

De Baade-Wesselink methode: vroeger en nu

Martin Groenewegen

Instituut voor Sterrenkunde - K.U.Leuven

groen@ster.kuleuven.be

Overzicht

- Een korte geschiedenis van variabele sterren
- De bepaling van afstanden en sterstralen van pulserende sterren
- De geschiedenis van de Baade-Wesselink (BW) methode en de rol van Prof. van Hoof
- De BW-methode in de 21^e eeuw

Variable sterren

- Mira (*o* Cet) ontdekt door Fabricius (1596)
- δ Cephei variable ster ontdekt Goodricke (1784)
- Toegeschreven aan eclipsen in een dubbelster
- Schwarzschild (1900) ontdekte in η Aql een continue variatie in helderheid *en* in kleur
- Brunt (1913)
Radiële snelheid uit spectra; maar altijd slechts één component waargenomen
- Shapley (1914)
-De ster is groter dan de baan van de dubbelster
-radiële pulsatie

Variable sterren

- Emden (1907) “Gaskugeln”
August Ritter (1879) radiële pulsaties in gasbollen van konstante dichtheid: $P \propto 1/\sqrt{\rho}$
- Ontdekking van de Cepheiden periode-lichtkracht relatie door Leavitt (1912)
- Vogt, Pannekoek, Jeans, Hoyle bleven geloven in dubbelster hypothese
- Baade's (1926) werk was bedoeld as test voor de pulsatie hypothese

(Alfred Gautschy: “On the Baade-Wesselink method”
en “The history of radial stellar pulsation theory”)

Hoofdwerken

- Walter Baade,
1926, *Astronomische Nachrichten* 228, 359
“Über eine Möglichkeit, die Pulsationstheorie der δ Cephei-Veränderlichen zu prüfen”
- Kurt Felix Bottlinger,
1928, *Astronomische Nachrichten* 232, 3
“Einige Untersuchungen über ζ Geminorum”
- Wilhelm Becker,
1940, *Zeitschrift für Astrophysik* 19, 289
“Spektralphotometrische Untersuchungen an δ Cephei-Sternen. X. Ein Beitrag zur Prüfung der Pulsationstheorie der δ Cephei-Veränderlichen durch die Beobachtung und eine unabhängige Ableitung der Perioden-Helligkeitsbeziehung”

Hoofdwerken

- Armand van Hoof,
1943, Koninklijke Vlaamsche Academie voor
Wetenschappen, Letteren en Schone Kunsten 5, 12
“Een nieuwe methode ter bepaling van de lineaire diameter
en de absolute magnitude van cepheiden”

1945, Ciel et Terre, Vol. 61, p. 11
“Une nouvelle méthode pour déterminer le diamètre
linéaire et la magnitude absolue des céphéides”
- Adriaan Jan Wesselink,
1946, Bulletin of the Astronomical Institutes of
the Netherlands 10, 91
“The observations of brightness, colour and
radial velocity of δ Cephei and the pulsation
hypothesis”

Principes

L = lichtkracht; R = straal; T = effectieve temperatuur

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4$$

$$L_\lambda = 4\pi R^2 \pi B_\lambda$$

$$m_{\text{bol}} = -2.5 \log L + C$$

$$m_{\lambda_1} - m_{\lambda_2} = m_1 - m_2 = \text{kleurindex} = f(T)$$

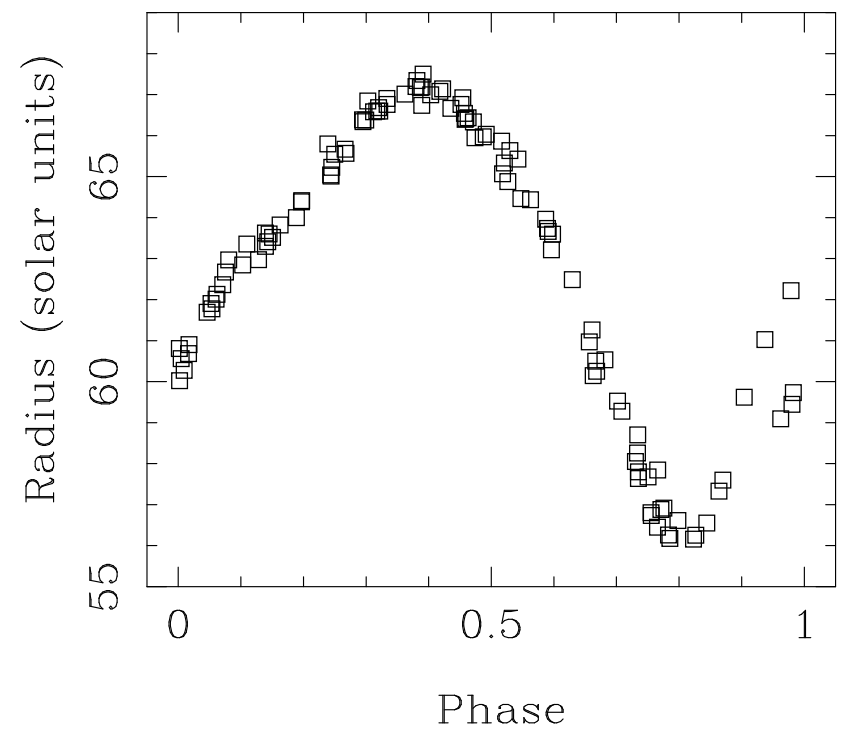
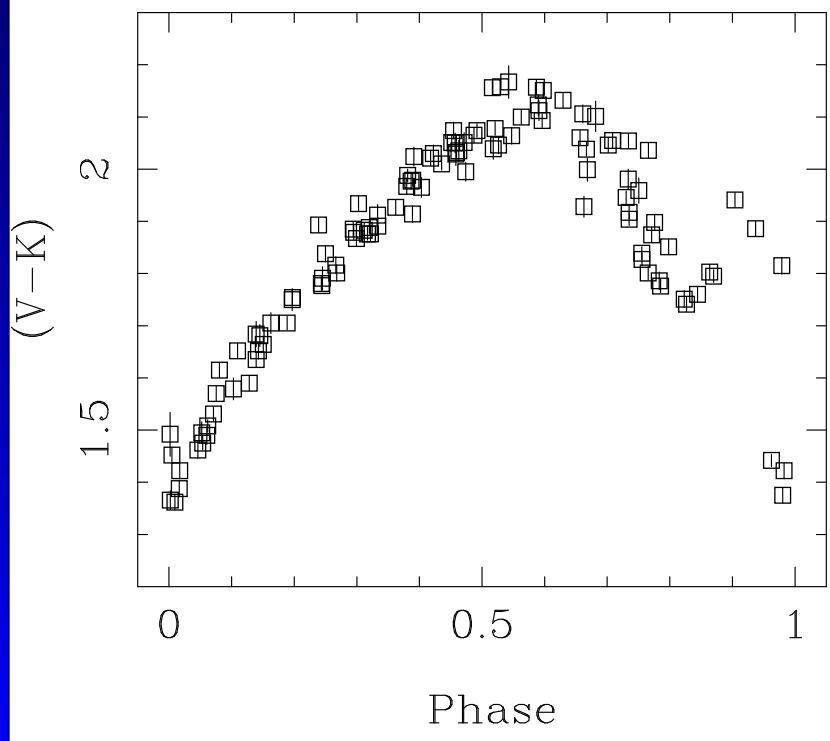
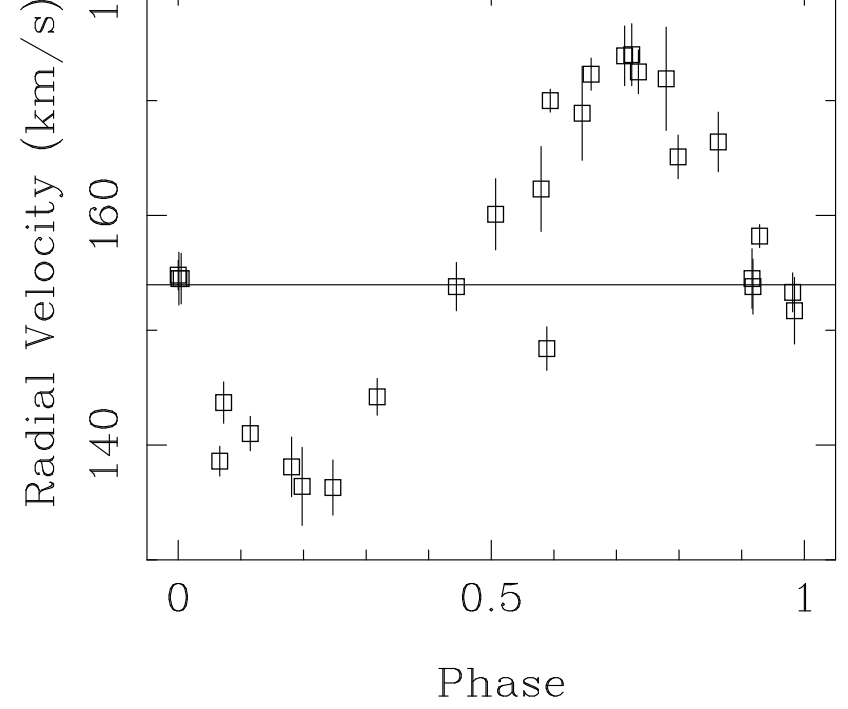
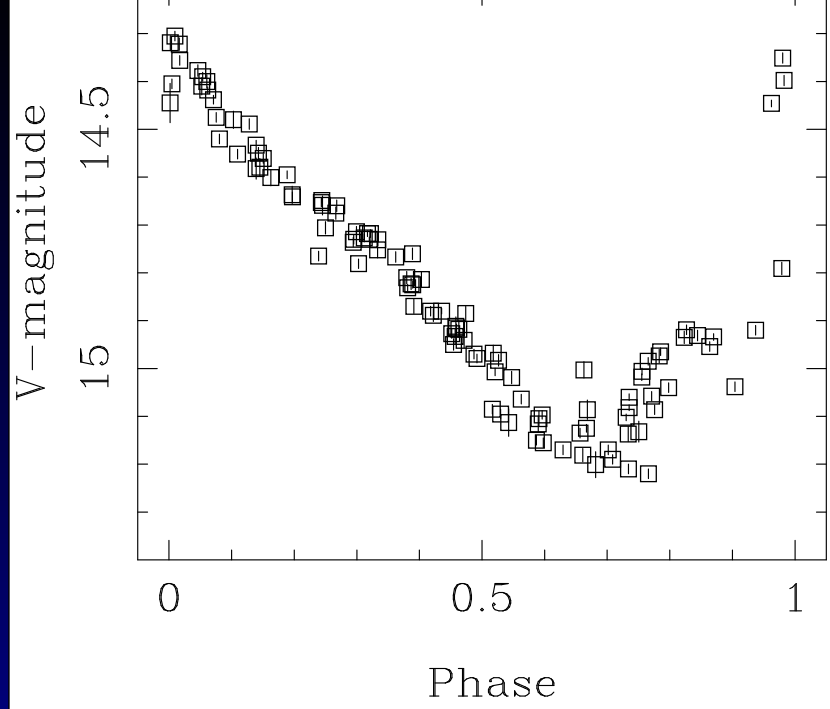
Principes

$$\log(R(t)/R(t_0)) = -0.2(m_{\text{bol}}(t) - m_{\text{bol}}(t_0)) - 2 \log(T(t)/T(t_0))$$

$$d x / d t = v$$

$$R(t) - R(t_0) = -p P \int_{\phi(t_0)}^{\phi(t)} (v_{\text{R}} - \gamma) d\phi$$

p = projectie factor, P = pulsatie periode,
 ϕ = fase (t/P), γ = snelheid van de ster,
 v_{R} = gemeten radiële snelheid



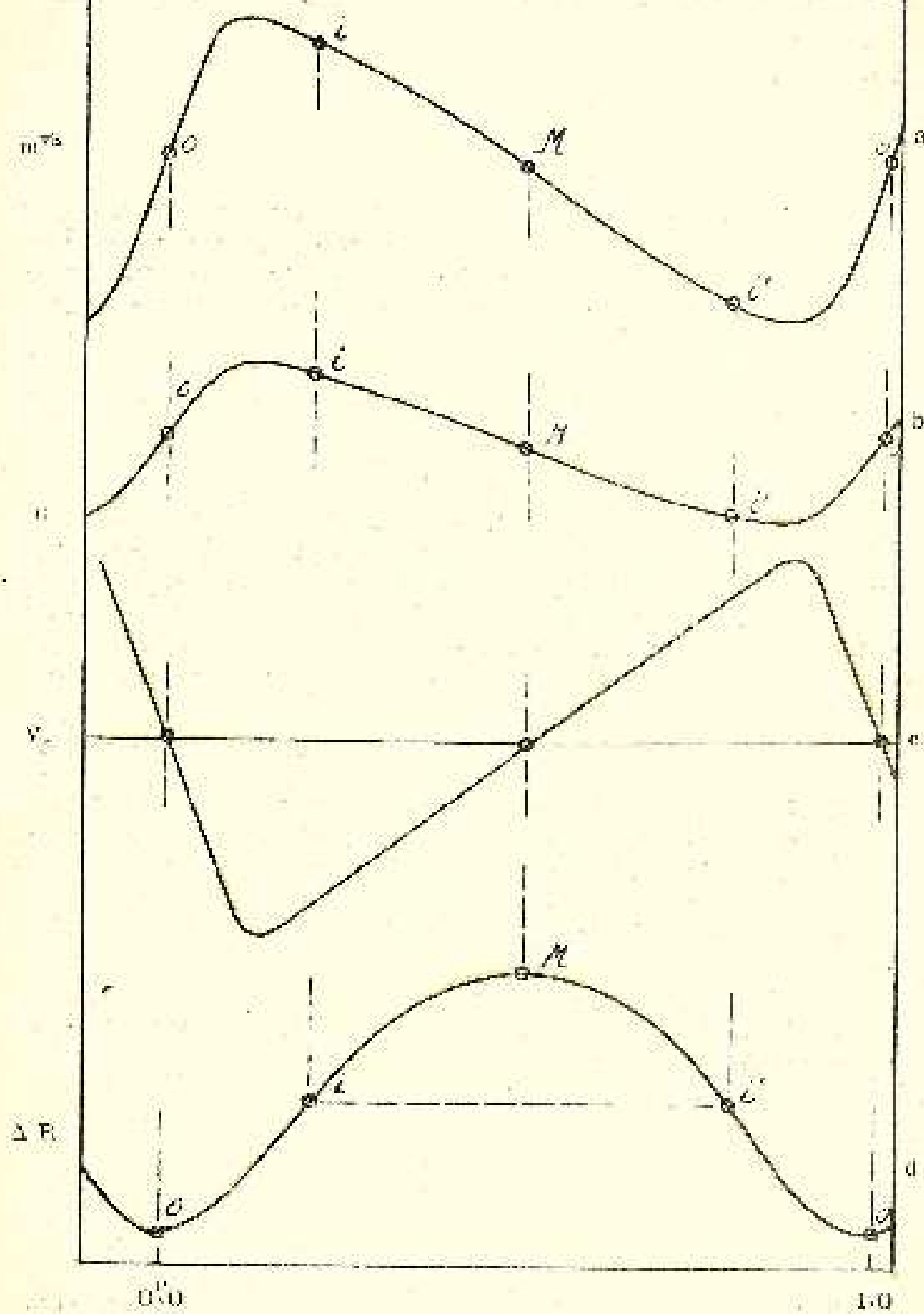
Resultaten

- Baade
 - $(R(\phi)/R_{\min})$ tegen $(R(\phi) - R_{\min})$
 - Moeten in vorm en fase overeenstemmen
 - Uit R_{\min} en T_{\min} is helderheid te berekenen en te vergelijken met PL -relatie
 - Niet voldoende data !
- Bottlinger
 - Data voor ζ Gem
 - Werkt niet !
 - faseverschillen, en helderheid inconsistent
 - Conclusie: zwarte straler benadering houdt niet over pulsatie cyclus

$$L_{\lambda} = 4\pi R^2 \pi B_{\lambda} \Rightarrow 4\pi R^2 F$$

Resultaten

- Becker
 - Bevestigt negatieve resultaat voor ζ Gem onder aanname van zwarte straler
 - Empirische relatie tussen effectieve temperatuur, kleur temperatuur en stralings temperatuur (1940, ZA 19, 289)
 - $p = 1$ (circa 30% fout)
 - In 13 van de 16 sterren goede overeenstemming
 - Vindt een Periode-Straal relatie
 - Overeenstemming van Periode-Lichtkracht relatie
 - Gebruikt een Massa-Lichtkracht relatie om Massa's te bepalen en vind $P\sqrt{\rho} = \text{konstante}$



Van Hoof
(1943)

FIG. 1

Resultaten

- van Hoof
 - Punten met gelijke straal: $m_i - m_{i'} = j_i - j_{i'}$
 - Aanname: $j_i - j_{i'} = k (c_i - c_{i'})$
 - Meerdere horizontalen om k te bepalen uit $(m_i - m_{i'}) / (c_i - c_{i'})$
 - $n = R_i / R_0 \Rightarrow (n - 1) R_0 = (\Delta R)_i$
 - $m_i - m_0 = (j_i - j_0) - 5 \log n \Rightarrow$ Bepaal n
 - Bereken R_0 en $M_{\text{ceph}} - M_{\text{zon}} = k (c_{\text{ceph}} - c_{\text{zon}}) - 5 \log n$
 - $p = 1$
 - Past dit toe op ζ Gem, δ Cep, S Sag

Resultaten

- Wesselink
 - Hypothese dat er een unieke relatie is tussen kleurindex en oppervlakte-helderheid voor één Cepheide
 - Gaat uit van punten met gelijke kleur-index
 - $m_2 - m_1 = 5 \Delta \log R \approx 5 \log(e) \Delta R/R$
(mits $\Delta R \ll R$)
 - Toepassing of δ Cep

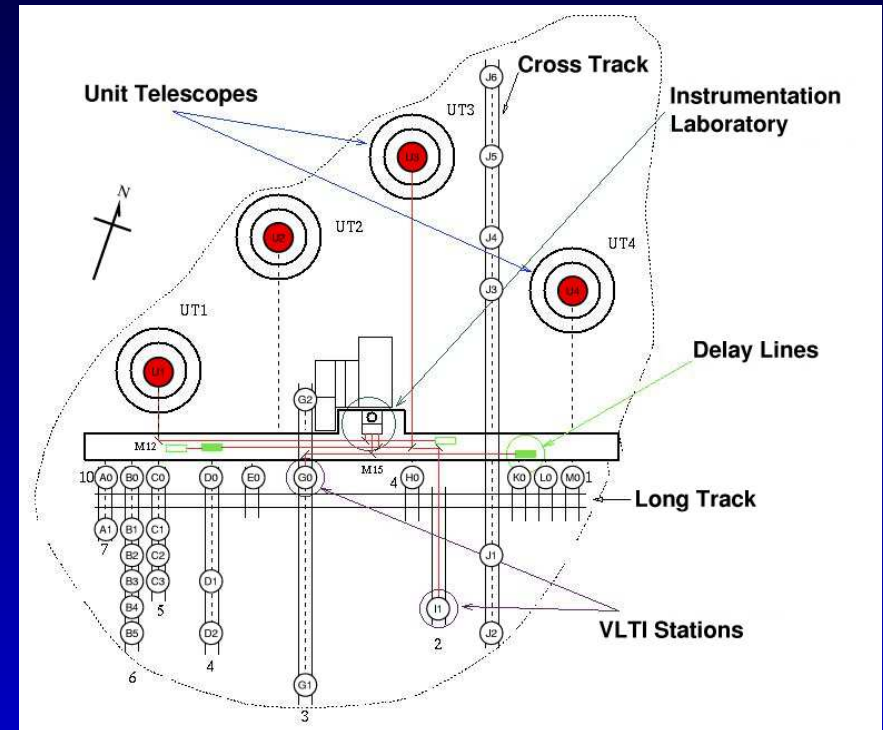
De 21^e eeuw: interferometrie



The VLT Array on the Paranal Mountain

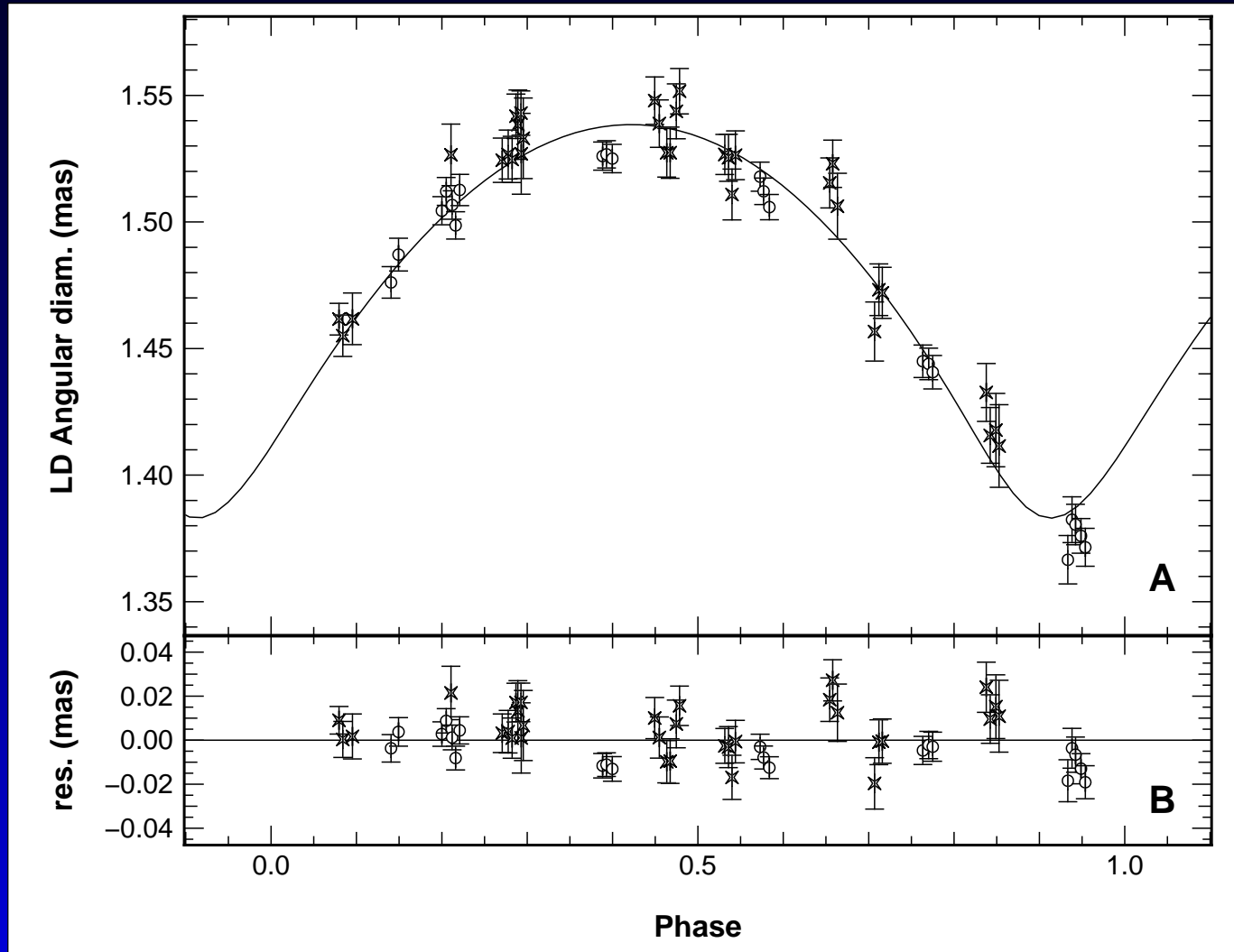
ESO PR Photo 14a-00 (24 May 2000)

© European Southern Observatory



Lay-out van de VLTI op Cerro Paranal

Cepheiden radiëel pulserend ?



Directe waarneming van de straal verandering over de pulsatie cyclus in δ Cep.

Oppervlakte-helderheid relatie

Wesselink (1969)

$$F_V = 4.2207 - 0.1V_0 - 0.5 \log \theta$$

$$\theta_0 = \theta \times 10^{(m_1/5)}$$

$$\log \theta_0 = a \times (m_2 - m_3) + b$$

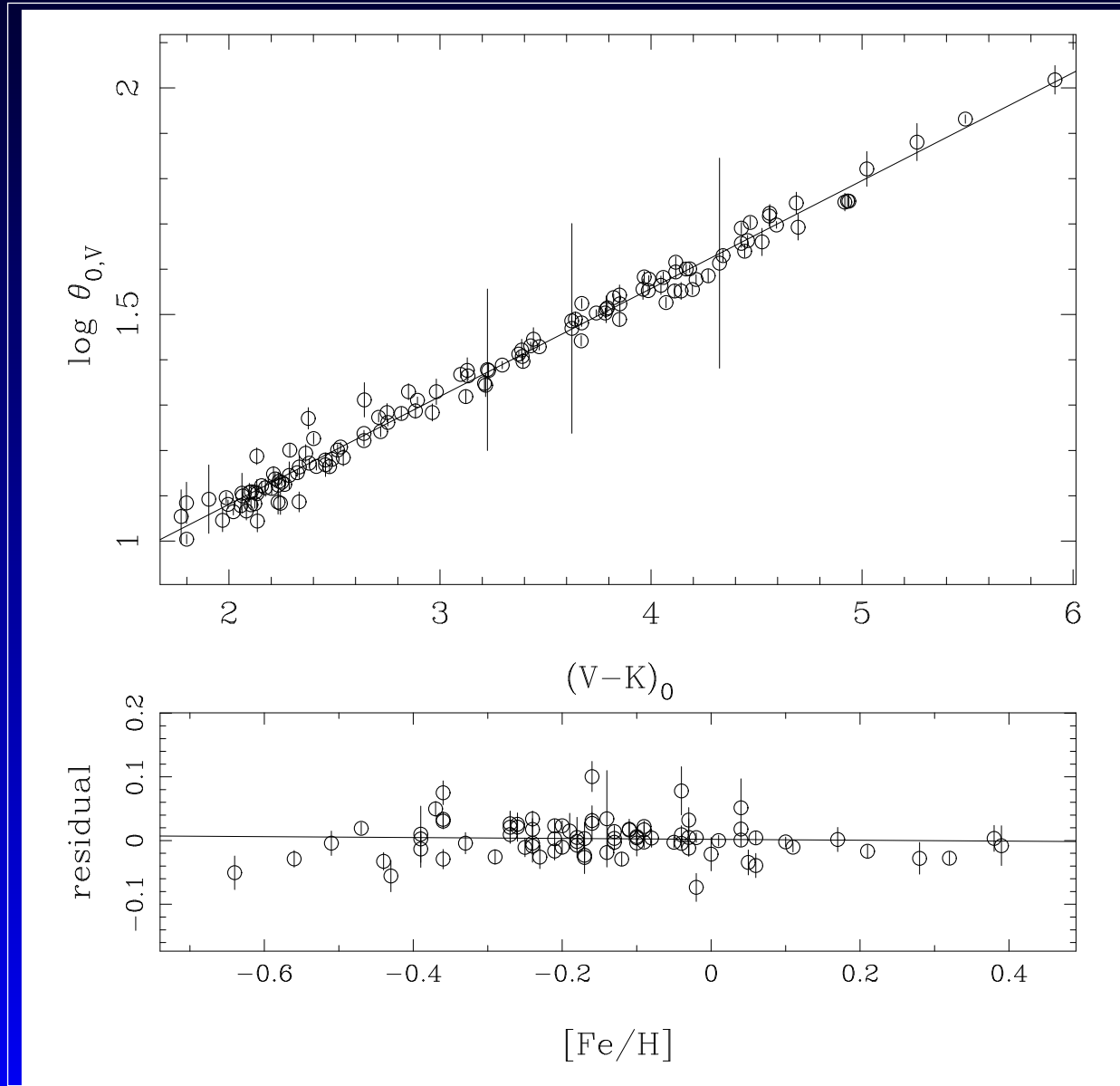
Toen:

V tegen $(B - V)$, 18 sterren, $\sigma = 20\%$

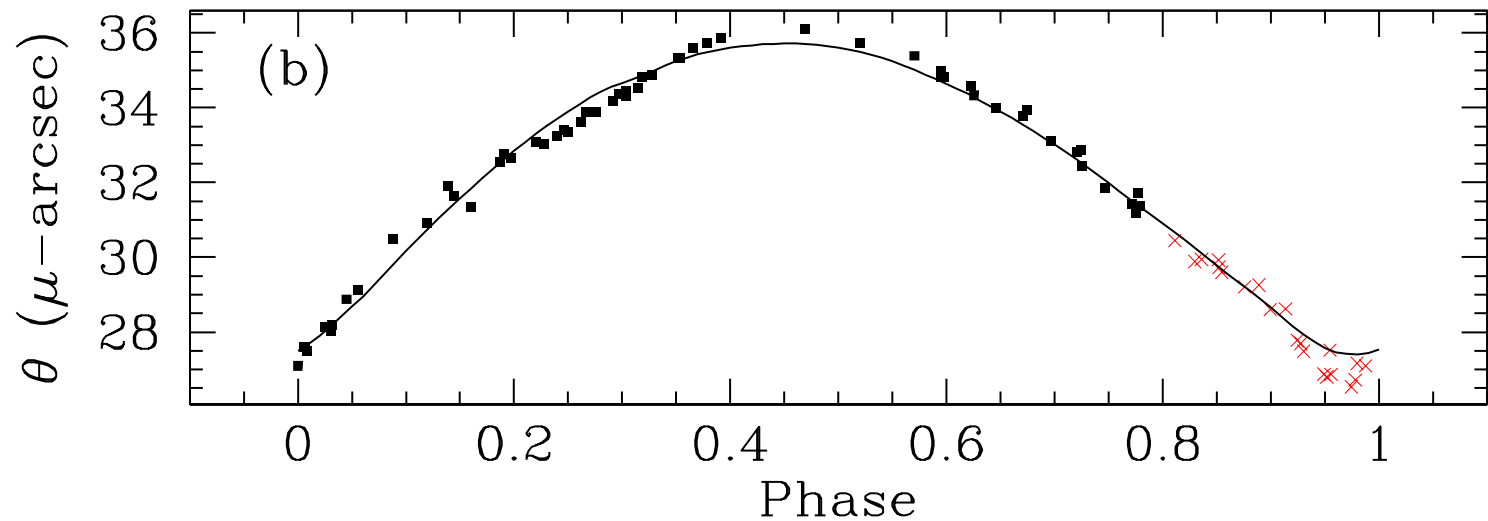
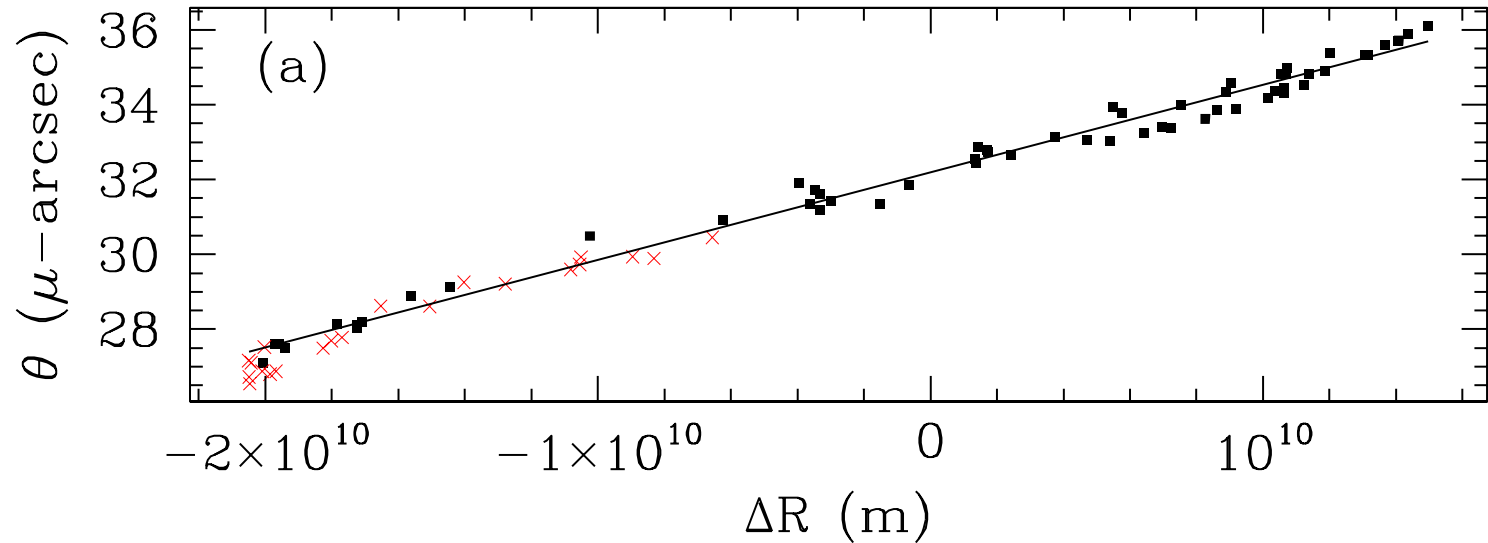
Nu:

V tegen $(V - K)$, 200 sterren, $\sigma = 5.5\%$

Oppervlakte-helderheid relatie

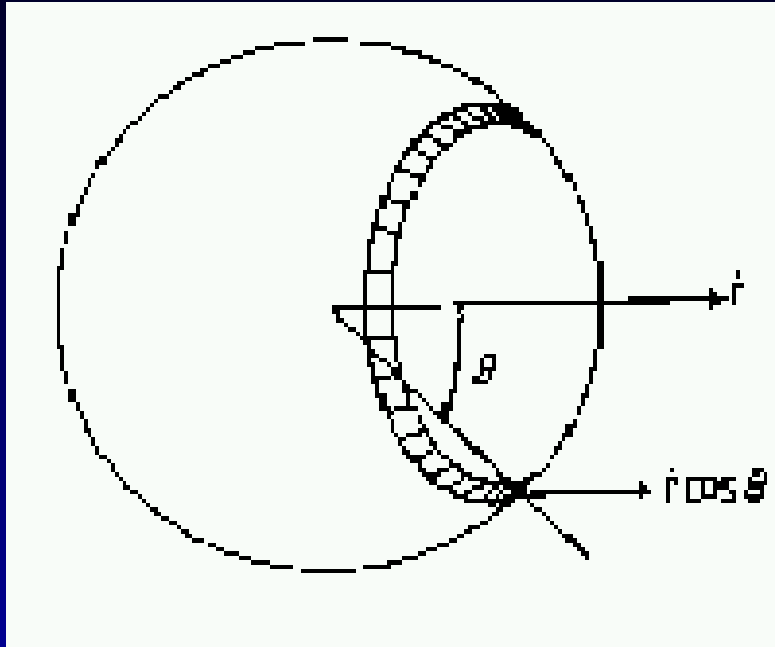


Groenewegen
(2004)



Gieren et al. (2005)
HV 2257 in LMC: 57.2 ± 0.7 kpc

p-factor



-geometrisch effect
-rand-verzwakking
- $p = 1.4$

1.36 (Hydrostatische modellen, Burki et al 1982)

1.43 (Dynamische modellen, Sabbey et al. 1995)

1.27 ± 0.01 (Dynamische modellen, Nardetto et al 2004)

1.47 ± 0.06 (Consistentie PL -relatie Galactische en MC Cepheiden, Gieren et al. 2005)

meer studie m.b.v. spectro-interferometrie

Conclusies

- Baade - Wesselink methode

Als Baade dan ook Bottlinger

Als Wesselink dan ook Becker en van Hoof

- Oppervlaktehelderheids relaties zijn nu zeer wel gedefinieerd.

Verschillende toepassingen.

In combinatie met radiële snelheids metingen op 8m-klasse telescopen zijn nauwkeurige afstandsbepalingen tot 60 kpc mogelijk.

Vanaf 2015+, met een ELT (40m-klasse), zal het mogelijk zijn deze techniek toe te passen op sterren in M31.

EINDE