

6. Pulsacion estelar

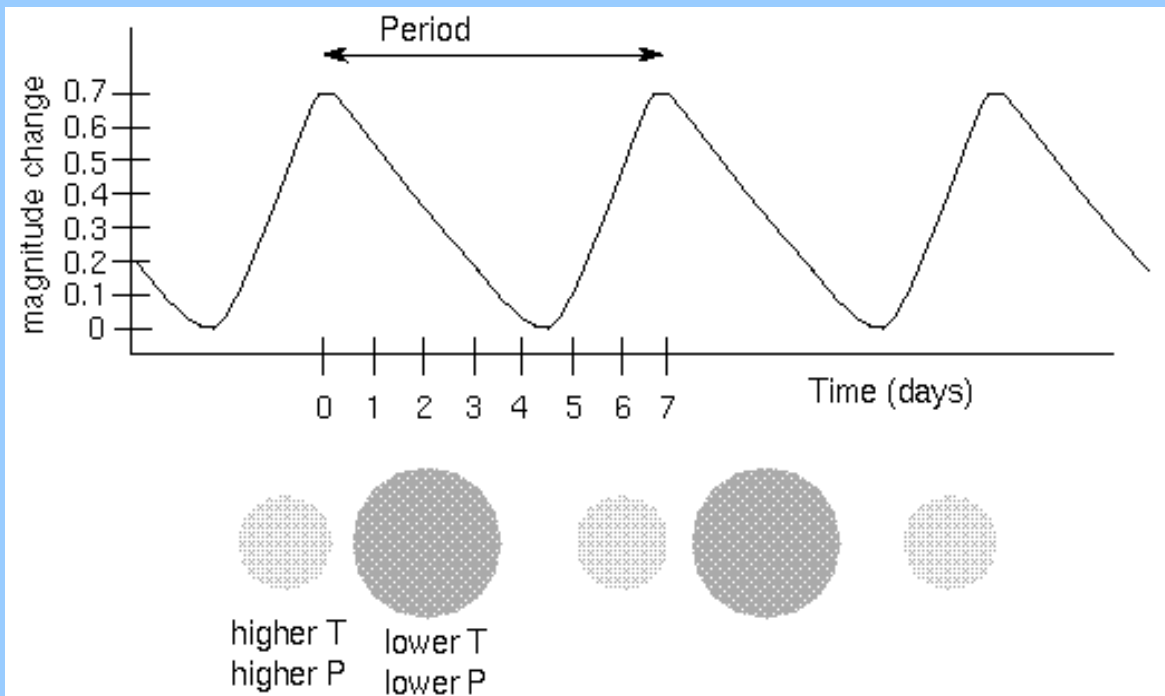
6.1 Tipologia

1595: David Fabricius descubrio omicron Ceti como estrella variable

1795: John Goodrick descubrio δ Cephei

periodo muy constante: 5.3666 dias

mas estrellas variables de este tipo = Cefeidas



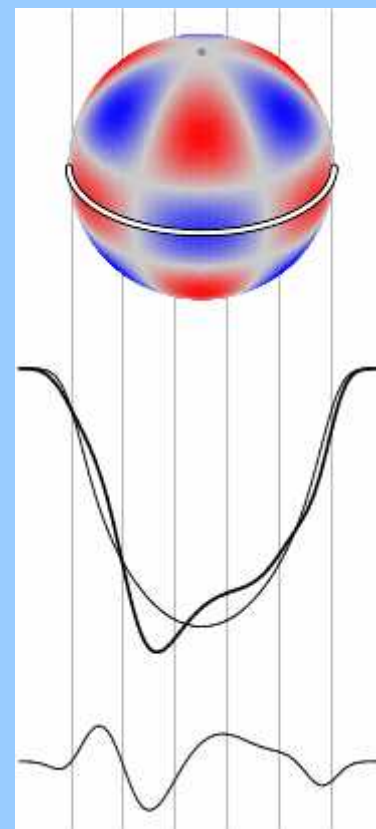
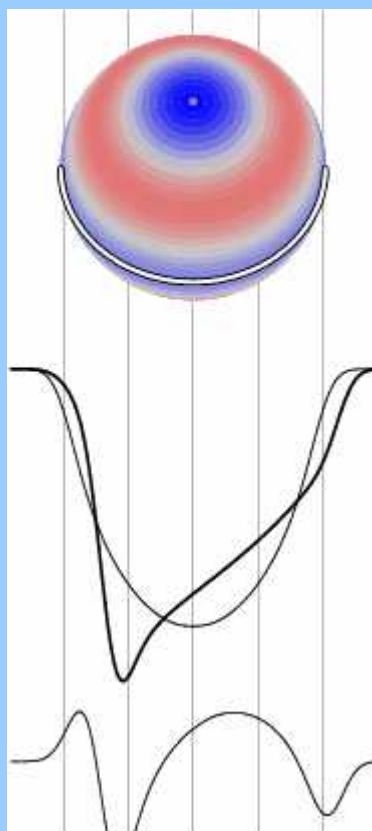
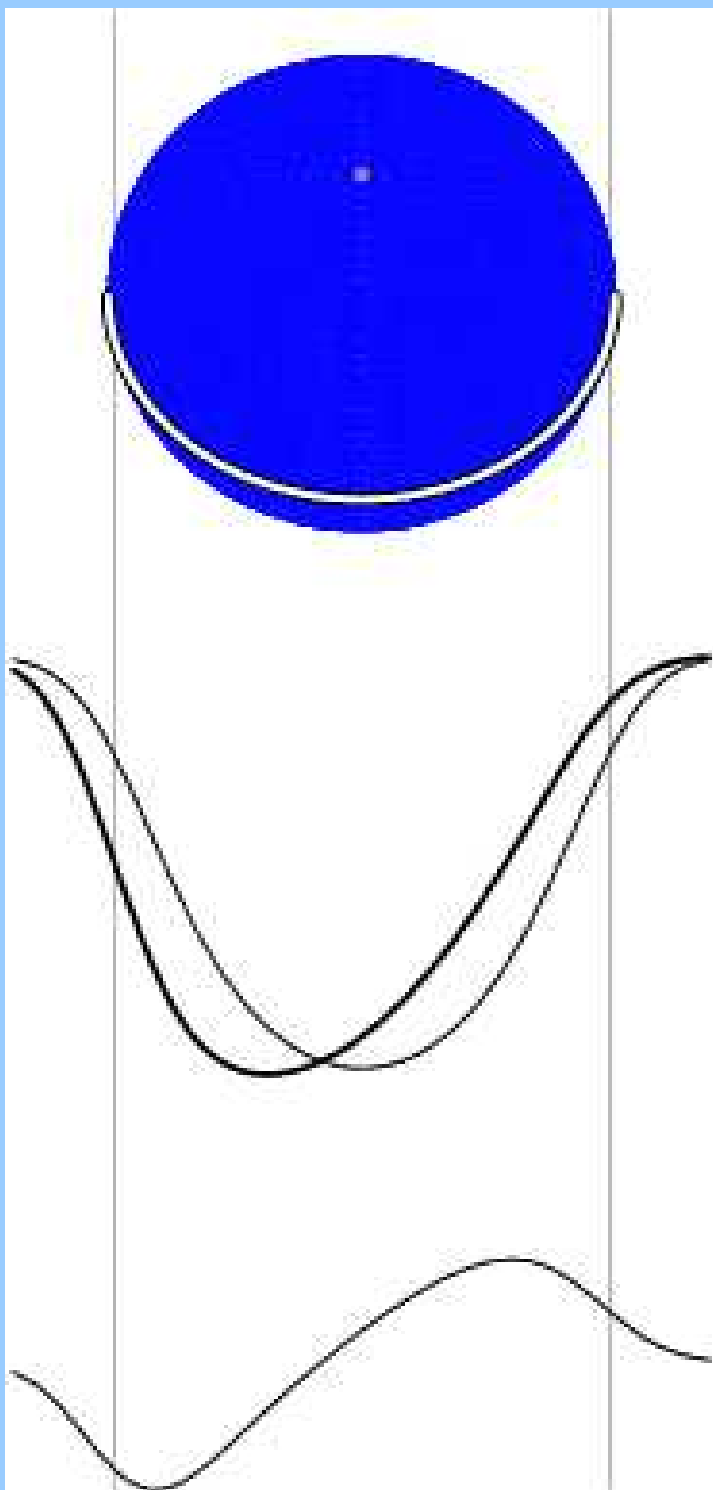
Cepheid variables: outward pressure (P) and inward gravity compression are out of sync, so star changes size and temperature: it **pulsates**.

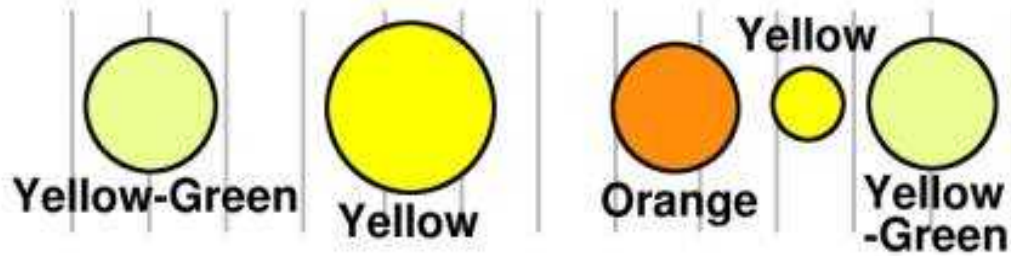
RR-Lyrae variables are smaller and have pulsation periods of less than 24 hours. Also, their light curve looks different from the *Cepheid* light curve.

estrellas pulsandas

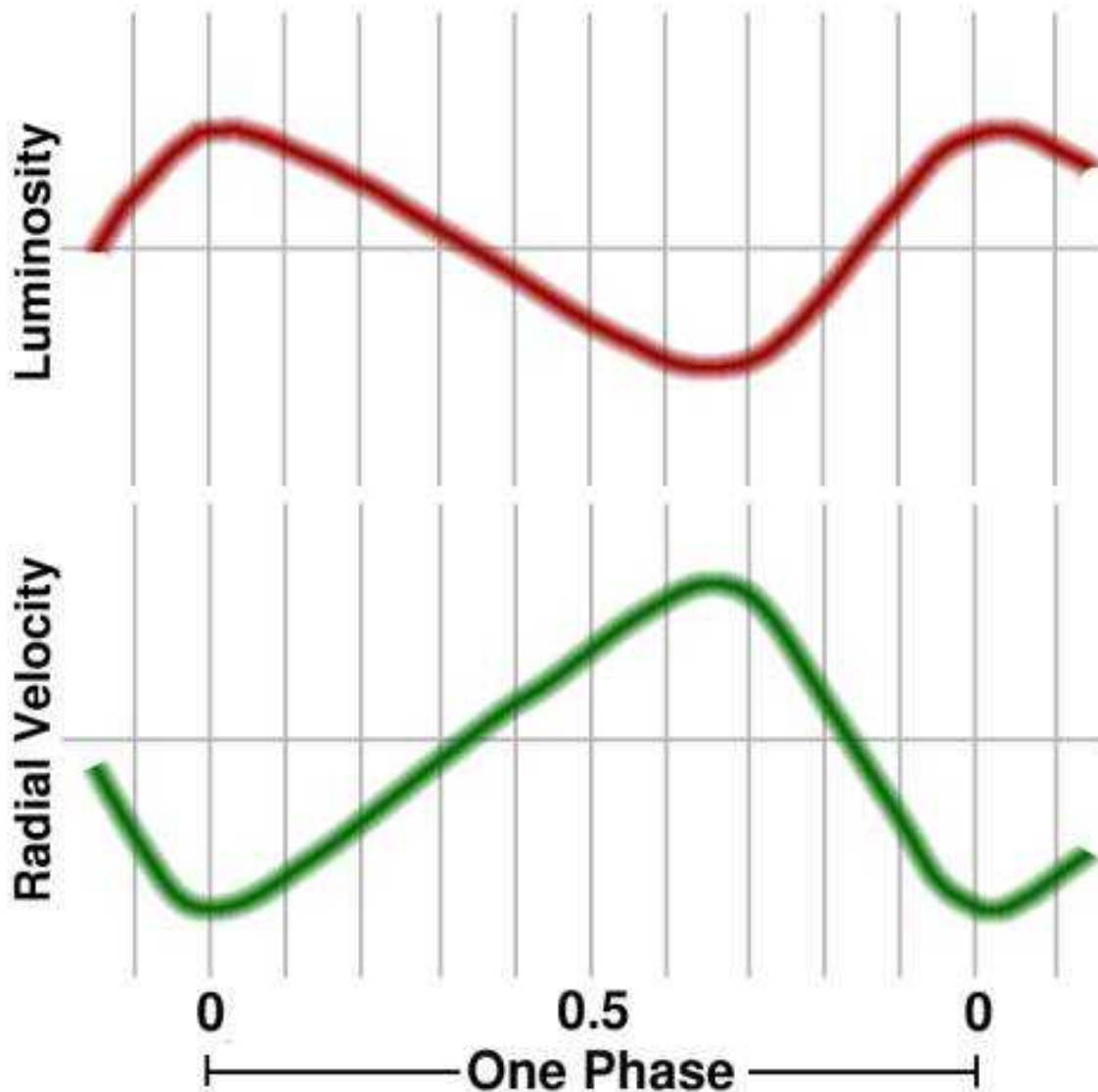
maximo no coincide
con maximo radio

--> variabilidad depende mas
de temperatura que del radio





color

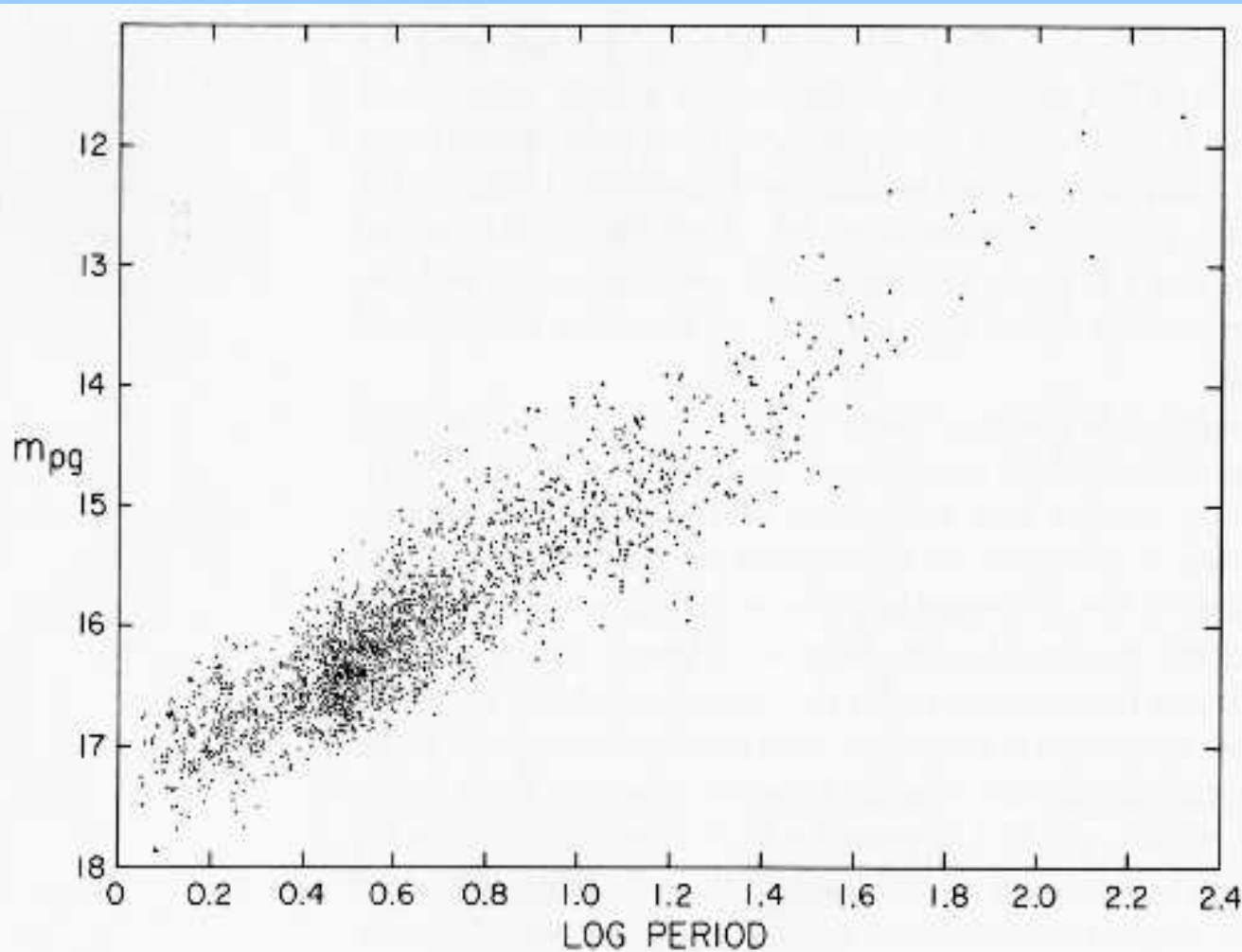


luminosidad

$$L \sim R^2 T_{eff}^4$$

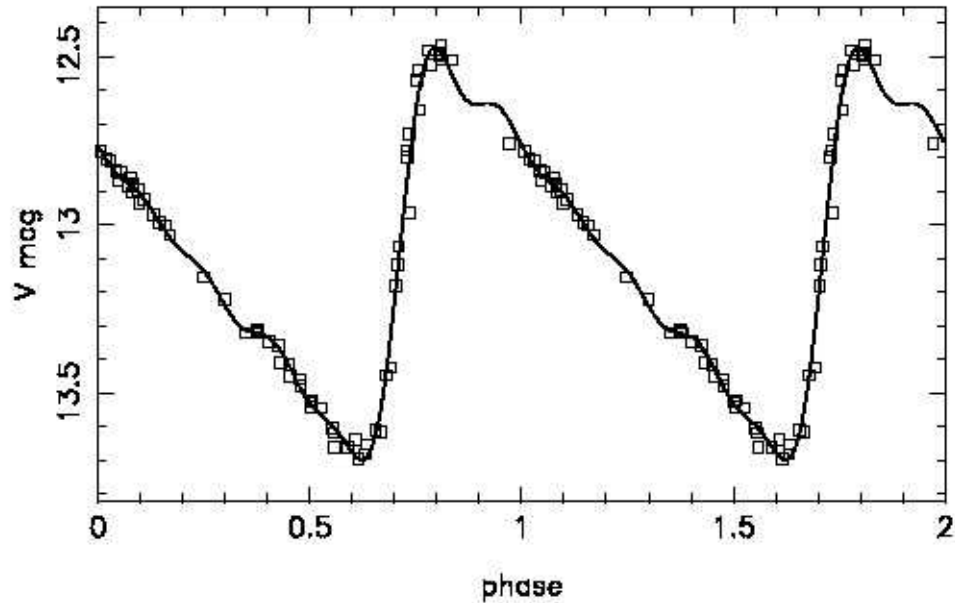
velocidad radial de
la superficie

Henrietta Leavitt (1918): descubrimiento de Cefeidas en
la nube pequeña de Magellan --> relacion entre magnitud aparente
y periodo
misma distancia --> relacion entre periodo y luminosidad
= relacion P-L

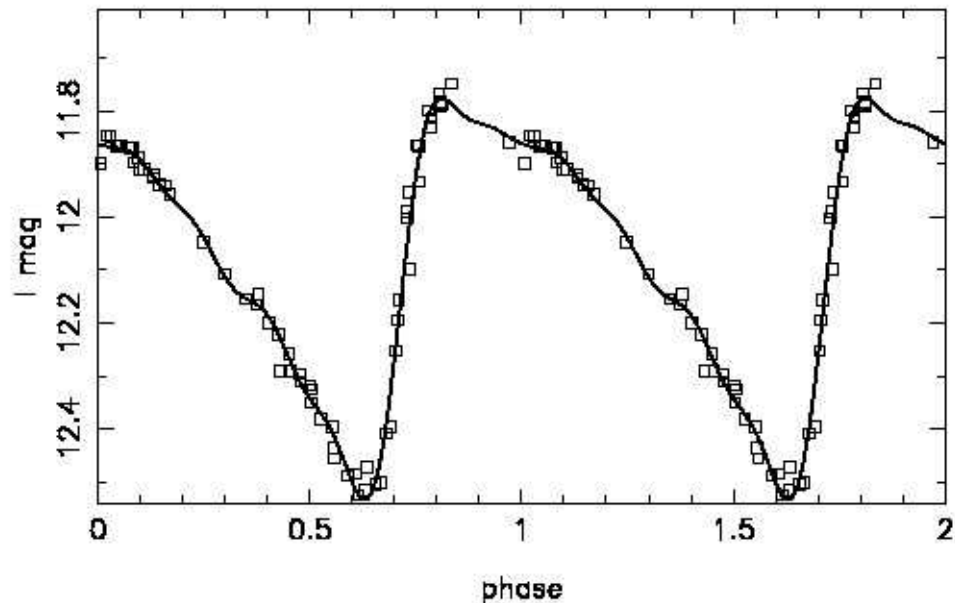


indicadores
de distancia !!

HV2257_ : P = 39.3700days, N(obs) = 66



HV2257_ : P = 39.3700days, N(obs) = 66



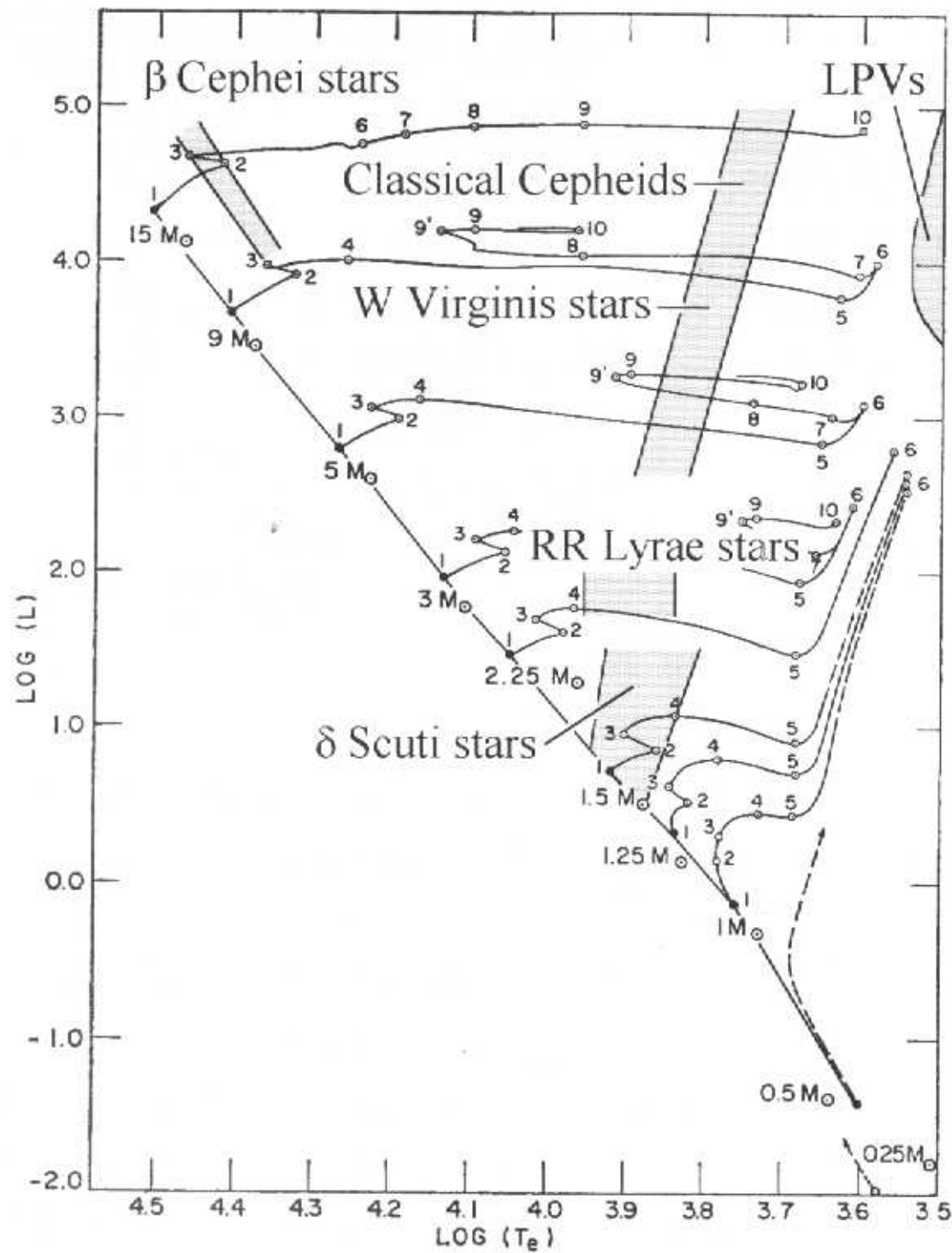
curvas de luz típicas

amplitudes 0.3 – 1 mag

calibracion moderna:

$$M_V = -2.8 \log P - 1.43$$

indicadores de distancias brillantes



mas tipos de estrellas pulsandas

casi todos estan en el diagrama
H-R en una "franja"

franja de inestabilidad

Zoología de las estrellas variables pulsandos:

Cefeidas clásicas: masas aprox. 4-8 masas solares

---> joven --> población I (disco Galáctico)

estrellas W-Virginis: mas viejos, menos brillantes

algunos en cúmulos globulares

---> población II

estrellas RR-Lyrae: viejos, población II

muchos en algunos (!) cúmulos globulares

amplitud pequeñas (0.5 mag)

estrellas delta-Scuti: población intermedia, cerca de secuencia

principal, amplitudes muy pequeñas (0.1 mag)

franja de inestabilidad:

solo en una franja en el diagrama HR hayan condiciones de inestabilidad para pulsaciones

- > una estrella empieza pulsar, cuando su trayectoria de evolucion cruza la franja de inestabilidad**
- > puede pasar en epocas evolucionarias diferentes
- > masas, estructuras, edades, metalicidades diferentes
- > tipologia (periodos, amplitudes, tipo de oscilacion) diferentes

tarea: entender la fisica de pulsacion

6.2 La física de pulsación

pulsación = cambio de presión propaga a través la estrella
solo las capas exteriores!!

velocidad = velocidad del sonido

$$v_{\text{sonido}} = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}} \quad \gamma = c_p/c_v$$

equilibrio hidrostático (densidad constante):

$$P(r) = \frac{2}{3} \pi G \rho^2 (R^2 - r^2)$$

consideramos el periodo como el tiempo que necesita una onda acustica para atravesar 2 veces el radio

$$\Pi = 2 \int_0^R \frac{1}{v_s} dr = \sqrt{\frac{3 \pi}{2 \gamma G \rho}}$$

relacion periodo-densidad

como mas grande la densidad (promedia)

--> tanto mas pequeña la luminosidad

---> relacion P-L teoricamente

--> relacion luminosidad-densidad

Por que hay franjas de inestabilidad?

Por que hay oscilaciones?

oscilacion: cambio del volumen

(por los menos en las capas oscilandas)

---> trabajo diferencial que ejerce una capa: $P dV$

trabajo total sobre un periodo $\oint P dV$

$\oint P dV > 0$: capa deposita trabajo --> oscilacion
excitada

$\oint P dV < 0$: capa necesita trabajo --> oscilacion
amortiguada

---> presion externa mas grande durante la fase de
compresion mas grande (dibujo..)

presion externa : por absorcion de radiacion

opacidad alta ---> absorcion alta

opacidad baja ---> absorcion baja

---> opacidad debe ser alta durante la fase de compresion maxima

normalmente no funciona!

opacidad de Kramers: $\kappa \sim \frac{\rho}{T^{3.5}}$

compresion aumenta --> T aumenta

caso adiabatico --> $\kappa \sim T^{-2.5}$: opacidad baja!

razon: iones estan en estados mas excitados

--> menos posibilidades para transiciones ligados- libre

donde se puede crecer κ con T?

---> en zonas de ionisacion parcial!

cascara con aprox. 10 000 K: H ionisado parcialmente

HeI ionisado parcialmente

mas profundo: zona de HeII

compresion de zona de ionisacion parcial:

energia usado para ionisacion completa

--> T no aumenta

en zonas de ionisacion parciales: $\kappa \sim \rho$

--> absorbe energia durante la compresion

--> libera energia durante la decompresion

--> oscilaciones !

mecanismo κ

ubicacion de las zonas de ionisacion HI/HeI y HeII
determinan propiedades de oscilacion

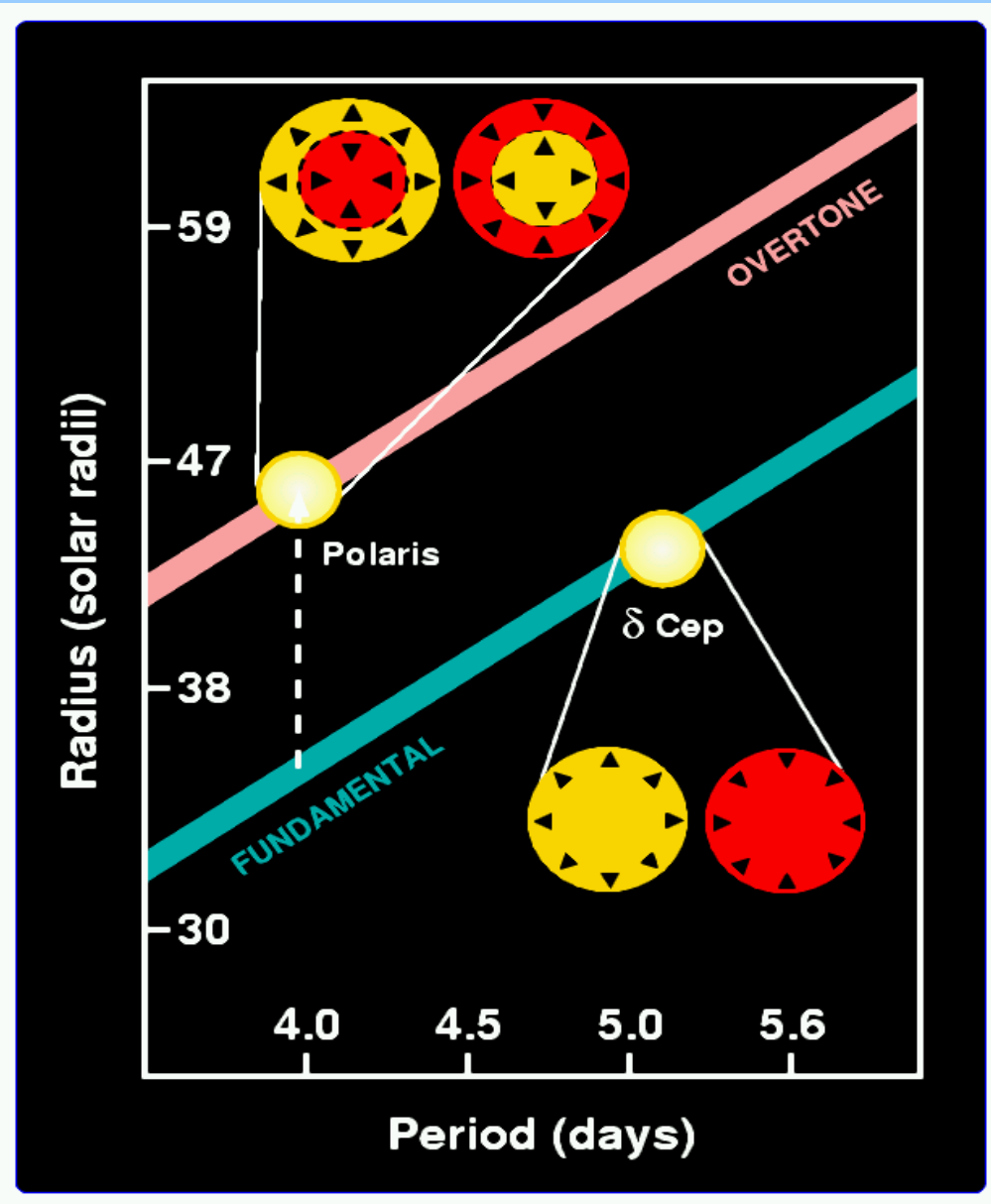
Si:

1. zona HI/HeI cerca de superficie
 - > densidad demasiado baja
 - > ninguna oscilacion
 - > pasa si la estrella esta demasiado caliente,
 $T_{\text{eff}} \sim 7500\text{K}$
2. zona HI/HeI profunda
 - > demasiado masa para excitar oscilaciones
 - estrella esta demasiado fria, $T_{\text{eff}} \sim 5500\text{K}$
 - > "franja" en el diagrama HR con oscilaciones

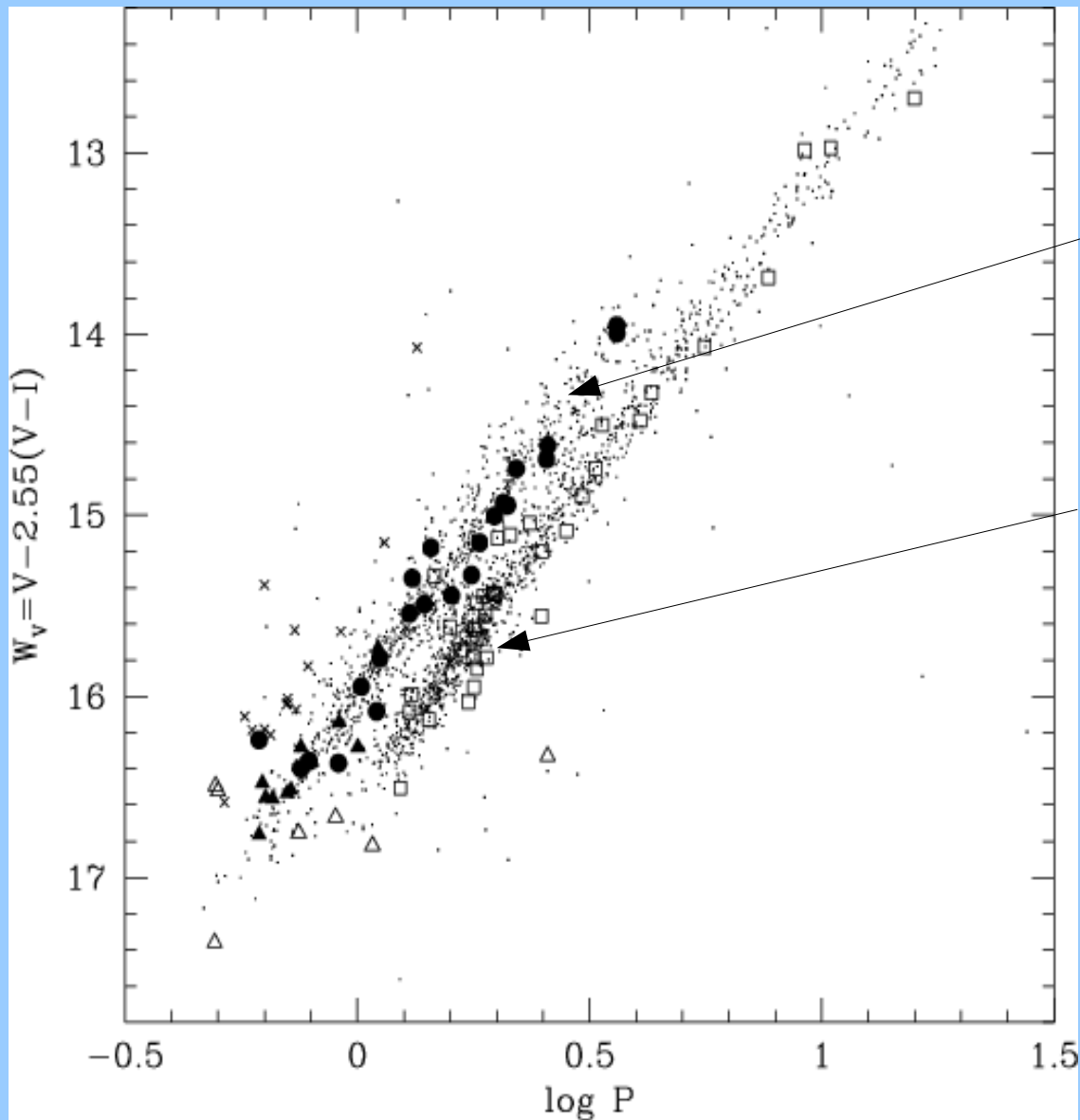
6.3 Sobretonos, pulsaciones radiales y non-radiales

cada sistema (oscilando)
oscila en sobretonos,
estrellas tambien

---> espectro de oscilaciones



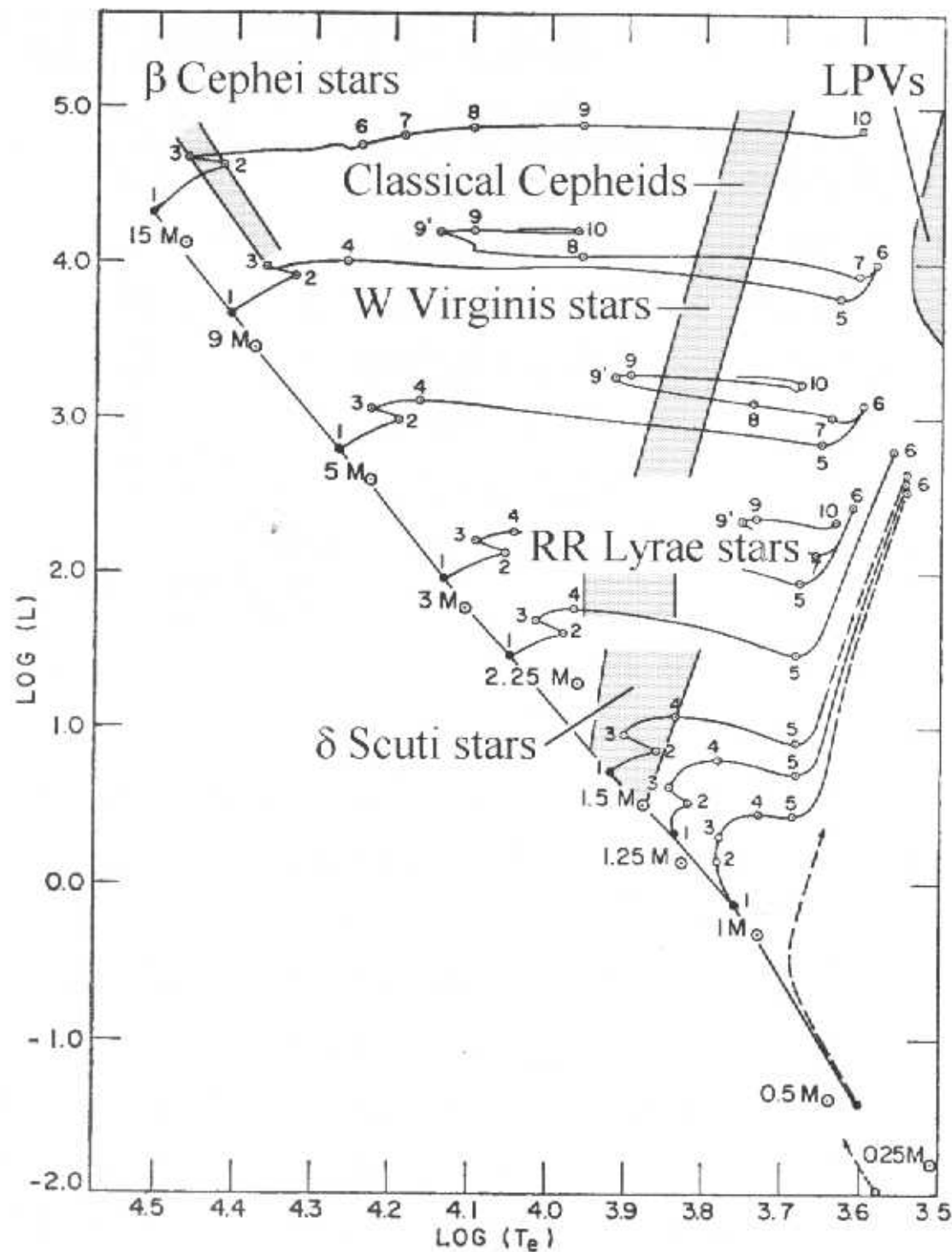
Cefeidas en la nube pequeña de Magellan - oscilaciones en modos diferentes



primer sobretono

oscilacion fundamental

Antonello et al. 2002, A&A, 385,
793



Cefeidas pueden cruzar
la franja de inestabilidad

trayectoria para 5 masas
solares: 3 veces !

---> cambio del periodo

T alta ---> T baja:
periodo se vuelve mas largo

T alta --> T baja
periodo se vuelve mas corto

GY Sagittae: 200 s/año mas
largo

Cefeidas —————> Pulsaciones radiales
RR-Lyrae —————> = ondas propagan radialmente

pulsaciones non-radiales = ondas propagan a lo largo de la superficie

estrellas delta-Scuti
estrellas beta-Cephei
Sol

amplitudes pequeñas, periodos cortos

---> "astrosismologia"

mapas de velocidades en pulsaciones non-radiales

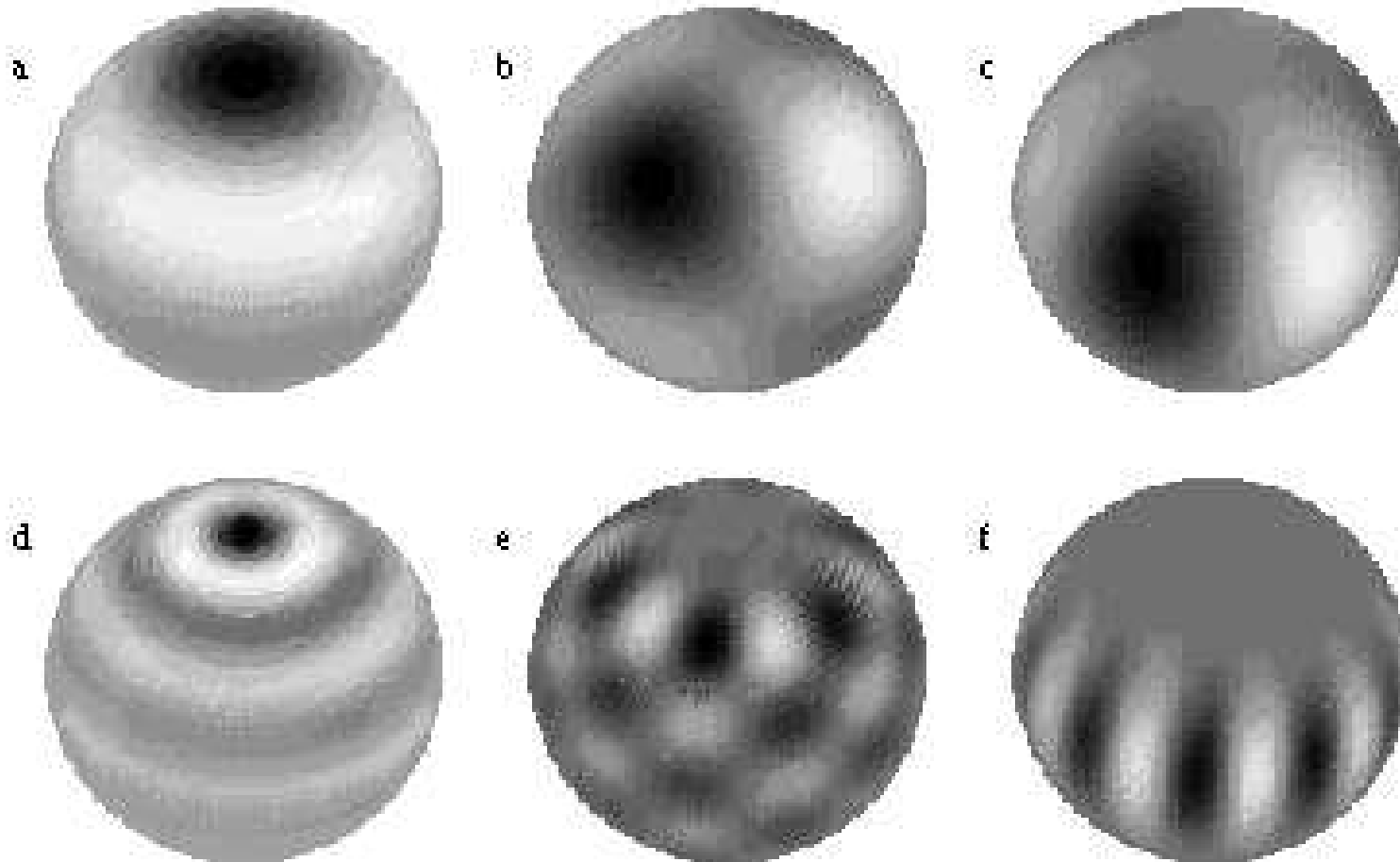
oscuro: region alejando

brillante: region acercando

descripcion de los modos por parametros de harmonicos esfericos

numero de nudos en la direccion latitudinal $l-m$

en la direccion longitudinal $2*|m|$

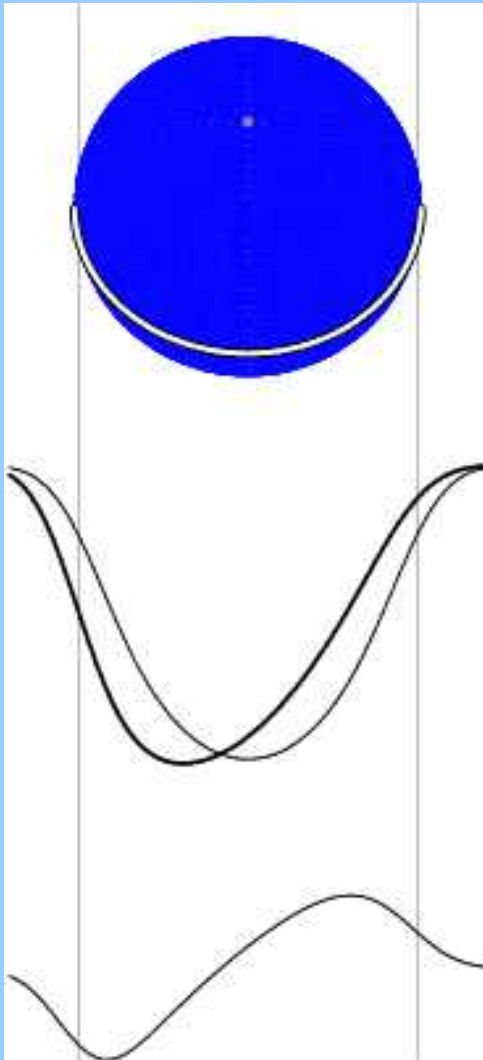


a: $l=3, m=0$

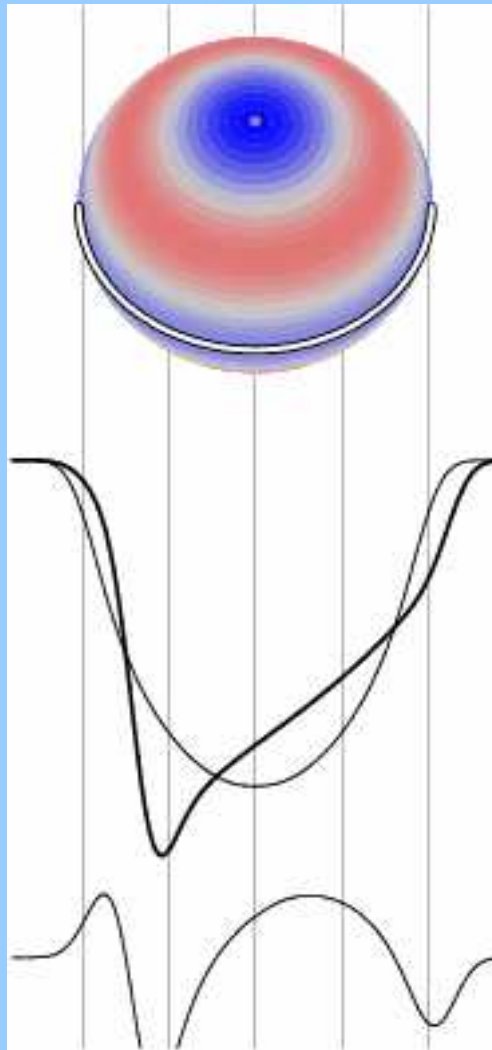
d: $l=10, m=0$

f: $l=10, m=10$

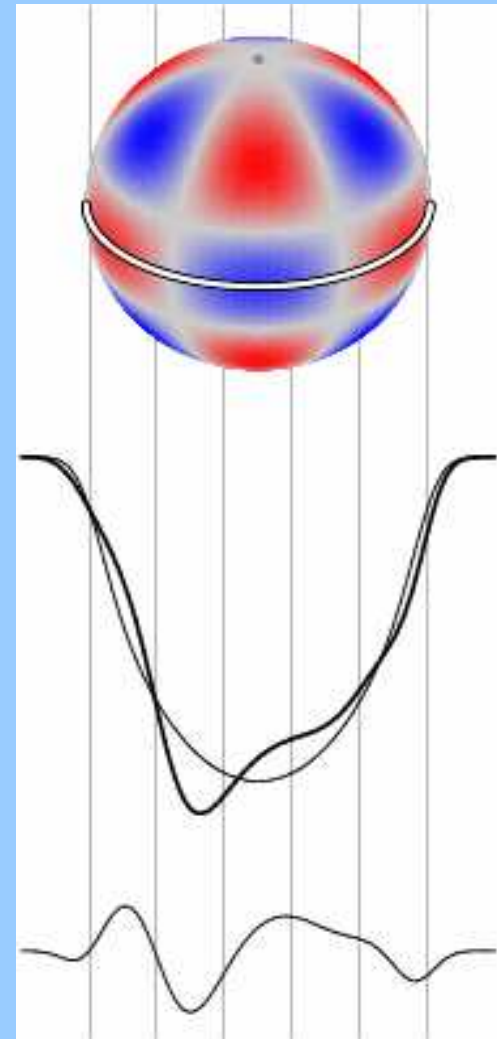
$l=0$
 $m=0$



$l=4$
 $m=0$



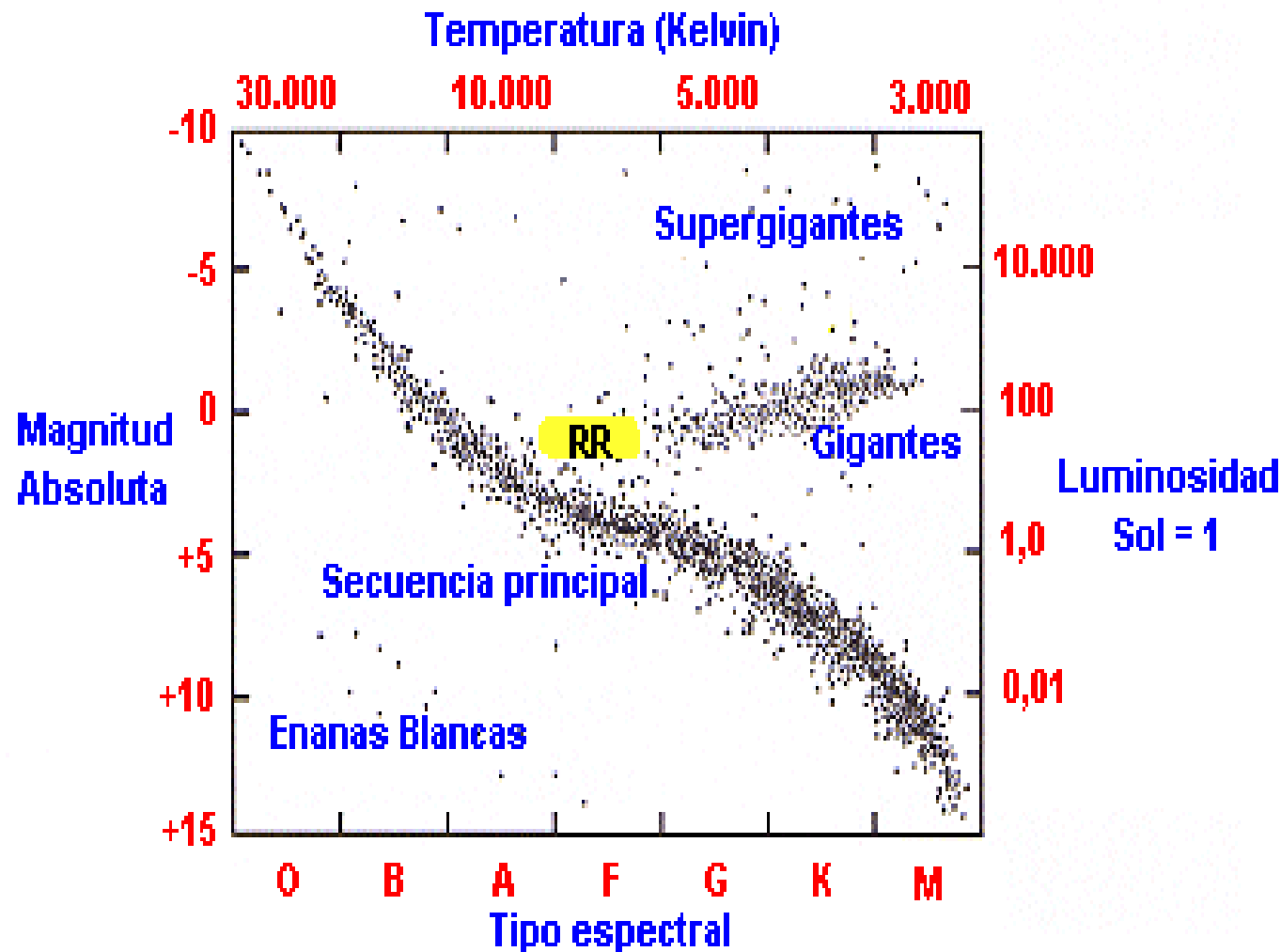
$l=5$
 $m=-3$



Estrellas RR-Lyrae: rama horizontal

miembros de poblaciones viejas

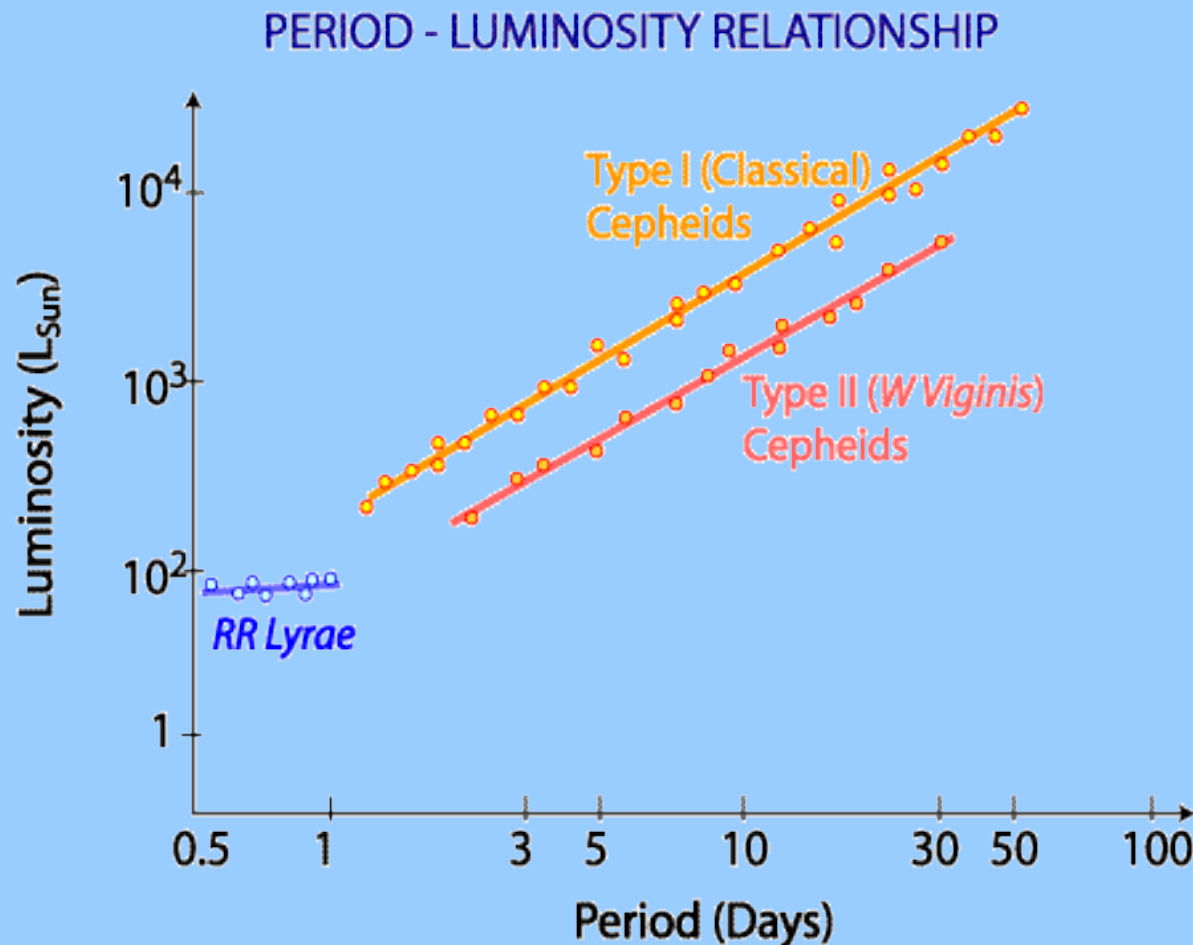
amplitudes 0.5 mag, periodos 0.5 dias



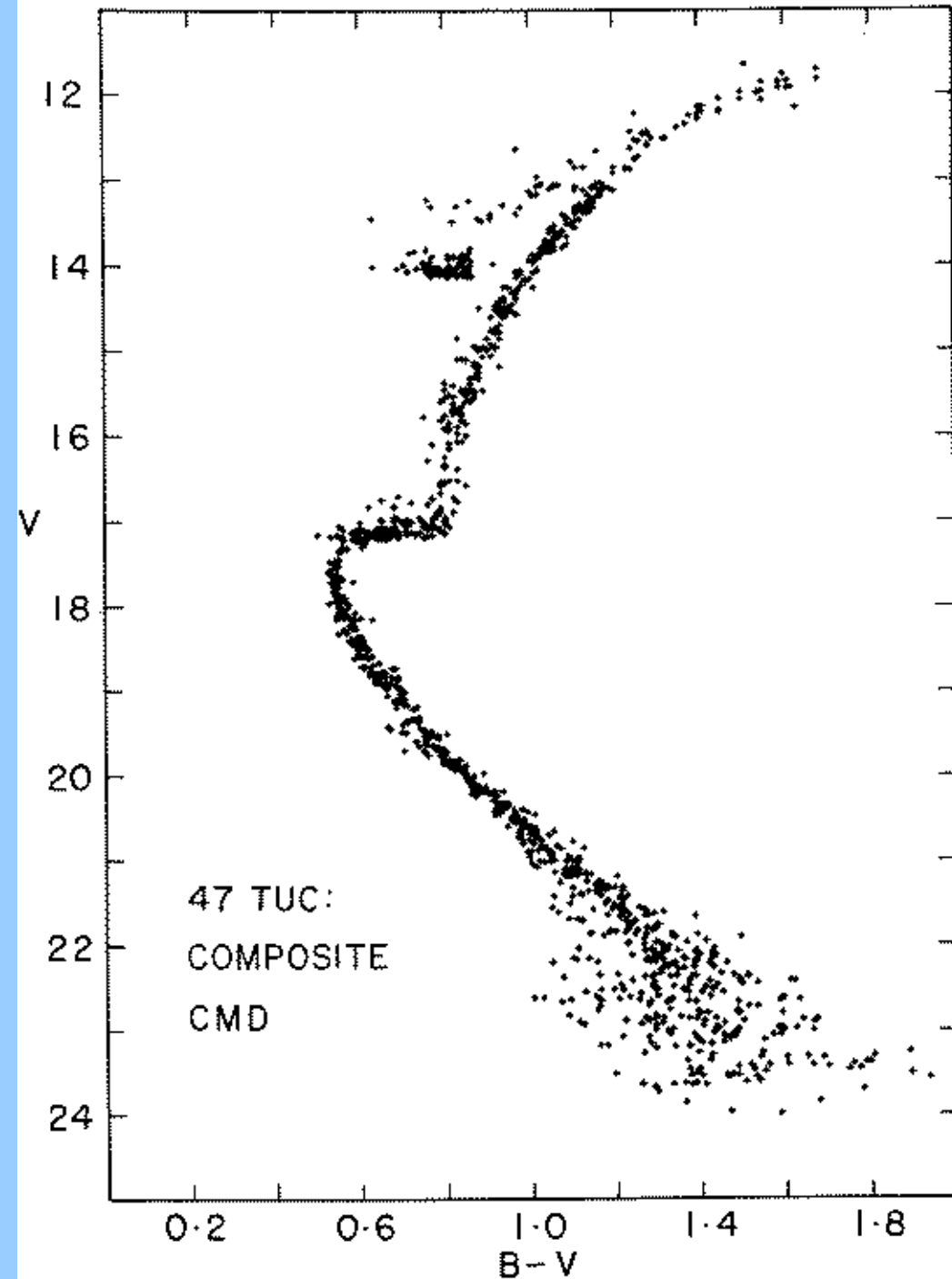
muchas RR Lyraes
en cumulos
globulares

Comparison de las relaciones PL entre Cefeidas, estrellas W Virginis y RR Lyraes

RR-Lyraes: luminosidades casi constantes
mas compactas que Cefeidas ---> periodos
mas cortos



HESSER ET AL.



47 Tucanae

ningunas RR Lyrae's

rama horizontal no alcanza
la franja de inestabilidad

$[Fe/H] \sim -0.6$

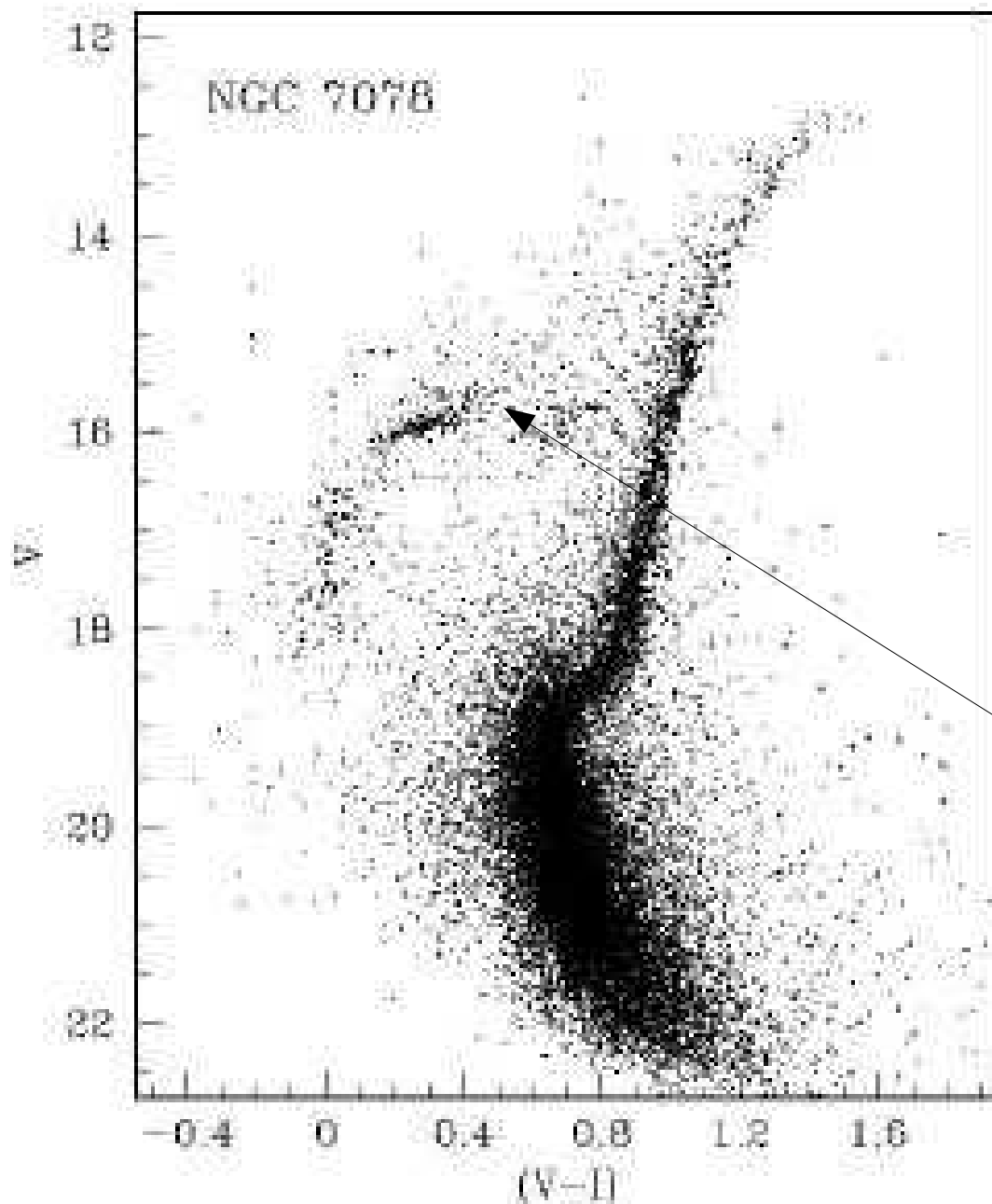
demasiado rico en metales

NGC 7078

$[\text{Fe}/\text{H}] \sim -2.2$

rama horizontal extiende
hasta colores azules
(temperaturas altas)
cubre la franja de
inestabilidad

RR Lyraes



6.4 El metodo de " Baade-Wesselink" para derivar distancias a estrellas pulsandos

principio: determinacion de radios estelares

$R_{\max}$, $R_{\min}$ sean los radios mas pequeñas durante la oscilacion y $t_{\max}$, $t_{\min}$ los tiempos correspondientes en este caso:

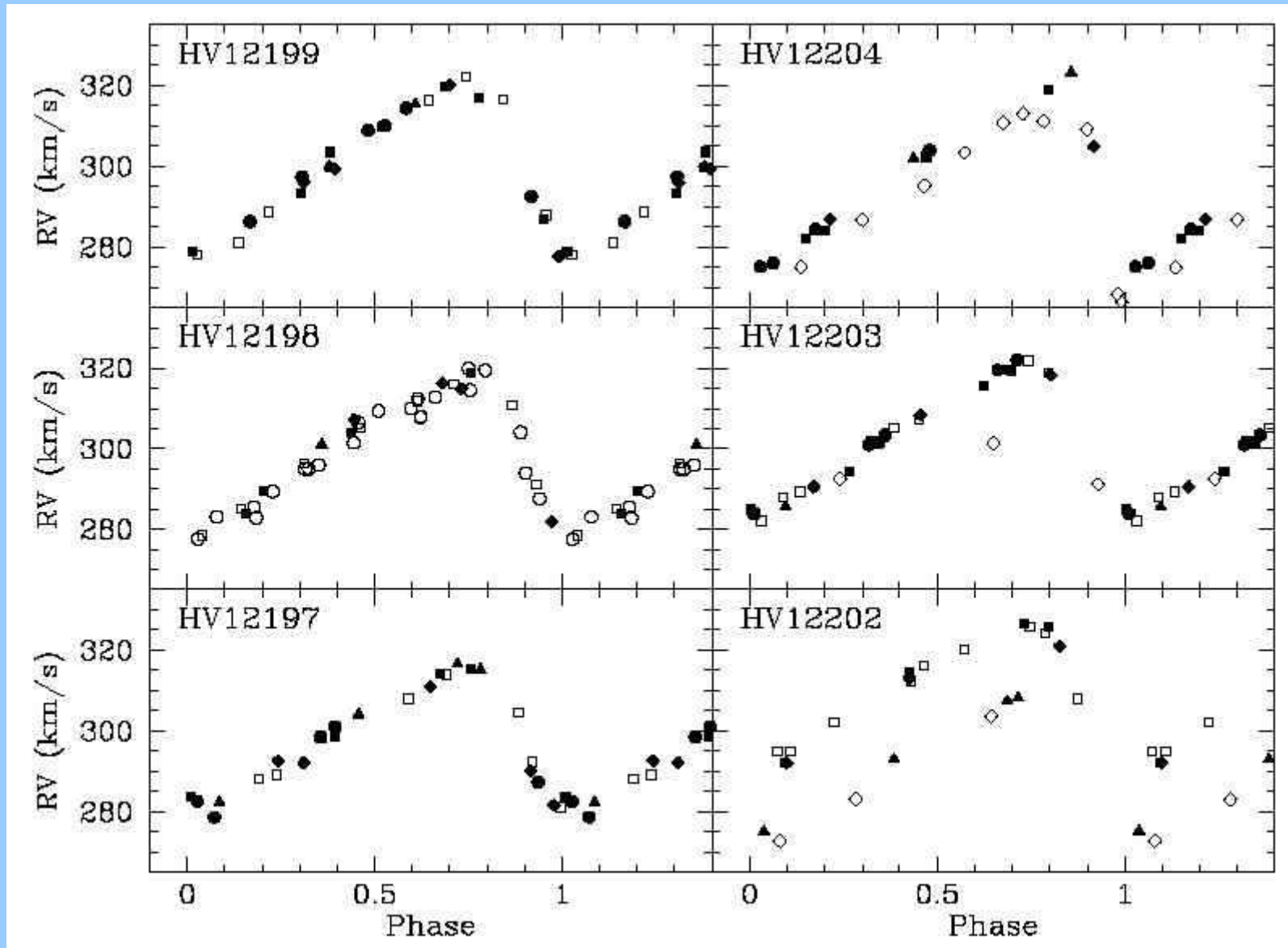
$$R_{\max} - R_{\min} = \int_{t_{\min}}^{t_{\max}} v_r(t) dt \quad \rightarrow \text{medible}$$

por otro lado:

$$\frac{L(t_{\max})}{L(t_{\min})} = \frac{R_{\max}^2 T_{\text{eff max}}^4}{R_{\min}^2 T_{\text{eff min}}^4}$$

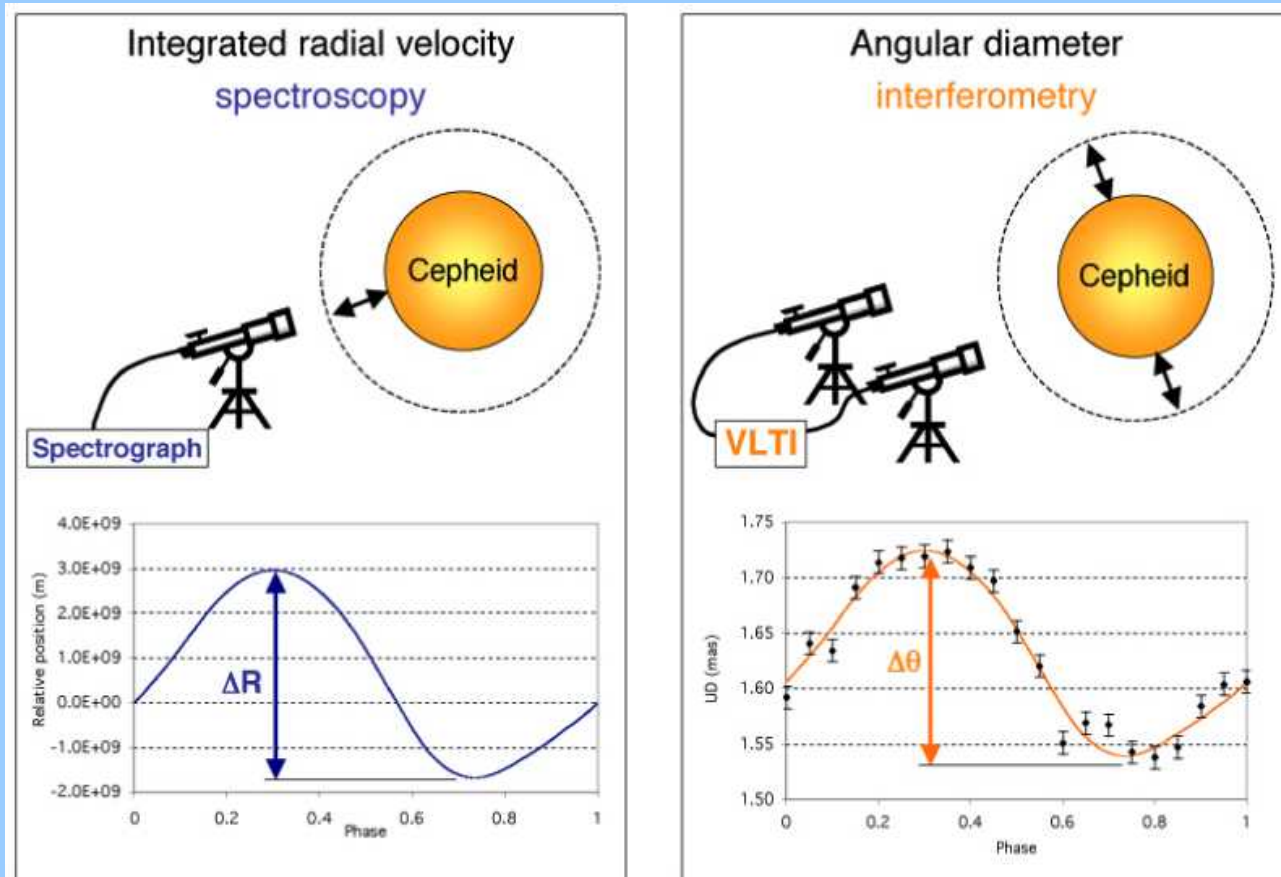
---> dos ecuaciones para $R_{\max}, R_{\min}$

Curvas de velocidades radiales de Cefeidas en la nube grande de Magellan



pero tambien $L(t_{\max}), L(t_{\min})$ por Stefan-Boltzmann

---> magnitud absoluta y distancia por $m-M = 5 \log r - 5$

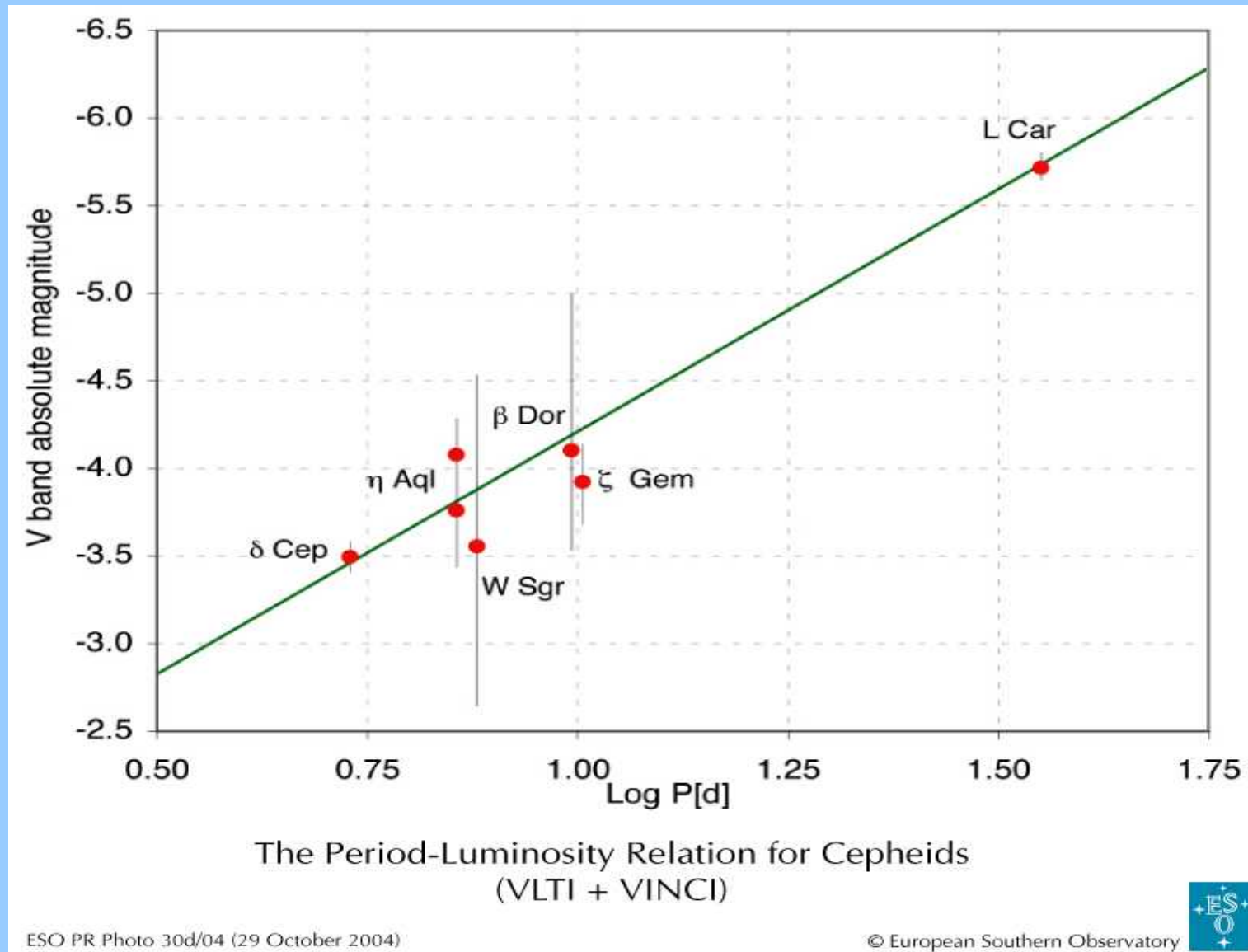


$$d [\text{pc}] = 9.305 \Delta R [R_{\odot}] / \Delta \theta [\text{mas}]$$

The Baade-Wesselink Method

hoy dia:
medida de radio
angular

Calibracion de la relacion P-L muy precisa



La escalera de distancias

