

COMO DETERMINAR LA DISTANCIA A UNA ESTRELLA, Y OTRAS COSAS MAS

Luiz Augusto L. Da Silva,
UNIÃO BRASILEIRA DE ASTRONOMIA, UBA, e
SOCIEDADE ASTRONÔMICA RIOGRANDENSE, SARG,
Rua Veríssimo Rosa 247,
90.000 Porto Alegre, SP, BRASIL

Dionar Cesar Lobão,
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA, Dpto. De Astronomia,
12.200, São José Dos Campos, SP, BRASIL.

I- INTRODUCCION.

El objetivo de este trabajo es el de dar una idea, aunque no sea muy académica, de la importancia del papel que puede desempeñar el aficionado en el estudio de las estrellas variables en general, y de las Cefeidas en particular.

A partir solo de las observaciones visuales sistemáticas del brillo, tal como las realizadas por un aficionado, y con algunos otros datos fáciles de conseguir, se pueden determinar varios parámetros físicos fundamentales de la variable, tales como son: distancia, magnitud absoluta, masa, radio, gravedad superficial, velocidad de escape, temperatura de color, etc.

La estrella adoptada para este ejercicio, es β (Beta) Doradus, una variable tipo Cefeida (C δ), cuyas características generales referentes a posición, espectro, período y amplitud de la curva de luz, pueden ser encontradas en el General Catalogue of Variable Stars, de Kukarkin et al, y en dos trabajos de uno de los autores de la presente nota (L. A. L. da Silva, 1980a y 1980b).

En dichos trabajos se presentaba la curva de luz promedio de la variable determinada usando 50 observaciones obtenidas entre el 17 de Diciembre de 1978 y el 7 de Marzo de 1979 (vea La Figura 1), con la carta de la variable que aparece en la Figura 2.

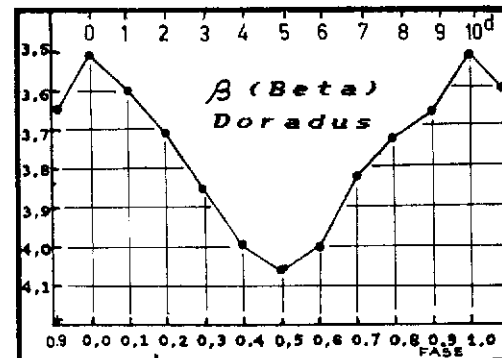


Figura 1. Curva de luz de la variable β Dorado, obtenida por el primer autor entre el 17/12/78 y el 7/03/79. Las observaciones fueron realizadas visualmente o con un binocular de 4x50, usando las estrellas de comparación de la Figura 2, y utilizando el método de Pogson. Cada punto es la media aritmética de las observaciones en esa fase, con un total de 50 estimaciones.

Note que estas medidas dan un período medio de la variable de 9.8 días. La magnitud máxima de la estrella, también es un dato de interés, y de la curva de luz se obtiene $m(\max) = 3.5$. Aún cuando vamos a hacer uso de fórmulas, estas no son nada complicadas, puesto que el nivel matemático que se requiere para comprenderlas es logarítmico.

II- CALCULO DE LA MAGNITUD ABSOLUTA.

La relación **Período vs Luminosidad** (Jaschek y Jaschek) es:

$$M = \alpha \log P + \beta \quad (1)$$

donde α y β son constantes conocidas ($\alpha = -2.25$ y $\beta = -1.5$), y P , el período de la variación viene expresado en días. Usando $P=9.8$ días, se tiene:

$$M = -3.73$$

Esta es la **magnitud absoluta** de la estrella, o sea, su **magnitud si estuviese a la distancia de 10 parsecs.** ¡ β Doradus sería tan brillante como Venus!

El valor encontrado concuerda razonablemente con los atribuidos a las magnitudes absolutas de las Cefeidas del tipo $C\delta$ (entre -6 y -2).

III- CALCULO DE LA MASA ESTELAR.

La masa de una estrella expresada en unidades de masas solares, puede ser determinada a través de la relación dada por Jaschek y Jaschek:

$$\log M/M_{\odot} = -0.151 M + 0.00333 M + 0.65 \quad (2)$$

donde M es la masa, y M es la magnitud absoluta determinada arriba.

Usando (2), se obtiene $\log M/M_{\odot} = +1.26$, y por tanto

$$M = 18.2 \text{ masas solares}$$

Como la masa solar en gramos es de 1.989×10^{33} , se tiene que para β Doradus $M = 36.2 \times 10^{33}$ g.

IV- CALCULO DE LA DISTANCIA.

Se utiliza la fórmula (Vorontsov-Velyaminov, 1979):

$$M - m = 5 + 5 \log p \quad (3)$$

donde p es la **paralaje** expresada en segundos de arco, y m es la **magnitud máxima aparente**, determinada a partir de la curva de luz ($m = 3.5$). El inverso de la paralaje $d = 1/p$, es la **distancia a la estrella en parsecs.** Un parsec es igual a 3.26 años luz. Sustituyendo en la Ecuación (3) se tiene:

$$M = m + 5 + 5 \log (1/d)$$

Despejando d :

$$d = 279.3 \text{ parsecs ó } 910 \text{ Años Luz}$$

V- CALCULO DEL RADIO MEDIO ESTELAR.

Valiéndose de la relación dada por Jaschek y Jaschek:

$$\log R/R_{\odot} = (5900/T) - 0.20 M - 0.02 \quad (4)$$

en la cual T es la **Temperatura de Color**, y a su vez viene dada por:

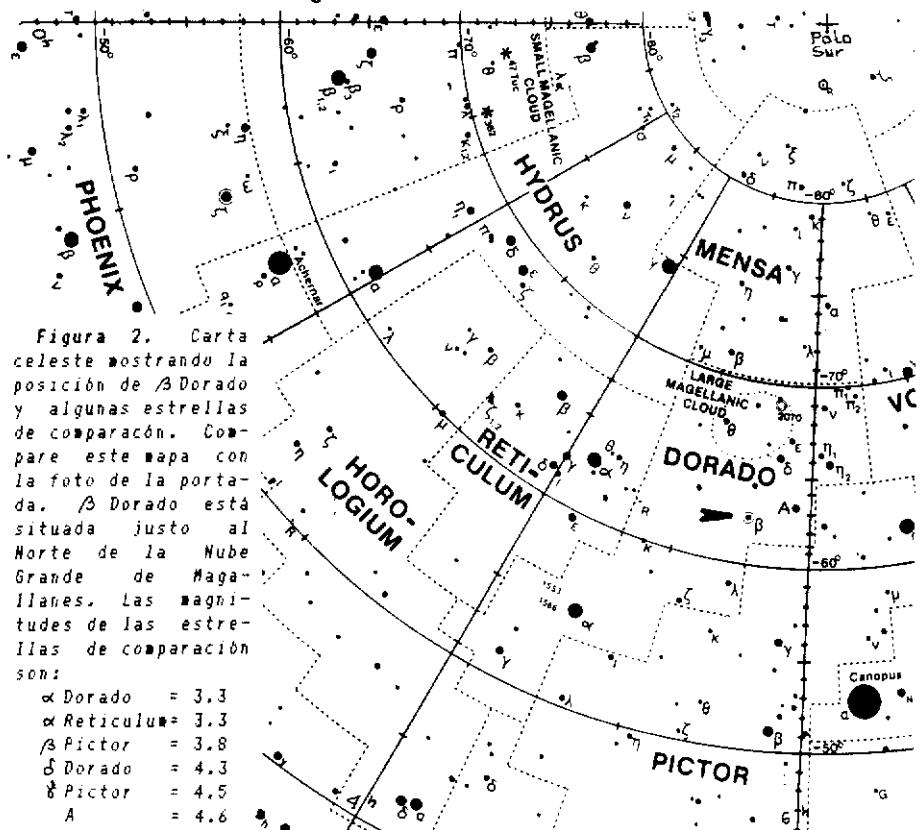
$$T = 7200^{\circ} / (I + 0.64) \quad (5)$$

el I es el **Índice de Color** = $B - V$ (=magnitud en el azul menos magnitud en el visual). Si conocemos I podemos determinar T y así obtener R . Para β Doradus Kukarkin et al. (1968) dan $I = +0.65$. Entonces:

$$T = 7200^{\circ} / (0.65 + 0.64) = 5581^{\circ} \text{ K}$$

Con T conocida, y con la magnitud absoluta M , tenemos:

$$\begin{aligned} \log R/R_{\odot} &= (5900/5581) - 0.20 (-3.73) - 0.02 = 1.77 \\ R/R_{\odot} &= 59.8 \end{aligned}$$



Es típico en estas fórmulas, expresar la variable en unidades solares. Ya pasó antes con la masa. ¡Colocada sobre el Sistema Solar, esta estrella abarcaría hasta casi la órbita de Mercurio!

Como el radio solar vale 6.96×10^8 , el radio medio para β Doradus será de $416,2 \times 10^8$ kms, unos 42 millones de kilómetros.

VI- CALCULO DEL VOLUMEN Y DE LA DENSIDAD MEDIA

Considerando a β Doradus como una esfera, su volumen es:

$$V = 4 \cdot \pi \cdot R^3 / 3 \quad (6)$$

donde R es el radio medio encontrado. Se tiene entonces:

$$V = 4/3 \cdot \pi \cdot 7.2 \times 10^{22} = 30,2 \times 10^{22} \text{ km}^3$$

Como la densidad es

$$\rho = M_b / V \quad (7)$$

Si la masa M viene en gm y el volumen en cm^3 , entonces:

$$\rho = 1.19 \times 10^{-4} \text{ gm/cm}^3$$

o sea 0.000119 gm/cm^3 . Por comparación la atmósfera terrestre tiene una densidad de aproximadamente 0.0014 gm/cm^3 . ¡La densidad media de la estrella es 10 veces menor que la del aire que respiramos!

VII- VELOCIDAD DE ESCAPE Y ACELERACION MEDIA DE LA GRAVEDAD.

Si se usa la masa y radio medio determinados arriba se puede determinar el valor de la aceleración de la gravedad usando (Reinhardt, 1975):

$$a = G \cdot M / R^2 \quad (8)$$

donde G es la Constante de la Gravitación y vale $6.67 \times 10^{-8} \text{ cm}^3/\text{seg}^2 \cdot \text{gm}$. Entonces:

$$a = 138 \text{ cms/seg}^2$$

Por comparación la aceleración de la gravedad sobre la superficie de la Tierra es de 980 cms/seg^2 . ¡Uno podría dar saltos 7 veces más altos sobre la superficie de β Doradus que sobre la Tierra! Pero debido al bajísimo valor de la densidad encontrado arriba, no existe una superficie definida, sino más bien una atmósfera que se hace cada vez más tenue al ascender.

Conocida a , se puede proceder al cálculo de la velocidad media de escape en la "superficie" de la estrella:

$$v_e = \sqrt{2 \cdot R \cdot a} \quad (9)$$

donde R es el radio medio. Sustituyendo valores encontramos:

$$v_e = 33,9 \text{ kms/seg}$$

Por comparación, la velocidad de escape desde la superficie de la Tierra es de 11.18 kms/seg . ¡Sería unas tres veces más difícil escapar de la influencia gravitacional de β Doradus!

VIII- CALCULO DEL DIAMETRO ANGULAR.

El diámetro angular de una estrella puede ser medido a partir de observaciones interferométricas, si la estrella es más o menos brillante. Debido a esto la técnica es aplicable solo a un número limitado de estrellas. Se puede deducir una ecuación que proporcione el diámetro angular que presentaría una estrella, en función del ángulo de paralaje y del radio estelar en unidades de radios solares. La fórmula es (Jaschek y Jaschek):

$$\log d = \log p + \log R - 2.030 \quad (10)$$

En esta fórmula p es la paralaje (en segundos de arco). Debido a la gran distancia a la que se encuentra β Doradus, no es posible medirle la paralaje. Pero sabiendo su distancia en parsecs podemos deducirla usando $d = 1 / p$.

Como $d = 276,7$ parsecs, $p = 0.0036''$. Sustituyendo en (10) y con $R = 59.8$, se deduce que:

$$\log d = -2.697; \quad d = 0.002''$$

Esto da como resultado un diámetro angular 30 veces menor que el medido para α (Alfa) Orionis (Betelgeuse, con $d = 0.06''$), obtenido por Interferometría de Speckle (Alavedra, 1979).

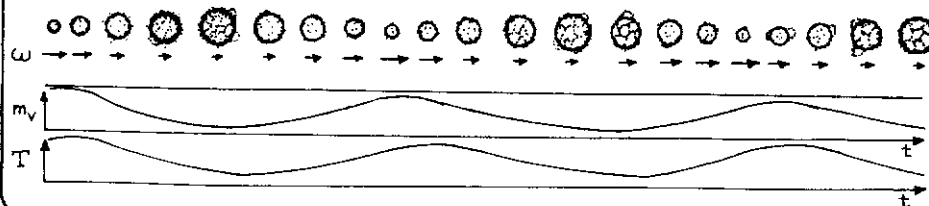
IX- EL MOMENTO ANGULAR Y EL PERIODO DE ROTACION DE LA ESTRELLA.

Como es sabido, el Momento Angular no se crea ni se destruye, solo puede ser transferido. Se sabe que

$$M_a = M \cdot R^2 \cdot \omega \quad (11)$$

donde M_a es el momento angular, y ω la velocidad angular de la estrella.

Figura 3. Una variable Cefeida varía en su luz, debido a las oscilaciones en el radio de la estrella, mostradas muy ampliadas en esta Figura. Las variaciones radiales inducen a su vez variaciones en la velocidad de rotación, en la magnitud visual, y en la temperatura.



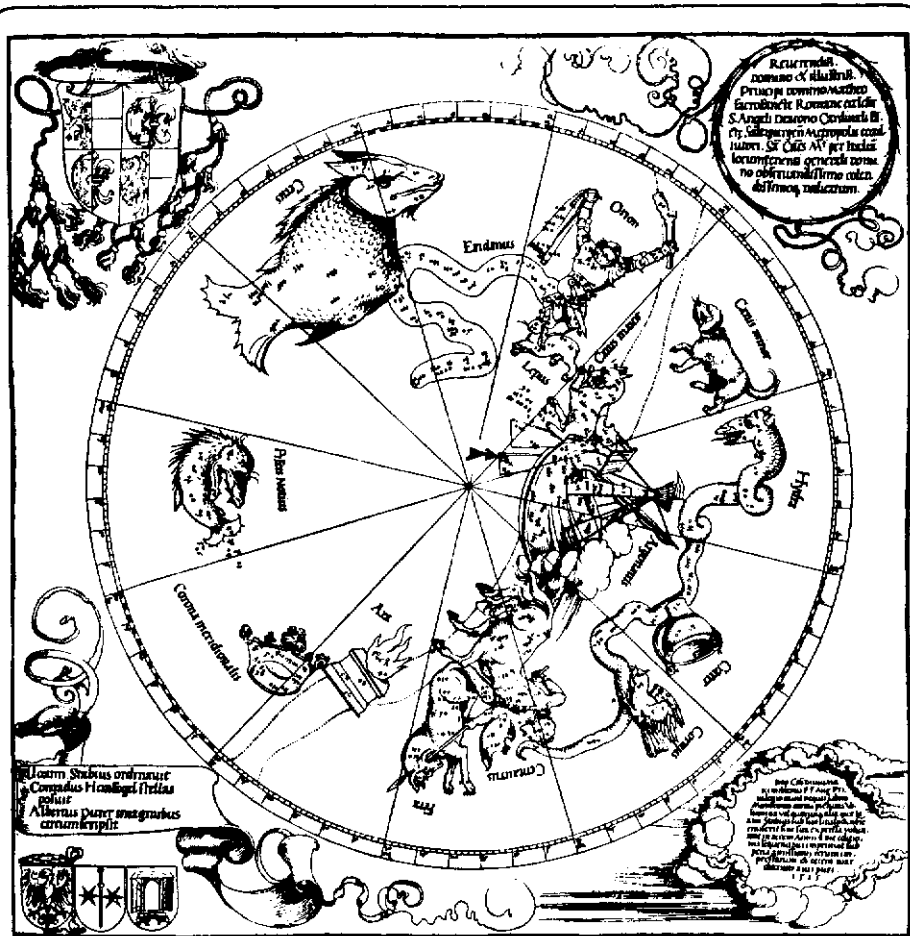


Figura 4. LAS CONSTELACIONES Y LAS ESTRELLAS: Este mapa del Hemisferio Sur por Albrecht Dürer, (Viena, 1515), no muestra a la estrella β (Beta) Doradus. La estrella señalada con una flecha, es Canopus. Un poco más arriba, en la nariz del perro, está Sirio. Este mapa presenta la Ascensión Recta creciente en la dirección de giro de las agujas del reloj, cuando en la realidad es al revés. ¡Está dibujado como si las estrellas estuvieran siendo vistas desde afuera de la Esfera Celeste! Note que grandes áreas del cielo no tiene estrellas, y que en particular debajo de Canopus el área no ha sido mapeada. ¡Hemos avanzado muchísimo, desde 1515!

Cuando ω disminuye, R aumenta o viceversa, para que M permanezca constante. En el caso de las Cefeidas el periodo de rotación varía como consecuencia de la variación del radio estelar, lo cual a su vez se debe al mecanismo de oscilación al cual está sometida la variable. Esta girará más rápido cuando el radio sea mínimo, que cuando sea máximo. Esta variación debe ser muy regular en las Cefeidas, y quizás algo más irregular en las otras variables pulsantes.

X- RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

La Tabla I compara los resultados hallados en este trabajo, con los valores dados en la literatura, gentilmente facilitados por el Prof. Dr. Luis Eduardo da Silva Machado, Director del Observatorio do Valongo, UFRJ, BRASIL. El acuerdo es excelente.

TABLA I: COMPARACION DE VALORES DEL CATALOGO Y ENCONTRADOS.

Parámetro Físico	Valor Del Catálogo	Valor Encontrado
Mag. Absoluta	---	-3.7
Masa	12.7	18.0
Distancia	904 a.l.	902 a.l.
Radio Medio	39.4×10 kms	41.6×10 kms
Volumen Medio	$25,6 \times 10$ kms ³	$30,2 \times 10$ kms ³
Densidad Media	0.000099 gm/cm ³	0.000119 gm/cm ³
Acceleración de la Gravedad	108 cm/seg ²	138 cm/seg ²
Velocidad de Escape	29.2×10 cm/seg	33.9×10 cm/seg
Diámetro Angular	0.002"	0.002"

A efectos de simplificar el cálculo, se consideró al medio interestelar como un vacío perfecto, lo cual no ocurre en la realidad. Pero esta es una corrección pequeña.

Además fueron despreciadas las perturbaciones debidas a la absorción atmosférica. Estos dos factores, deben ser los principales responsables de las discrepancias encontradas.

En conclusión hemos demostrado que las observaciones de estrellas variables realizadas por observadores serios, son de real utilidad científica para calcular los parámetros físicos de las estrellas.

REFERENCIAS.

- Alavedra, R. V., *ASTRON*, No. 42, 3, (1979).
 Da Silva, L. A. L., *R MUSCAE*, 5, p. 62, (1980a).
 Da Silva, L. A. L., *BOLETIM DO CARJ*, p. 34, (1980b).
 Jaschek, C.; Jaschek, M. C., "Astrofísica", Observatorio Astronómico de la Plata, La Plata, ARGENTINA.
 Kukarkin, B. V., et al., "General Catalogue of Variable Stars", Moscú, (1968).
 Reinhart, R.; "Elementos de Astronomía e Mecânica Celeste", Ed. E. Bluscher, São Paulo, BRASIL, (1975).
 Vorontsov-Veliaminov, B. A., "Problemas y Ejercicios Prácticos de Astronomía", Ed. Mir, Moscú, (1979).