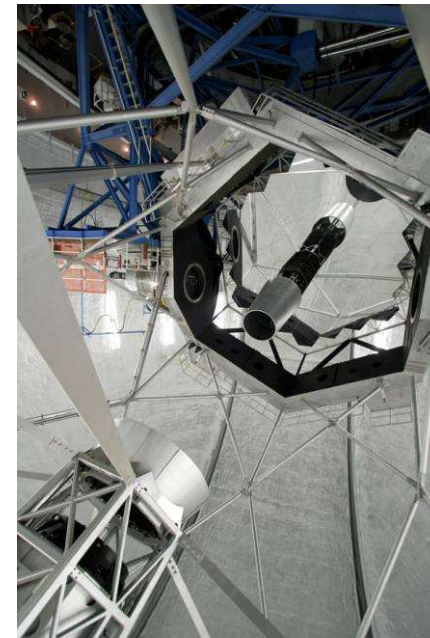
Pogsonova rovnice

Jedněm z největších dalekohledů na světě, Keckovým dalekohledům, jsou při pozorování dostupné hvězdy 28 mag, Kolikrát je jasnost těchto hvězd slabší než hvězd rozlišitelných pouhým okem – 6 mag? Vše vyjádřeno v pozorovaných hvězdných velikostech.

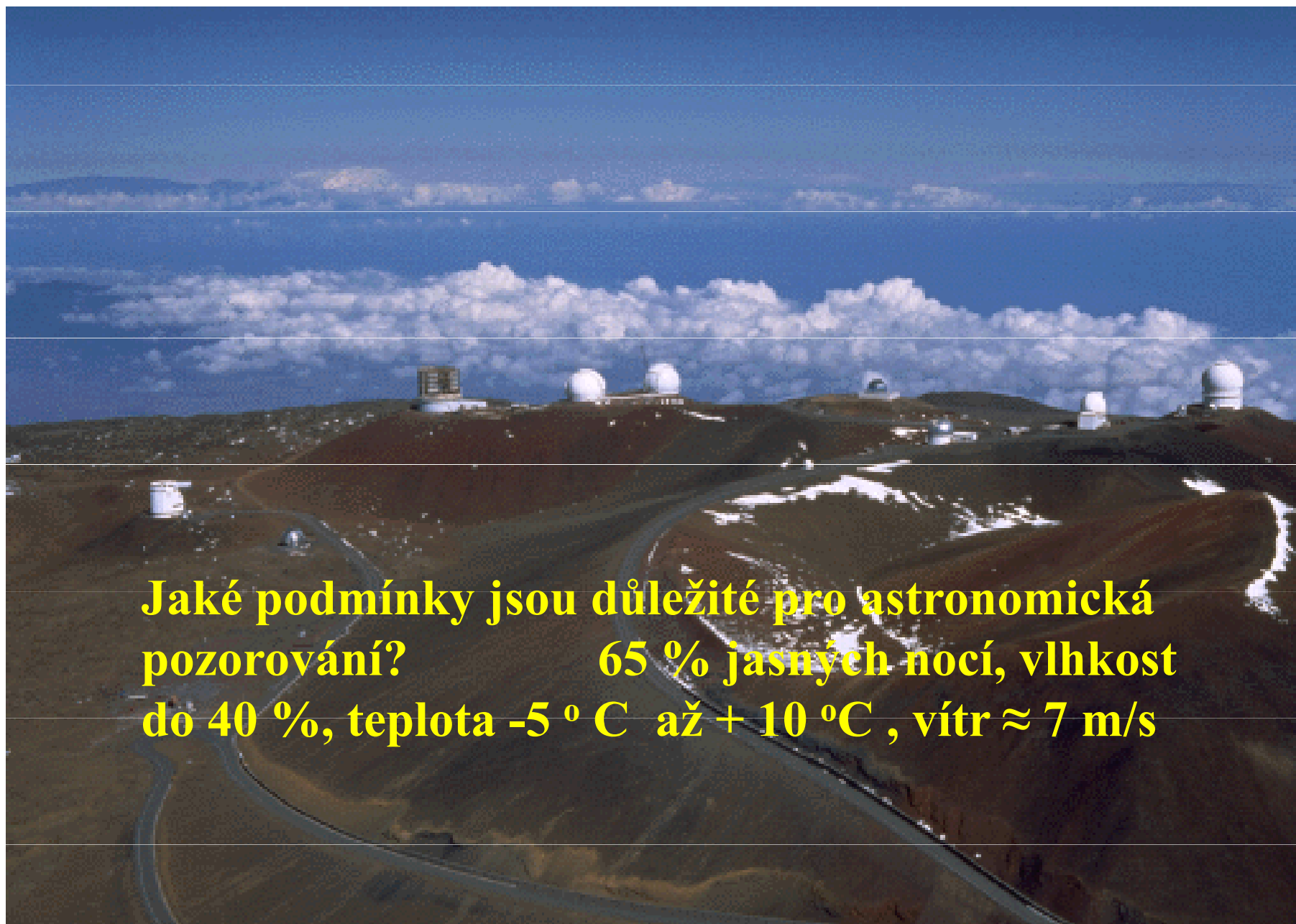
Poměr hustot světelných toků vyjádříme

$$\text{z Pogsonovy rovnice } \frac{E_{\check{c}}}{E_K} = 2,512^{(m_K - m_{\check{c}})} = 2,512^{(28 - 6)} = 6 \cdot 10^8$$

Obrovský rozdíl hustot světelných toků Pogsonova rovnice vyjadřuje malým rozdílem hvězdných velikostí



Astrofyzikálních pozorování, vrchol hory Mauna Kea



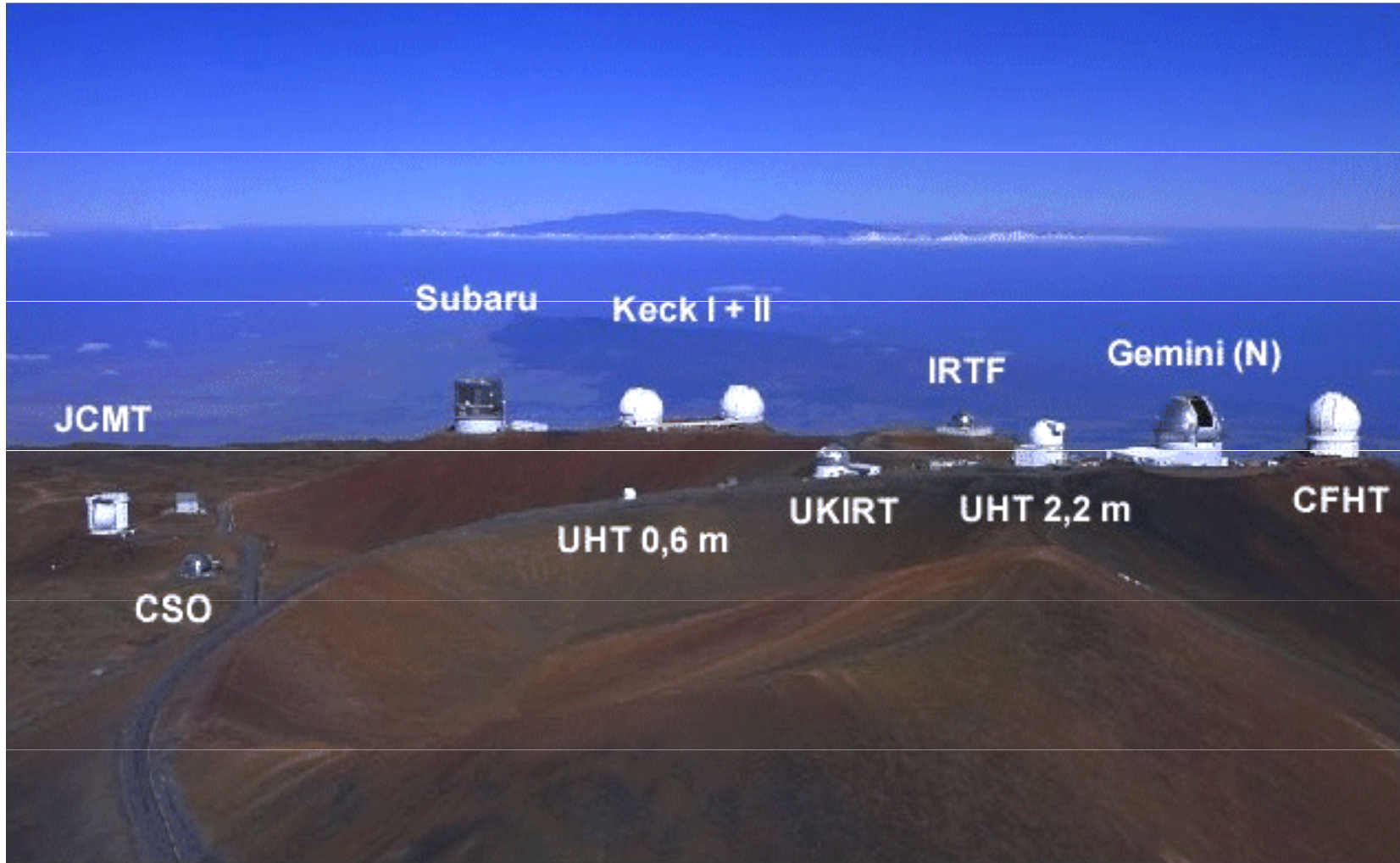
Jaké podmínky jsou důležité pro astronomická pozorování? 65 % jasných nocí, vlhkost do 40 %, teplota -5°C až $+10^{\circ}\text{C}$, vítr $\approx 7\text{ m/s}$



Keckovy dalekohledy
 $h = 4\,100\text{ m}$, $T = 280\text{ K}$
Proč jsou dalekohledy umístěny do takových míst?

Škálová tlaková výška je pro vodní páry molekul. hmotnosti $m = 18,1,67 \cdot 10^{-27}\text{ kg}$ rovna $H = kT/gm = 12,9\text{ km}$
U ideálního plynu $n \sim p$. Platí $p(h)/p(h_0) = \exp(-h/H) = 0,73$.
Koncentrace vodních par je rovna přibližně 2/3 hodnoty u mořské hladiny.

Dalekohledy na Mauna Kea



Dalekohled Subaru

optický a blízký infračervený obor pozorování



$$h = 4\,139\text{ m}$$

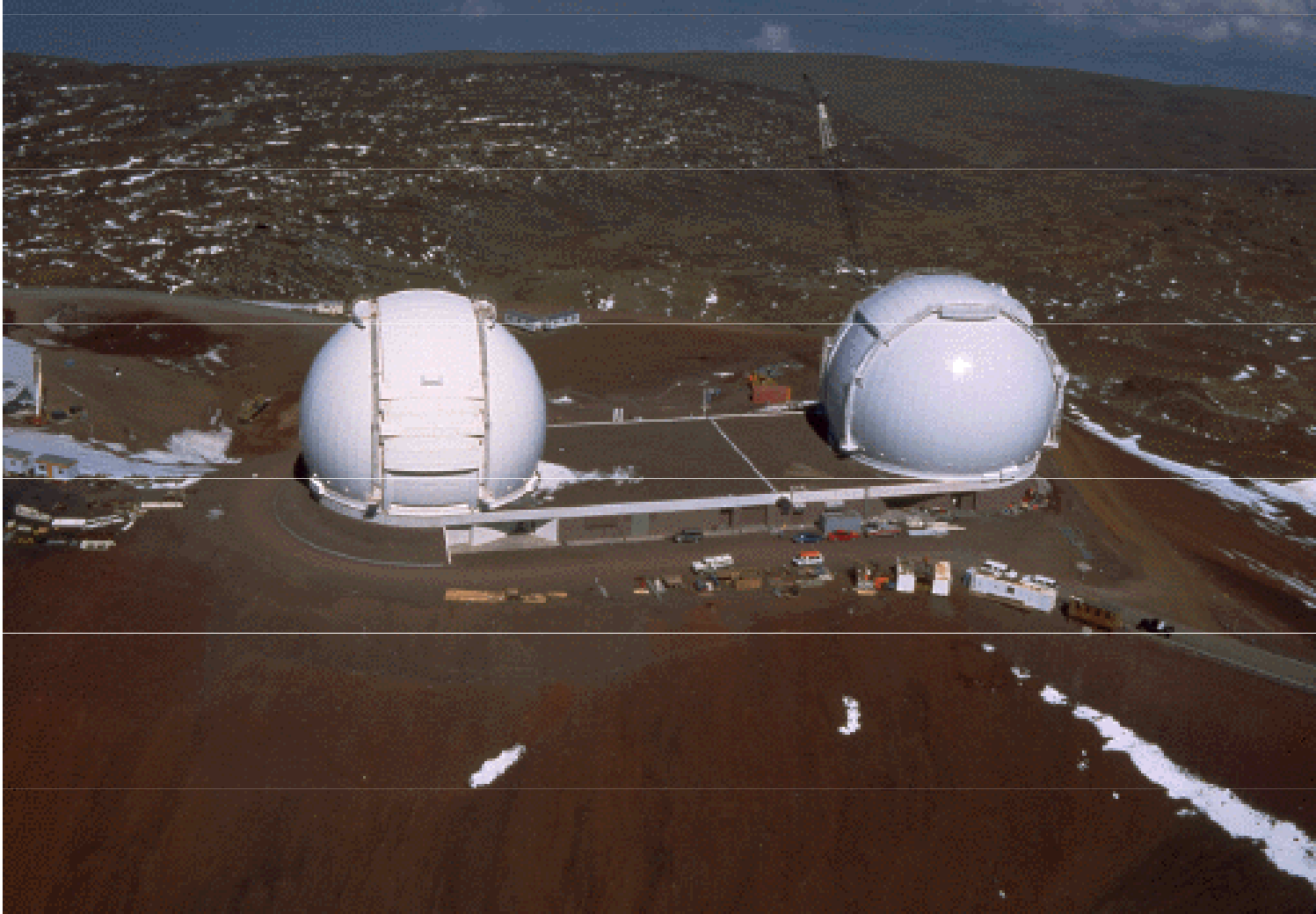
$$D = 8,2\text{ m} \quad d = 0,2\text{ m}$$

$$f = 15\text{ m}$$

$$m = 22,8\text{ t} \quad h = 4\,139\text{ m}$$

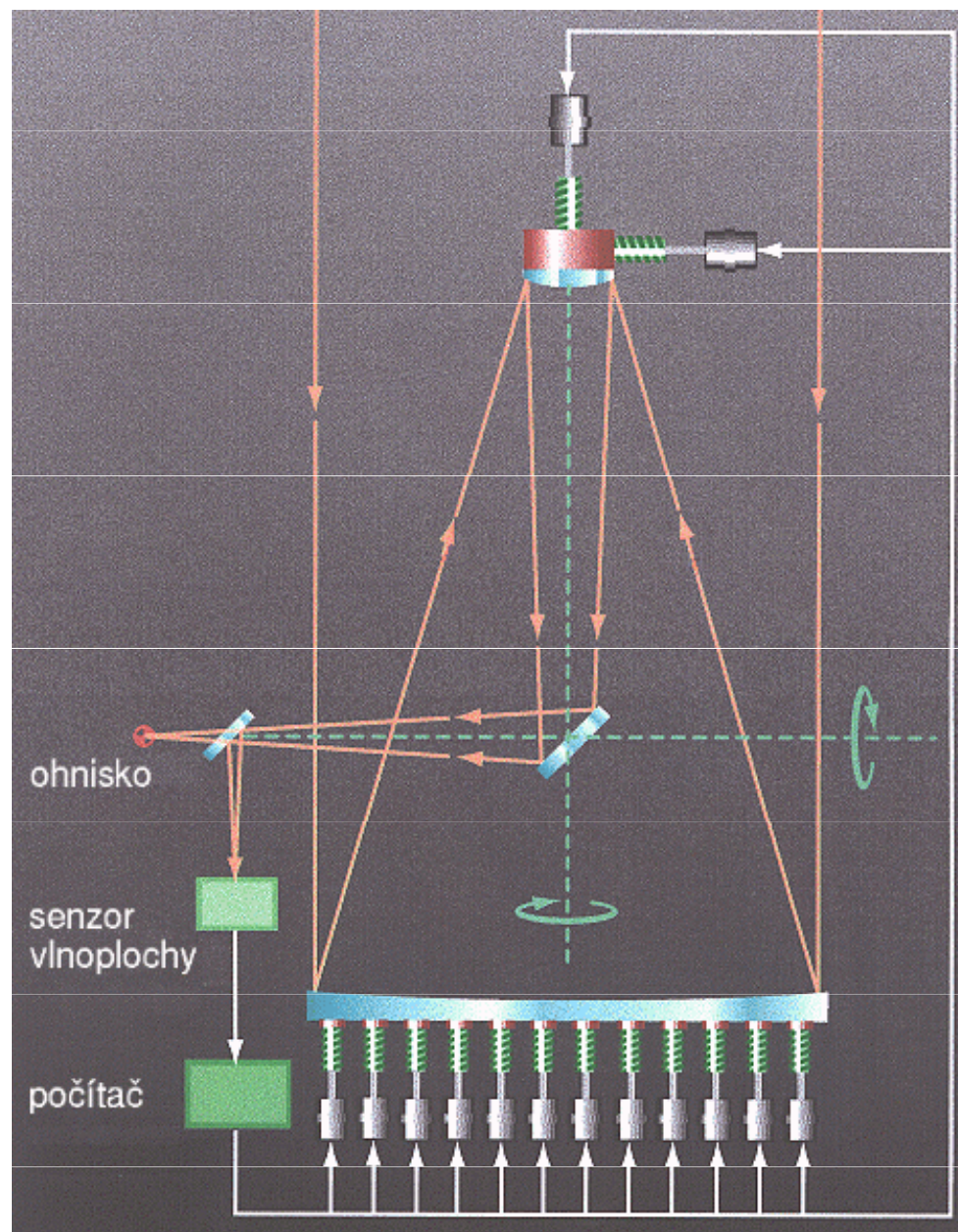


Keckovy dalekohledy



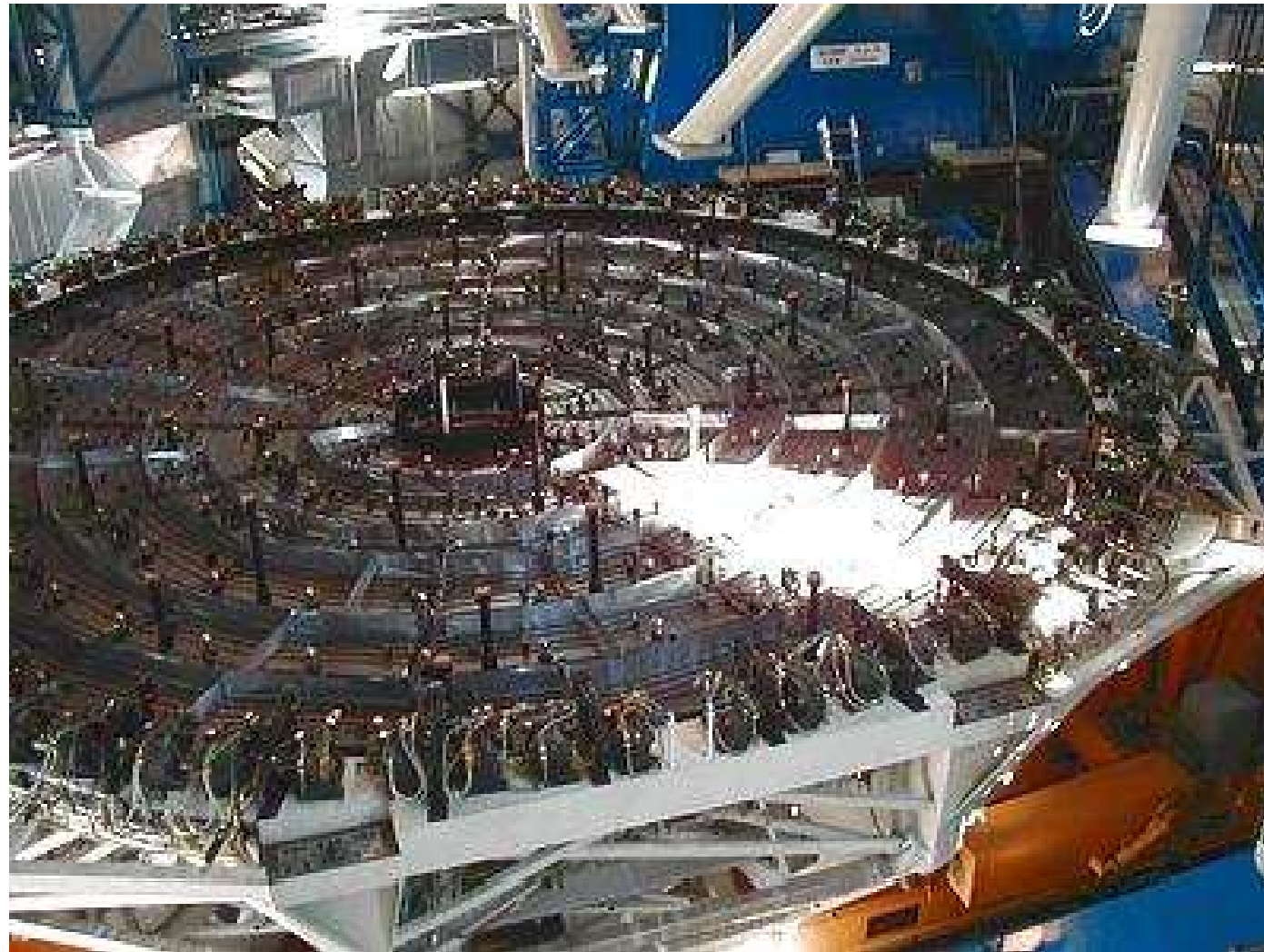
**zrcadla složena z 36 menších šestihranných, $d = 10\text{ m}$,
 $f = 17,5\text{ m}$, *aktivní a adaptivní optika***

Aktivní optika

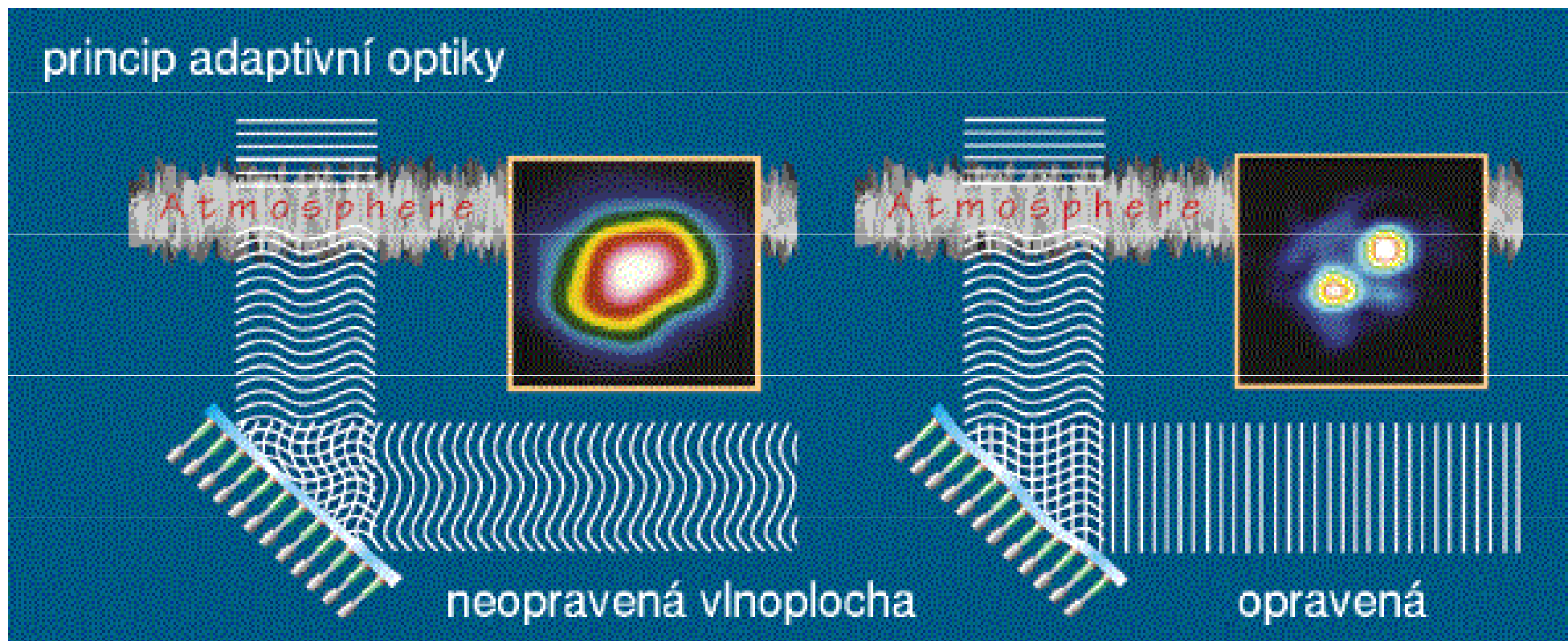


Aktivní optika VLT - dalekohled

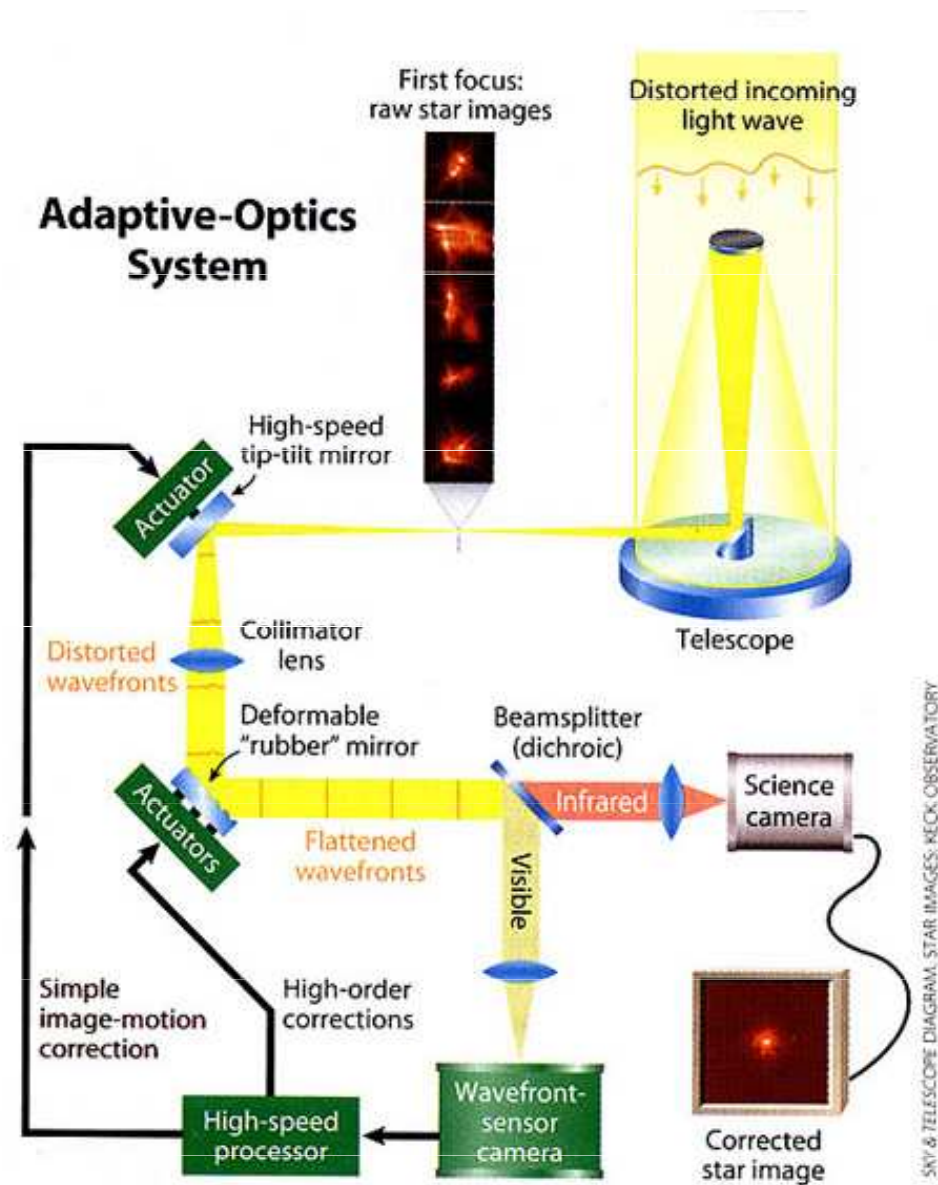
Melipal - *Jižní kříž*



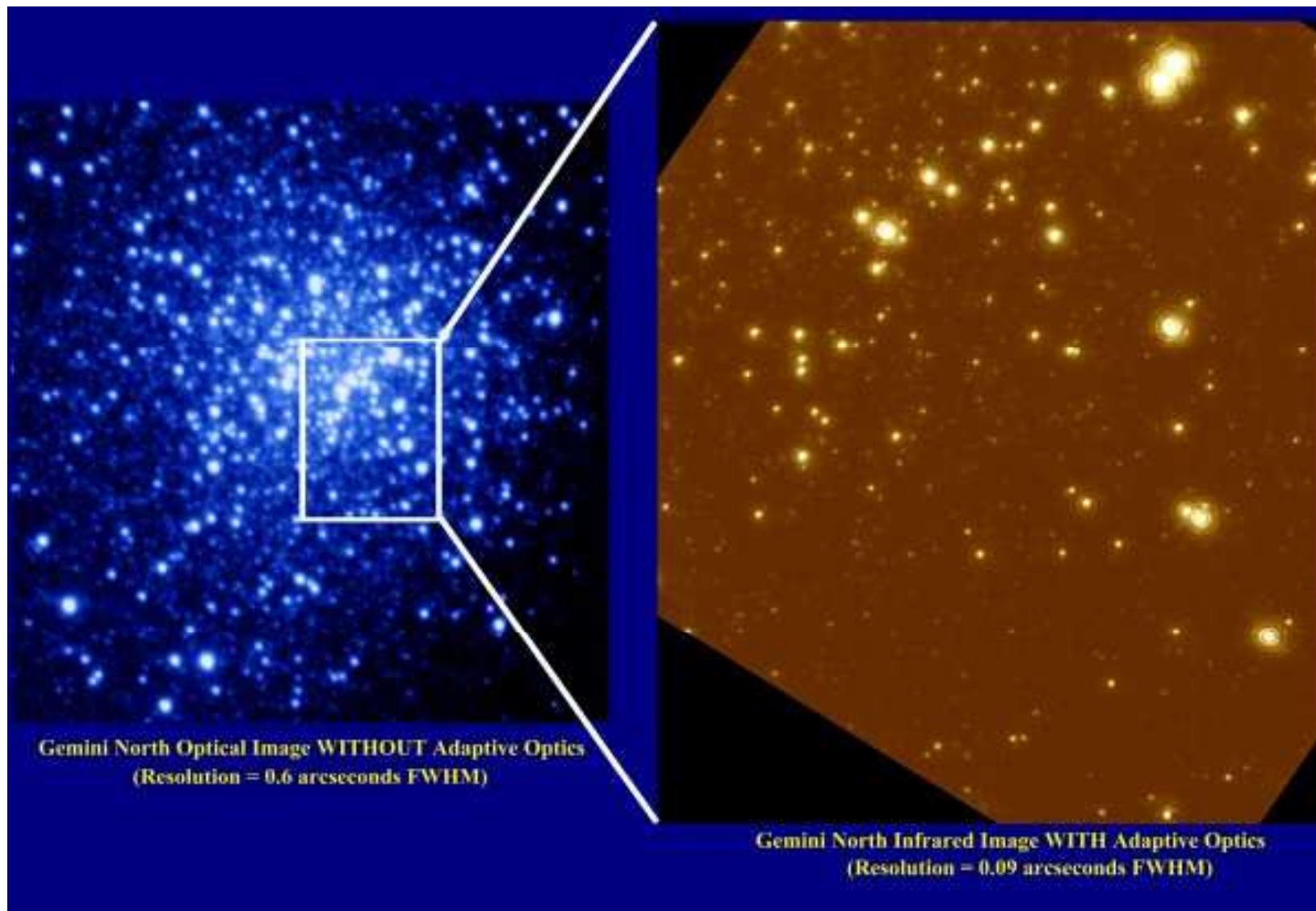
Adaptivní optika



Adaptivní optika



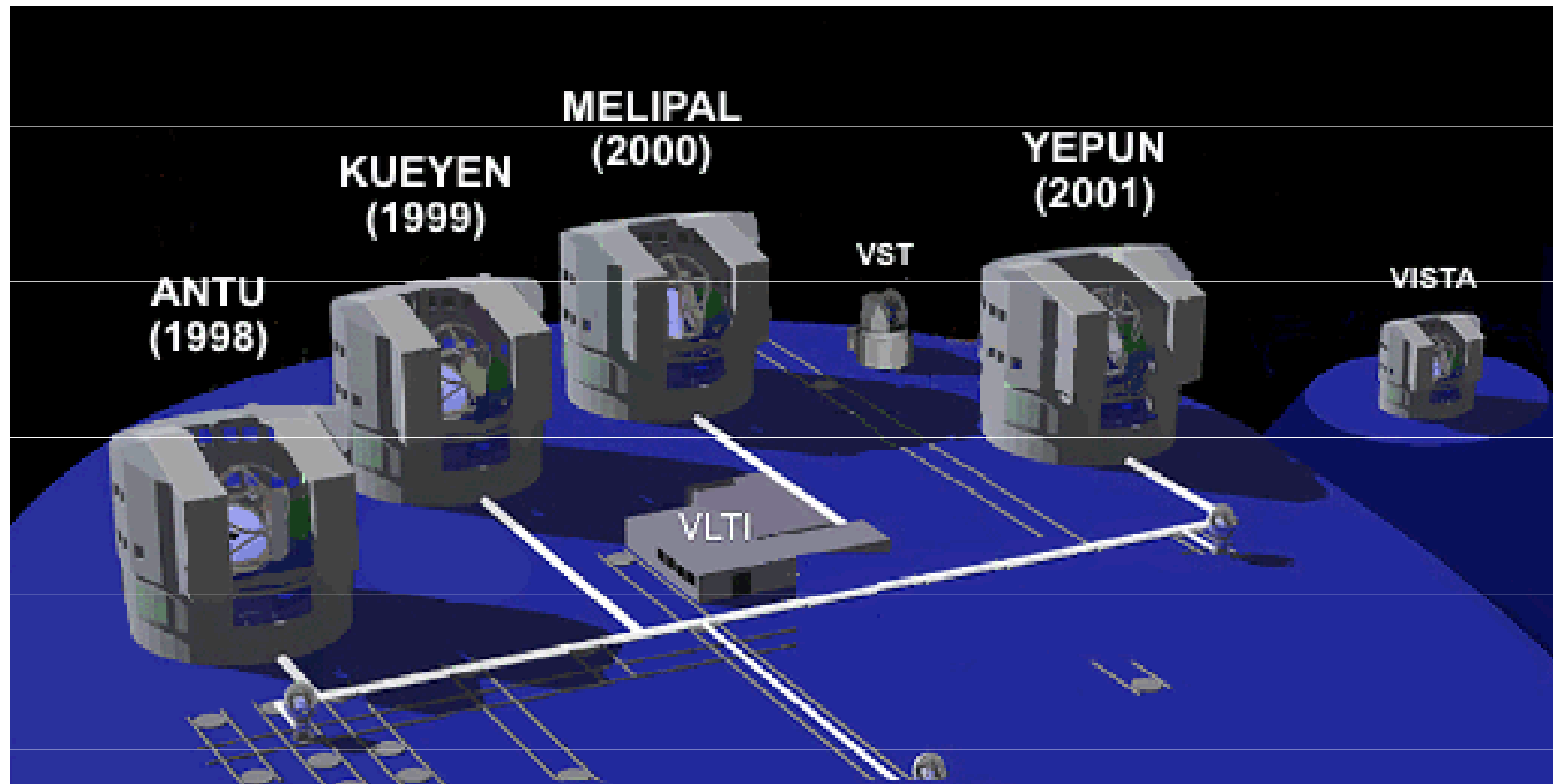
Vylepšení obrazu adaptivní optikou



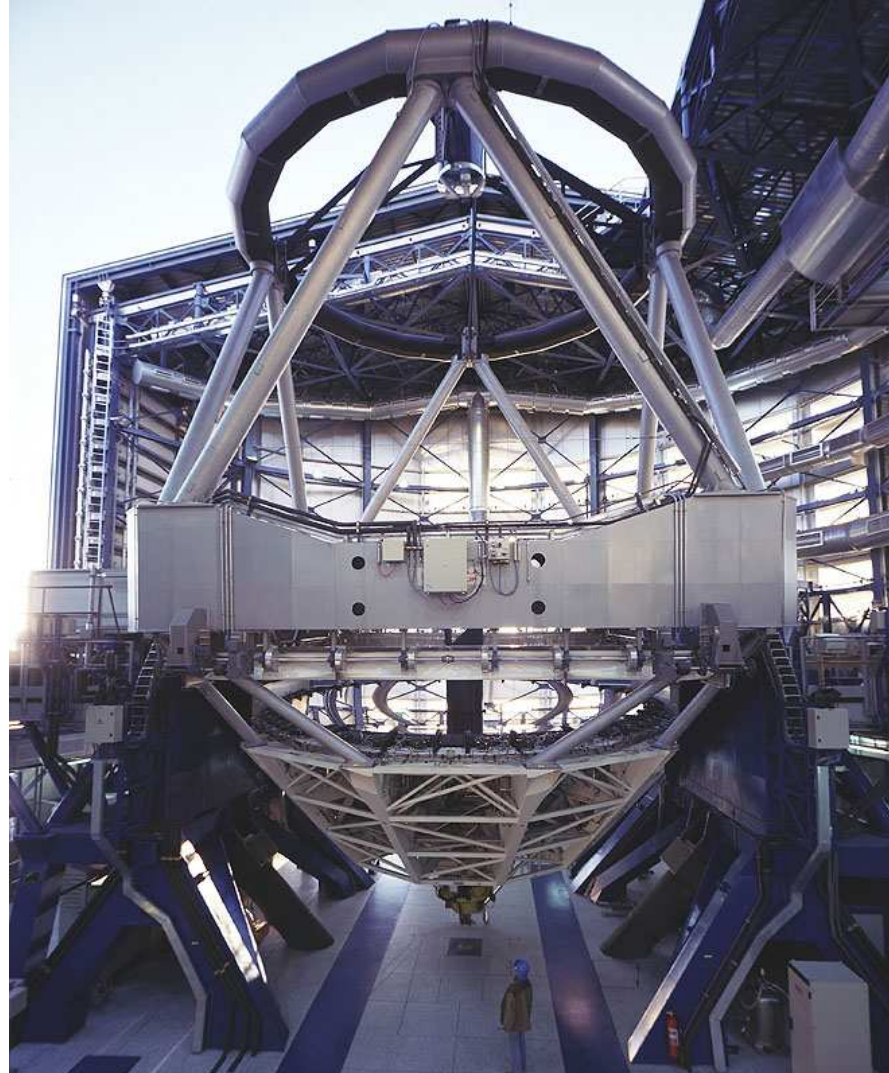
ESO - Cerro Paranal VLT



Soustava dalekohledů VLT



Dalekohled Kueyen - Měsíc



La Palma ENO William Herschel



Pogsonova rovnice

Vzdálené galaxie se vyznačují průměrnou pozorovanou hvězdnou velikostí 20,30 mag.

Exploze supernovy v nich zvýší jejich jasnost na 20,0 mag. Určete hvězdnou velikost samotné supernovy.

$$E_c = E_1 + E_2 \quad , \quad m_c = 20,00 \text{ mag.} \quad m_1 = 20,30 \text{ mag.} \quad m_2 = ?$$

$$\log E_c = -0,4 m_c = -8 \quad , \quad E_c = 1 \cdot 10^{-8} \text{ luxů} \quad \log E_1 = -8,12 \quad , \quad E_1 = 7,6 \cdot 10^{-9} \text{ luxů}$$

$$E_2 = E_c - E_1 = 2,4 \cdot 10^{-9} \text{ luxů} \quad , \quad \log E_2 = 8,62 \quad m_2 = 21,55 \text{ mag}$$



Pogsonova rovnice

14. Celková pozorovaná bolometrická hvězdná velikost dvojhvězdy $m_c = 4,02$ mag, rozdíl hvězdných velikostí $m_2 - m_1 = 0,08$ mag. Stanovte pozorované bolometrické hvězdné velikosti každé složky.

Řešení: $\log \varphi_c = -0,4 m_c = -1,608 \dots \varphi_c = 0,025 \text{ W.m}^{-2}$,

$$\log \frac{\varphi_1}{\varphi_2} = -0,4 (m_2 - m_1) = 0,032 \quad \varphi_1 = 1,08 \varphi_2 \quad \varphi_c = 2,08 \varphi_2$$

$$\varphi_1 = 0,013 \text{ W.m}^{-2} \text{ , } \varphi_2 = 0,012 \text{ W.m}^{-2} \text{ ,}$$

$$m_1 = -2,5 \log \varphi_1 = 4,72 \text{ mag} \quad m_2 = -2,5 \log \varphi_2 = 4,80 \text{ mag}$$

Pogsonova rovnice

Určete celkovou pozorovanou hvězdnou velikost dvojhvězdy m_c , jejíž složky jsou okem nerozlišitelné, mají hvězdné velikosti 2,00 mag a 3,00 mag.


Řešení: nejprve stanovíme hustoty světelných toků jednotlivých složek, provedeme sečtení.

$$\log E = -0,4 m, \quad E_1 = 0,158 \text{ luxů} \quad E_2 = 0,063 \text{ luxů} \quad E_c = 0,221 \text{ luxů}$$

$$m_c = 1,64 \text{ mag.}$$



Pogsonova rovnice

Nalezněte zářivý výkon jednotlivých složek dvojhvězdy α Gem Castora, jejíž složky mají pozorovanou bolometrickou hvězdnou velikost 1,93 mag, 2,97 mag. Paralaxa dvojhvězdy dosahuje $\pi = 0,064''$ 

Řešení:

$$\log \varphi_1 = -0,4, 1,93 = -0,772 \quad \varphi_1 = 0,169 \text{ W.m}^{-2}$$

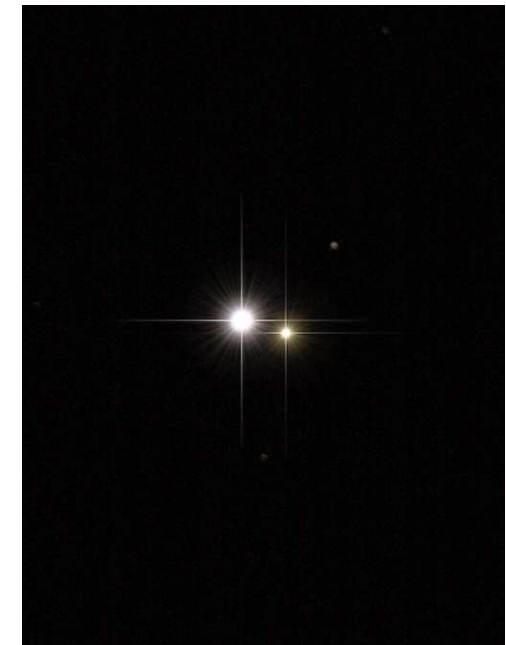
$$\log \varphi_2 = -0,4, 2,97 = -1,188 \quad \varphi_2 = 0,065 \text{ W.m}^{-2}$$

$$\varphi_c = \varphi_1 + \varphi_2 = 0,234 \text{ W.m}^{-2}, \quad m_c = -2,5 \log \varphi_c = 1,58 \text{ mag}$$

$$M_c = m_c + 5 + 5 \log \pi = 0,61 \text{ mag}$$

$$\log L_c = 0,4 (4,75 - 0,61) = 1,66 \quad L_c = 45 L_S$$

$$L \sim \varphi, \quad \frac{\varphi_1}{\varphi_2} = 2,6, \quad L_1 = 32,5 L_S \quad L_2 = 12,5 L_S$$

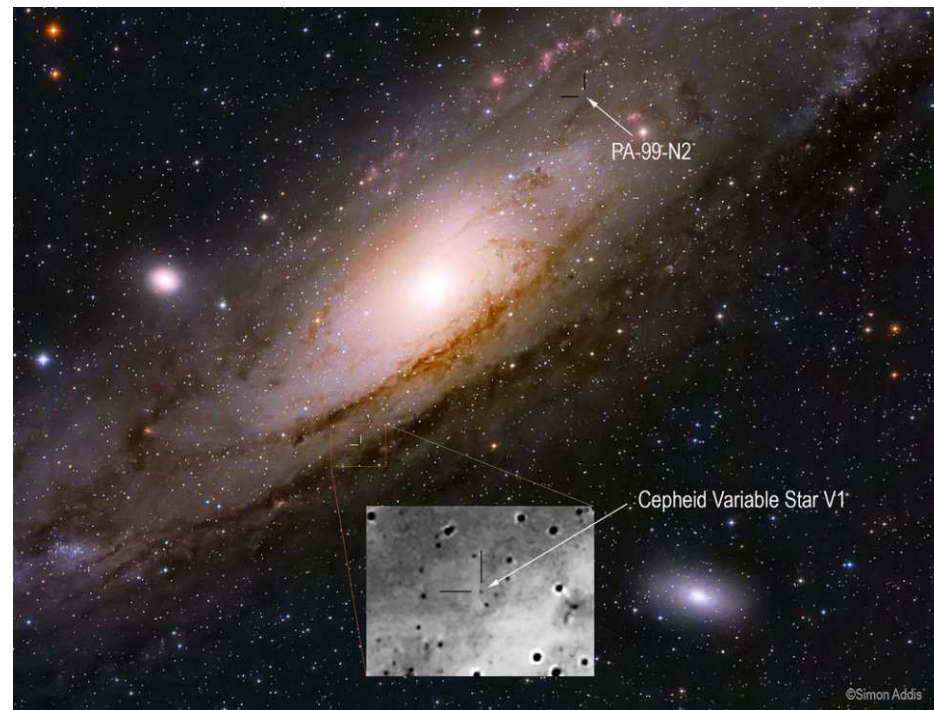


Určování vzdáleností pomocí cefeid

Při pozorování cefeidy v galaxii M 31 byla zjištěna perioda pulsace 3 dny a pozorovaná hvězdná velikost 21,6 mag. Určete její vzdálenost, jestliže mezi periodou pulsace a absolutní hvězdnou velikostí platí vztah

$$\log P + 0,394 M = - 0,657$$

Řešení: Ze uvedeného vztahu určíme $M = - 2,88$ mag. Dosadíme do vztahu pro modul vzdálenosti $m - M = 5 \log r - 5$, $r = 10^{0,2(m-M+5)} = 800$ kpc



Pogsonova rovnice

O kolik stupňů se zvýší efektivní povrchová teplota hvězdy s původní teplotou 10 000 K, jestliže se zvýší její jasnost o pozorovanou bolometrickou hvězdnou velikost 0,1 mag. Předpokládáme, že poloměr hvězdy se nezmění.

$$\varphi = \frac{S}{4\pi r^2} L \quad r_1 = r_2 \quad R_1 = R_2 \quad L = 4\pi R^2 \sigma T_{ef}^4$$

$$m_1 - m_2 = 2,5 \log \frac{\varphi_2}{\varphi_1} \quad 0,1 = 2,5 \log \frac{(T + \Delta T)^4}{T^4}$$

$$10^{0,04} = \frac{(T + \Delta T)^4}{T^4} \quad 1,0233 = \frac{T + \Delta T}{T} \quad \Delta T = 233 K$$



Záření hvězd

4.1, 4.6, 4.7, 4.8 4.11, 4.20, 4.23, 4.24, 4.25