

000086

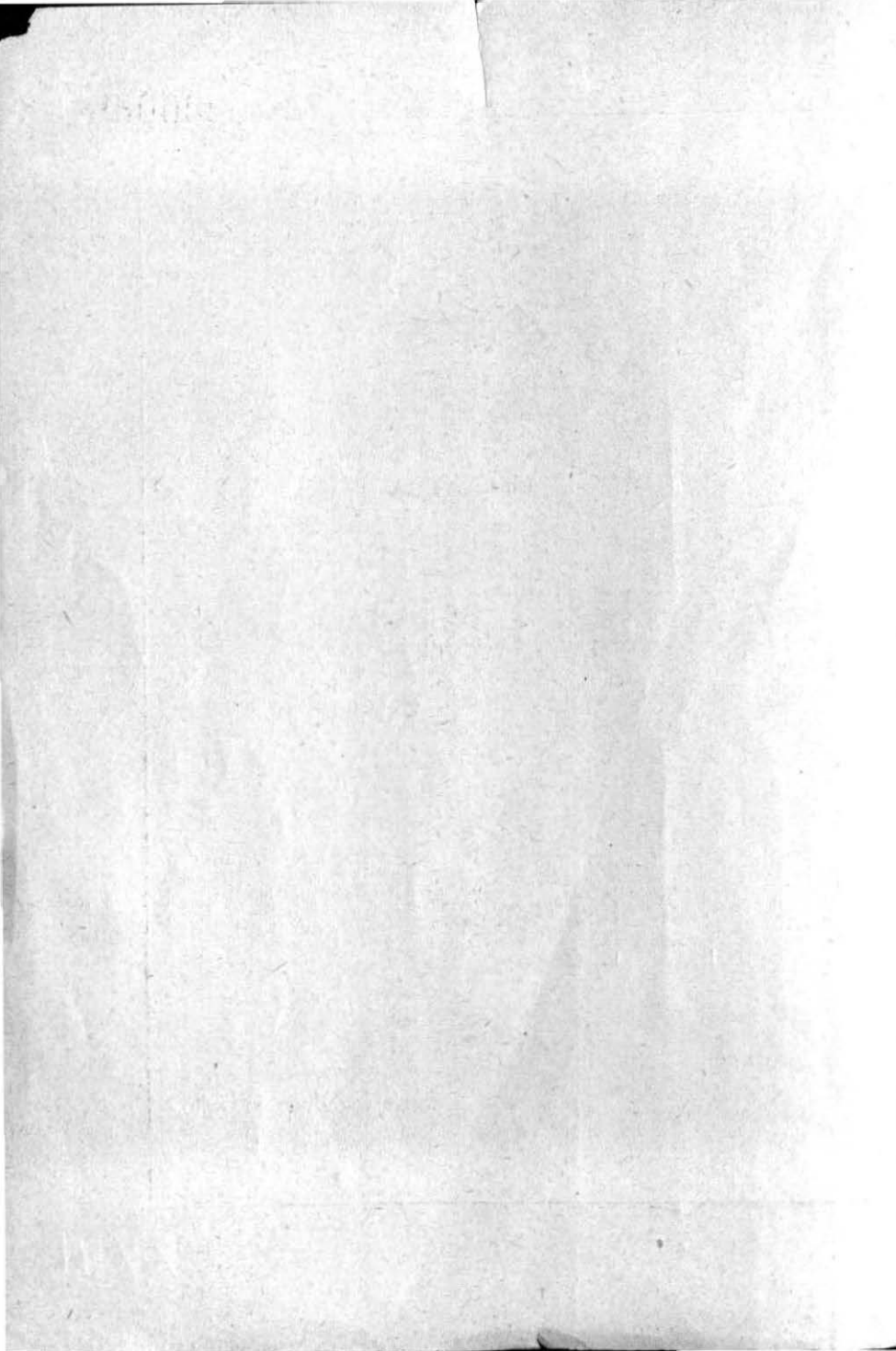
12 DIC 1930



BIBLIOTECA

LAS ESTRELLAS

Por el Ing. Joaquín Gallo.





LAS ESTRELLAS

Con el nombre de estrellas designamos a los astros que radían luz propia y que, a simple vista, nos parecen puntos más o menos luminosos; vistos con instrumentos poderosos no se les percibe disco sensible, a diferencia de los planetas a los que se les observan detalles en la superficie.

TITILACION.—Las estrellas se distinguen a simple vista de los planetas, en que éstos no titilan mientras que las estrellas sí, sobre todo, cuando están cercanas al horizonte.

La causa de este fenómeno es el movimiento de la atmósfera terrestre que produce interferencias en la luz que nos llega de una estrella y que podemos considerar como proveniente de un punto luminoso, dada la enorme distancia entre nosotros y ella; fácilmente podemos cerciorarnos de esto, si se observan, desde una azotea, los focos eléctricos de las calles: los más lejanos, que aparecerán como puntos luminosos para nosotros, los veremos con luz temblorosa; los focos más cercanos, que vemos con un tamaño aparente, no. Lo mismo pasa con los planetas; éstos los vemos con un pequeñísimo disco que podemos considerar como un conjunto de puntos luminosos. La luz de ellos no es afectada simultáneamente por las ondulaciones atmosféricas y, por lo tanto, veremos al planeta con luz fija; la estrella se nos presenta como un verdadero punto luminoso, su luz se altera con los movimientos de la atmósfera y la veremos cambiante en intensidad y coloración.

En el transcurso de algunos días, es perceptible el movimiento de los planetas respecto a las estrellas, mientras que la posición de éstas es invariable entre sí. No alcanza la vida de un hombre para notar el pequeñísimo movimiento de unas estrellas respecto a otras.

CONSTELACIONES.—Desde los tiempos más antiguos, los hombres designaron a las estrellas por la posición que ocupan en las figuras más o menos regulares que forman y, en las que la imaginación humana forjaba representaciones de objetos, seres o personajes mitológicos. Así nacieron los nombres de las constelaciones; los fenicios, 700 años antes de nuestra era, llamaban a la Osa Menor “la cola del perro”. Muchos de los actuales nombres de las constelaciones se deben a los griegos y a los romanos. Por el siglo IV antes de J. C., Eudoxio clasificó las constelaciones y había redactado el catálogo de posiciones de las estrellas más brillantes. Hiparco de Rodas fué quien observó con precisión, por el año de 130 antes de J. C., las posiciones de 1022 estrellas, consignadas en el Almagesto de Ptolomeo, distribuidas entre 48 constelaciones; más tarde, los nombres de las constelaciones sufrieron cambios por la necesidad de recurrir a subdivisiones o bien para perpetuar ciertos hechos.

Algunos de esos nombres han desaparecido por no haber sido aceptados ni haberse puesto en uso. Los 109 que figuraron a fines del siglo XVIII se han ido reduciendo poco a poco y ahora se propone hacer la división de la esfera celeste en 88 constelaciones y fijarles límites según círculos horarios y paralelos, suprimiendo las divisiones irregulares y caprichosas que tienen hoy y que datan desde los tiempos de Bode.

La comisión nombrada por la Unión Astronómica Internacional, ha presentado ya un proyecto de división del cielo en constelaciones, limitadas, como se ha dicho, por paralelos y círculos horarios.

Los nombres de las constelaciones que probablemente subsistirán son:

EN LATIN	EN ESPAÑOL	EN LATIN	EN ESPAÑOL
Andromeda	Adrómeda	Canis Major	Can Mayor
Antlia	Máquina Neumática	Canis Minor	Can Menor
Apus	Ave del Paraíso	Capricornus	Capricornio
Aquarius	Acuario.	Carina	Casco del navío
Aquila	Aguila	Cassiopeia	Casiopea
Ara	Altar	Centaurus	Centauro
Aries	Carnero	Cepheus	Cefeo
Auriga	Cochero	Cetus	Ballena
Bootes	Boyero	Chamaeleon	Camaleón
Caelum	Buril del grabador	Circinus	Círculo
Camelopardalis	Girafa	Columba	Paloma
Cancer	Cangrejo	Coma Berenices	Cabellera de Berenice
Canes Venatici	Perros de Caza	Corona Australis	Corona Austral

EN LATIN	EN ESPAÑOL	EN LATIN	EN ESPAÑOL
Corona Borealis....	Corona Boreal	Octans	Octante
Corvus	Cuervo	Ophiuchus.....	Ofiuco
Crater.....	Copa	Orion.....	Orión
Crux.....	Cruz	Pavo.....	Pavo
Cygnus	Cisne	Pegasus.....	Pegaso
Delphinus	Delfín	Perseus	Perseo
Dorado.....	Dorado	Phoenix.....	Fenix
Draco	Dragón	Pictor.....	Pintor
Equuleus	Caballo	Pisces.....	Peces
Eridanus	Eridano	Piscis Austrinus ..	Pez Austral
Fornax.....	Horno	Puppis	Popa
Gemini.....	Gemelos	Pyxis	Brújula
Grus	Grulla	Reticulum	Retícula
Hercules... ..	Hércules	Sagitta.....	Flecha
Horologium.....	Rejol	Sagittarius.....	Flechador
Hydra.....	Hidra	Scorpius.....	Escorpión
Hydrus.....	Hidra macho	Sculptur.....	Escultor
Indus.....	Indio	Scutum.....	Escudo
Lacerta.....	Lagartija	Serpens.....	Serpiente
Leo.....	León	Sextans.....	Sextante
Leo Minor.....	León Menor	Taurus	Toro
Lepus	Liebre	Telescopium	Telescopio
Libra	Balanza	Triangulum.....	Triángulo
Lupus.....	Lobo	Triangulum Aus-	
Lynx.....	Lince	trale.....	Triángulo Austral
Lyra	Lira	Tucana.....	Tucano
Mensa.....	Escuadra	Ursa Major.....	Osa Mayor
Microscopium.....	Microscopio	Ursa Minor.	Osa Menor
Monoceros.....	Unicornio	Vela.....	Vela del Navío
Musca	Mosca	Virgo.....	Virgen
Norma	Montaña con mesa	Volans.....	Pez Volador
		Vulpecula.....	Zorra

Unas de estas constelaciones desempeñan un papel en la orientación, como la Osa menor, por contener ahora a la "Estrella Polar" (α de la Osa Menor), muy cerca del Polo Boreal celeste; la Osa Mayor, porque dos de sus estrellas principales (α y β) señalan esa estrella Polar, prolongando, imaginariamente, la línea que las une.

ZODIACO.—Otras se usan en la Astrología, como las doce constelaciones zodiacales, situadas en una zona de 10° al Norte y 10° al Sur de la Eclíptica y que, según la superstición, influyen en el porvenir de los hombres nacidos en el mes correspondiente al signo del zodiaco en el que estuviese el Sol. Las constelaciones zodiacales son: Aries, Taurus, Geminis, Cancer, Leo, Virgo, Libra, Scorpius, Sagittarius, Capricornus, Aquarius y Pisces. A cada una de éstas corresponde un punto o signo cuya Longitud celeste es múltiplo de 30° , pero a causa de la prececión de los equinoccios, los signos ya no se encuentran en la constelación del nombre respectivo; así, el signo de Aries se encuentra en la constelación de los Peces; el del Toro en la de Aries, el de los Gemelos en la del Toro y así sucesivamente.

NUMERO DE ESTRELLAS.—El número de estrellas visibles a simple vista, se estima en 7000, distribuídas de la siguiente manera:

21 estrellas de 1ª magnitud				
53	”	”	2ª	”
157	”	”	3ª	”
506	”	”	4ª	”
1740	”	”	5ª	”
5100	”	”	6ª	”

Haremos notar de paso, que las relaciones de los números de estrellas de una magnitud a la anteriores es casi 3, como la había notado Struve. Esta relación parece conservarse hasta para los números de las estrellas de 18ª y 17ª magnitud; según esa relación, el número de estrellas de 18ª magnitud será unos 600 millones. EFEMERIDES.—En los trabajos de astronomía de precisión y de aplicación se emplean las coordenadas ecuatoriales, ascensión recta y declinación de las estrellas, que se publican periódicamente por los Observatorios en forma de Anuarios, Almanques y Eefemérides Astronómicas o en los Catálogos de estrellas, referidos a una época fija. En estos Catálogos, junto con las coordenadas, se dan los valores de sus variaciones, el movimiento propio de cada estrella, la magnitud y, en algunas efemérides, el tipo espectral al que corresponde la estrella.

CATALOGOS FOTOGRAFICOS.—La formación de Catalogos, por observaciones meridianas es siempre dilatada, pero indispensable del todo. Los primeros Catálogos de esta índole fueron los de Argelander, Greenwich, Pulkowa, o París y otros, pero en vista de las dificultades de observación, así como del alto costo de estos trabajos, se recurrió al sistema fotográfico, aplicado con éxito por los hermanos Henry del Observatorio de París, a la formación del Catálogo Astrofotográfico del Cielo. El almirante Mouchez, Director en 1889 de esa Institución, invitó a varios observatorios a emprender trabajos para la formación del Catálogo y Carta Fotográficos del Cielo; 18 Observatorios toman parte, entre

ellos el de Tacubaya al que se le asignó la zona austral comprendida entre los 9° y 17° de declinación Sur.

El Catálogo debe contener las posiciones ecuatoriales de las estrellas hasta la 11^{a} magnitud. La Carta debe constar de una serie de hojas en las que se reproducen las imágenes estelares hasta las 14^{a} magnitud.

MAGNITUDES.—Sabido es que las estrellas en las constelaciones, se han designado por las letras del alfabeto griego y latino y por números, según el brillo; así β de Orion es la estrella más brillante de esa constelación, γ la que le sigue en brillo y así sucesivamente. El número que representa el brillo de una estrella y que llamamos magnitud, es útil, tanto en la identificación, como para formarse idea de la distancia o del estado físico de la estrella. Aunque algunas estrellas hayan variado de magnitud, se conserva la letra con la que se les designó primitivamente, por ejemplo, α de la constelación de la Ballena se estimó por Hevelius como de 1^{a} magnitud, hoy es de brillo inferior a β de la misma constelación.

La variabilidad en el brillo ha hecho estudiar las causas de ello y crear también métodos para estimar la cantidad de luz recibida de una estrella. En los tiempos de Hiparco y Ptolomeo, se clasificaron las estrellas en seis clases, asignando a las más brillantes la magnitud 1^{a} , y la de 6^{a} a las que están en el límite de visibilidad. Más tarde, Argelander dió algunas reglas para estimar el brillo, pero esas reglas no bastan en estos tiempos. Por el año de 1800, Herschel y Arago iniciaron las medidas fotométricas de las magnitudes basadas en principios científicos. Herschel dirigía un antejo a una estrella y otro a la que trataba de comparar; diafragmaba el objetivo del antejo por el que observaba la más brillante, hasta ver la imagen con la misma intensidad que la dada por el otro telescopio; como la relación de las intensidades luminosas está en razón inversa de los cuadrados de los diámetros de las aberturas de los objetivos, pudo estimar la intensidad luminosa de estrellas que diferían una unidad de magnitud y llegó a la conclusión de que, por término medio, una estrella de 1^{a} magnitud emite 100 veces más luz que una de 6^{a} .

ESCALA DE MAGNITUDES—Pogson propuso, basándose en esas determinaciones, que la unidad de magnitud corresponda a una diferencia de intensidad de 2.5. Así, una estrella de 1^{a} es 2.5 veces más brillante que una 2^{a} , ésta 2.5 veces más brillante que una de 3^{a} y así sucesivamente.

Se habrá notado que los números que indican la magnitud no aumentan como la intensidad luminosa, pues mientras mayor es el número, menor es el brillo, pero es tal la fuerza de la costumbre que no se ha pensado en reformar la escala de magnitudes.

Si el brillo de una estrella es b , y b_0 es el de otra que se toma por comparación, la relación es:

$$\frac{b}{b_0} = (2.5)^{m_0 - m} \text{ ó } \log \frac{b}{b_0} = 0.4 (m_0 - m)$$

siendo m y m_0 las respectivas magnitudes.

MATIZ.—Las magnitudes visuales difieren de las estimadas fotográficamente. Una estrella rojiza impresiona una placa menos que una de tinte azul; en las investigaciones de fotometría estelar se emplea una escala de magnitudes fotográficas que depende del color de la estrella, es decir, de la región del espectro más intensa. La diferencia de magnitudes, visual y fotográfica, se llama “índice de color” o *matiz*, según el P. Rodés.

La estimación de magnitudes se expresa en unidades y décimas, llevándose la precisión a centésimas, cuando se trata de investigaciones delicadas.

Prolongando, en uno y otro sentido, la escala de magnitudes, resulta que a las estrellas brillantes les corresponde la magnitud 0 (cero) y a las más brillantes aún, como Sirio, un número negativo. Las estrellas de primera magnitud son:

Estrella	Constelación	Mag.	Estrella	Constelación	Mag.
Aldeberán	α Tauri	1.1	Betelgeux	α Orionis	0.9
Rigel	β Orionis	0.3	Spica	α Virginis	1.2
Capella	α Aurigæ	0.2	Arcturus	α Bootis	0.2
Canopus	α Argus	-0.9	Antares	α Scorpii	1.2
Sirio	α Can Maj	-1.6	Vega	α Lyrae	0.1
Castor	α Geminorum	1.6	Altair	α Aquilæ	0.9
Procyon	σ Can Min	0.5		α Crucis	1.0
Pollux	β Geminorum	1.2		α Centauri	0.1
Achernar	α Eridani	0.6		β Centauri	0.9
Regulus	α Leonis	1.3	Deneb	α Cygni	1.3
			Fomalhaut	α Pis. Aust.	1.3

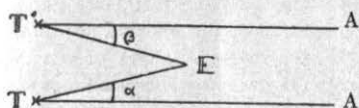
Las magnitudes fotográficas se determinan en función de la raíz cuadrada de los diámetros de las imágenes estelares fotográficas, o bien, por la opacidad de éstas, cuando se exponen las placas un poco fuera del foco principal del objetivo.

Los resultados obtenidos por estos procedimientos son en extremo interesantes y han permitido conocer algunas causas de variabilidad de las estrellas, causas que bosquejaremos en su oportunidad.

PARALAJE.—Las estrellas, como se sabe, se encuentran a distancias muy grandes de nosotros y ha sido un problema, ya resuelto para algunas, la determinación de sus distancias. Para esto hay necesidad de medir, indirectamente, el ángulo con el que se vería el radio de la órbita terrestre, desde la estrella cuya distancia se trata de medir. Ese ángulo se llama ángulo de paralaje estelar.

Varios procedimientos se emplean hoy por los astrónomos, fundados unos en métodos trigonométricos y otros en datos estadísticos.

El método trigonométrico consiste en medir el desalojamiento aparente de la estrella, cuya paralaje se trata de determinar, con respecto a otras estrellas, en diferentes épocas. El desalojamiento aparente es función del tiempo transcurrido entre las observaciones y de la distancia de la estrella. El espacio recorrido por la Tierra en su órbita o en su movimiento junto con el Sol, sirve de base para calcular la paralaje. En teoría, el procedimiento es el siguiente: en dos posiciones de la tierra, T y T', se miden los ángulos α y β que forman la dirección de las



visuales TE, T'E, con la dirección en la que se ve una estrella A mucho más lejana; el ángulo E es la suma de los ángulos α y β ; conociendo la longitud de la base TT', se podrá calcular el ángulo correspondiente al radio de la órbita terrestre visto

desde E. Una serie de ecuaciones permitirá deducir también los movimientos propios. Este ángulo de paralaje, obtenido de esta manera, es relativo pues está referido a otras estrellas. Conocido el ángulo de paralaje se puede determinar la distancia.

UNIDADES DE DISTANCIAS.—Para tener idea más fácilmente de las distancias de las estrellas, se usa como unidad el año luz o sea la distancia recorrida por la luz en un año, a la velocidad de 300,000 kms. por segundo. El año luz equivale 2²,461,280¹,000,000 kms.

En los datos siguientes, A. L. es el número de años que tarda la luz en llegar-nos. Las estrellas más brillantes y cercanas a nosotros son:

	π	A. L.		π	A. L.
α Centauri.....	0.76	4.3	Arcturus.....	0.08	44
Sirio.....	0.38	8.7	Capella.....	0.08	44
Procyon.....	0.31	10.6	Polar.....	0.07	46
Altair.....	0.21	15.	Pollux.....	0.06	50
Fomalhaut.....	0.37	24.			

π designa la paralaje. La pequeñez de estas paralajes revela lo difícil que es conocerlas con precisión.

Los astrónomos usan otra unidad: el *parsec*, abreviación de paralaje segundo, que es la distancia correspondiente a un ángulo de paralaje estelar de un segundo.

Las relaciones entre la paralaje π , el año luz A.L. y el parsec P.S., son:

$$\text{P.S.} = 1/\pi = 0.307 \text{ A.L.}; \text{A.L.} = 3.259 \text{ P.S.} = 3.259/\pi.$$

MAGNITUD ABSOLUTA.—Cuando se conoce la paralaje de una estrella y se ha determinado su magnitud aparente, es fácil calcular la magnitud que tendría si estuviera a la distancia de diez parsecs; esa magnitud es la que se llama absoluta. Comparando entonces las magnitudes absolutas de las diferentes estrellas, se sabrá cuales son más brillantes intrínsecamente que otras y se podrá tener idea de sus dimensiones. Así por ejemplo, nuestro Sol, visto a la distancia de Vega, lo veríamos 47 veces menos brillante que esta estrella, por lo que podemos concluir en general, que el Sol es mucho más pequeño que Vega.

COLOR Y TEMPERATURA.—En la cantidad de luz emitida por una estrella, intervienen los factores temperatura y masa, de una manera decisiva. La coloración de las estrellas está ligada a la temperatura: mientras menor sea ésta, más rojo será el color. Las estrellas más blancas tendrán una temperatura más elevada. Sirio, Procyon, Rigel, son estrellas más calientes que Arcturus, Betelgeux y Antares. Aunque la diferencia de coloración de las estrellas puede notarse a simple vista, la clasificación de los espectros estelares conduce a resultados más precisos.

El P. Angelo Secchi, uno de los fundadores de la espectroscopía astronómica, clasificó en 1867, los espectros estelares en cuatro tipos, según correspondiesen a estrellas blancas, amarillas color de oro, anaranjadas y rojas color de sangre. Cada uno de estos tipos presenta un espectro con rayas características según las que se puede clasificar a la estrella. Así, las estrellas amarillas de oro quedaban caracterizadas por el espectro surcado de finas rayas negras correspondientes al fierro, carbón, calcio, hidrógeno, etc., semejantes a las líneas del espectro solar. En este tipo se clasificó al Sol, Aldebarán, la Polar, etc.

CLASIFICACION ESPECTRAL.—Cuando se construyeron los grandes instrumentos, se vió la necesidad de hacer una clasificación de espectros más completa que la de Secchi, siendo el Observatorio de Harvard en Estados Unidos el que más ha trabajado en este sentido. La Srita. Cannon propuso una nueva clasificación que, ligeramente modificada después por Pickering, subsiste para los siguientes tipos espectrales,

P.—Espectro de las nebulosas planetarias.

O.—Espectro con rayas negras y brillantes. Contiene rayas de helio e hidrógeno (γ del navío, ζ de la Popa, estrellas Wolf Rayet).

B.—Rayas de helio con la misma intensidad que las de hidrógeno (δ y ϵ Orión).

A.—Rayas de hidrógeno muy intensas; las de calcio y solares débiles. (Sirio, Vega).

F.—Rayas de hidrógeno menos intensas que la H y K de Calcio, pero más que las solares. (Canopus, δ del Aguila).

G.—Espectro del tipo solar; rayas intensas H, K y grupo G. (Capella).

- K.—La intensidad del espectro continuo disminuye rápidamente hacia el violado. Las rayas H, K, g, G son intensas. (Arcturus).
- M.—Espectro con bandas de absorción en la región verde-azul y verde desvanecidas hacia el rojo. (Betelgeux, β Andrómeda).
- N.—Espectro de bandas desvanecidas hacia el violado. (19 Peces).
- Q.—Tipo que corresponde a los espectros estelares compuestos o a los anormales. (η del navío).
- S.—Espectro caracterizado por bandas de absorción y de emisión en estrellas variables de largo período.

Es costumbre acompañar un índice a las letras de los tipos para precisar aún más la naturaleza del espectro. B₀ representa exactamente el espectro del tipo B; B₂ tiene algo del A, y B₈ quiere decir que, aun que pertenece al B tiene gran parecido con el tipo A.

Esta clasificación revela una especie de secuencia o evolución, siendo de llamar la atención el hecho de que los movimientos propios aumentan desde el tipo B hasta el M, así como el que no exista mayor combinación en la serie de espectros estelares, puesto que se presume que hay una distribución regular de elementos químicos en los cuerpos celestes; esa falta de combinaciones se debe a que un elemento químico no presenta siempre el mismo espectro cuando varían las condiciones físicas en que se encuentra. Según Fowler, una de las rayas características del helio, la de λ 4686, (*) sólo se presenta brillante, cuando se suministra una gran energía al helio enrarecido. Según esto, las estrellas del tipo B, no tienen la suficiente energía para que se muestre la raya λ 4686, brillante, aunque existan grandes cantidades de helio; en cambio, en otras, como en el Sol, se presenta muy brillante en el espectro de la cromósfera. La energía que necesita el helio para presentar un espectro brillante, puede ser una alta temperatura; el óxido de titanio que presenta un espectro parecido al de las estrellas del tipo M, no necesita una temperatura tan elevada. Se puede juzgar, por lo tanto, de la temperatura de una estrella por la clase de espectro que presenta. Las estrellas más calientes son las de la clase O y las de temperatura más baja son las de la M.

LEY DE WIEN.—Las experiencias hechas en los laboratorios confirman estas creencias; los espectros de un metal sometidos a la chispa eléctrica y al arco voltaico, son diferentes porque las temperaturas son distintas, la de la chispa es más alta que la del arco. El espectro del metal en la chispa presenta más rayas en general, aunque otras desaparezcan. Además, la distribución de las energías de radiación va siendo mayor hacia el violado del espectro a medida que se eleva la temperatura, de la misma manera que la coloración de un hierro caliente, es más blanca a medida que su temperatura es más alta. Wien dió la relación en-

(*) λ es la longitud de onda valuada en diezmillonésimas de milímetro; a esta magnitud se le llama Armstrong, abreviada por A; λ 4686 quiere decir 4686 A o 4686 diezmillonésimas de milímetro.

tre la temperatura de un cuerpo y la longitud de onda para la que la energía es máxima: $T = 29300/\lambda$.

Por este y otros procedimientos se ha llegado a la conclusión de que: las estrellas más calientes son las del tipo O y las más frías las del M, según el cuadro siguiente:

Tipo:	Temperatura:
O	35 000°
B	18 000
A	10 000
F	8 500
G	6 000
K	4 000
M	3 100

Según las teorías modernas, la temperatura desempeña un papel predominante en la descomposición de los átomos de un cuerpo, pues pueden perderse uno o varios electrones del átomo y esto ocasiona el fenómeno llamado «ionización.»

EVOLUCION DE LAS ESTRELLAS.—El Prof. Megh Nad Saha de la Universidad de Calcuta, explicó los fenómenos que se presentan en los espectros de substancias a diversas temperaturas por medio de la ionización, y calculó la relación entre el grado de ionización, la temperatura y la presión. Otros físicos han llegado a medir en los laboratorios, la energía necesaria para alcanzar un grado determinado de ionización y han mostrado que no todos los cuerpos necesitan la misma cantidad de energía para ello, el calcio, por ejemplo, necesita menos que el hidrógeno. Así, pues, si el espectro de una estrella muestra las rayas de algún cuerpo, esto quiere decir que, en esa estrella, las condiciones físicas predominantes hacen que se muestre el espectro de uno o varios cuerpos que en esas condiciones pueden producirlo; si no se presentan rayas de algún metal no significa que en la estrella no exista ese cuerpo. La relación mencionada entre el grado de ionización y la presión, ha conducido a una famosa teoría a propósito de la evolución estelar. Una estrella que principia su evolución, tiene poca densidad, gran volumen y baja temperatura, mientras que una que esté terminándola, puede ser de pequeño volumen, gran densidad y baja temperatura. En el primer caso se supone que la contracción está acompañada de elevación de temperatura, que hace cambiar la coloración de la estrella, desde el rojo color de sangre, hasta el azul; las estrellas en este período son las *gigantes*; pero cuando a la vez que disminuye la temperatura continúa disminuyendo el volumen, aumentando la densidad y perdiendo luz, las estrellas se llaman *enanas*; la coloración en este caso cambia del azul al rojo. Nuestro sol se encuentra en esta rama des-

cedente: su baja temperatura y su densidad, relativamente alta (1.4), lo colocan en la categoría de estrella enana.

Una estrella pasa dos veces por el mismo color y temperatura, una cuando es gigante, estrella de gran volumen y poca densidad, y otra cuando se reduce su volumen y aumenta su densidad; su máxima temperatura depende de la masa de la estrella. Los espectros de las estrellas gigantes y enanas difieren entre sí, aun cuando las estrellas tengan la misma coloración e igual temperatura. Las gigantes, por ejemplo, presentan en su espectro rayas de hidrógeno más intensas que la de las estrellas enanas.

En general: Las estrellas blancas son todas gigantes; todas las del tipo B lo son sin excepción. Casi todas las estrellas del tipo A son también gigantes. La evolución de una estrella se efectúa en un lapso enorme de tiempo que no ha permitido aún al hombre comprobar sus teorías modernas.

LA TEMPERATURA DEL SOL.—La temperatura de nuestro Sol se ha calculado por varios métodos; uno de ellos es el siguiente: conocida la cantidad de calor recibida en la tierra sobre una superficie de un centímetro cuadrado, expuesta normalmente a los rayos del Sol durante un minuto, puede calcularse la *constante solar* o sea la cantidad de calor que se recibiría en una superficie de un centímetro cuadrado, perpendicular a los rayos del Sol, en un minuto, sin que existiera pérdida por la absorción de nuestra atmósfera. La cantidad de calor se valúa en pequeñas calorías; esta unidad es la cantidad de calor necesaria para elevar un grado la temperatura de un gramo de agua, cuando la temperatura inicial sea de 15°. El valor de la constante solar es 1.95 pequeñas calorías por minuto; en la superficie del Sol esta energía valdría $1.95 \times 216^2 = 90979$ calorías pequeñas ya que la distancia del Sol a la Tierra es de 216 radios solares.

LEY DE STEPHAN.—Según la ley de Stephan, la energía total radiada es proporcional a la cuarta potencia de la temperatura, es decir, $E = ct^4$, siendo c una constante que, en este caso, vale 768×10^{-12} ; la temperatura t de las capas

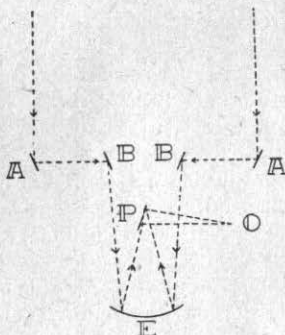
$$\text{exteriores del Sol será: } t = \sqrt[4]{\frac{90979}{76.8}} \times 10^3 = 5868^\circ.$$

Aplicando la fórmula de Wien, de la que ya se habló antes, al caso del Sol, se obtiene: $t = \frac{29300}{4680} \times 10^3 = 6260^\circ$, siendo 4680 la longitud de onda para la que la radiación es máxima. Este resultado concuerda con el obtenido por la ley de Stephan, lo que revela que las capas exteriores del Sol tienen una temperatura de unos 6,000°.

DIÁMETROS ESTELARES.—Las medidas de los diámetros estelares que se han hecho recientemente en el Observatorio de Mount Wilson, California, con

el gran reflector de 2.5 metros de diámetro, han dado a conocer la existencia de estrellas verdaderamente gigantes, cuyas dimensiones no concibe nuestra mente y solo por comparación podemos juzgar de ellas.

El procedimiento seguido se debe al Prof. Michelson de la Universidad de Chicago; consiste en principio en lo siguiente: sobre la boca del tubo reflector se colocan dos espejos planos B B que reciben la luz de una estrella después de reflejarse en los espejos A A, luz que, por medio del espejo parabólico E y de otro plano P, llega al ocular O, formándose una imagen cruzada por bandas de interferencia. La distancia entre los espejos A A puede variarse a voluntad por el observador. Cuando se aumenta la distancia entre los espejos, las bandas de interferencia se hacen menos visibles y en el momento en que desaparecen se mide la distancia D entre los espejos. El diámetro angular de la estrella observada es $d = 1.22 \lambda / D$, siendo λ la longitud de onda media de la luz. La primera estrella medida así, fué α Orionis (Betelgeux) en la noche del 13 de diciembre



de 1920. El resultado dió, teniendo en cuenta la distancia a la que se encuentra de nosotros, que el diámetro angular corresponde a uno real de 300 millones de km. Dentro de esa estrella cabría pues, la órbita terrestre y aún sobraría algo de espacio; Betelgeux mide un diámetro 250 veces mayor que el del Sol.

El resultado de la medida del diámetro de Antares dió 500 veces el del Sol; dentro de esa estrella cabe la órbita de Marte y aún la de algunos asteroides.

Antes de la aplicación de este procedimiento ya se tenían algunos indicios respecto a las dimensiones de las estrellas, siendo de notar la coincidencia entre los resultados obtenidos según las teorías y las medidas directas.

La comparación de los brillos o magnitudes absolutas de las estrellas con el del Sol, puede dar una idea aproximada de las dimensiones de una estrella, suponiendo que la intensidad luminosa dependa solamente de la superficie y cuando se consideran la estrella y el Sol a la distancia de la unidad sideral, 10 parsecs, (poco más de dos millones de veces la distancia del Sol a la Tierra). Por ejemplo, se tiene para Sirio:

$$\frac{\text{Brillo real del Sol}}{\text{Brillo real de Sirio}} = \frac{(\text{Diámetro real del Sol})^2}{(\text{Diámetro real de Sirio})^2}$$

Relación semejante debe haber entre los brillos aparentes y los diámetros aparentes.

$$\frac{\text{Brillo aparente de Sirio}}{\text{Brillo aparente del Sol}} = \frac{(\text{Diámetro aparente de Sirio})^2}{(\text{Diámetro aparente del Sol})^2}$$

de donde:

$$\text{diámetro aparente de Sirio} = \text{diámetro aparente de Sol} \times \sqrt{\frac{\text{Brillo aparente de Sirio}}{\text{Brillo aparente del Sol}}}$$

Ahora bien, la magnitud de Sirio es -1.6 , la del Sol -26.7 , la diferencia $= 25$, multiplicada por 0.4 , como se dijo al tratar de las magnitudes, da 10 , luego:

$$\text{Log. } \frac{\text{Brillo aparente del Sol}}{\text{Brillo aparente de Sirio}} = 10; \frac{\text{Brillo aparente del Sol}}{\text{Brillo aparente de Sirio}} = 10^{10}$$

Entonces se tendrá:

$$\text{diámetro aparente de Sirio} = 32' \sqrt{10^{10}} = 1920'' \times 10^{-5} = 0''.019$$

Russell ha propuesto la fórmula.

$$d = 0''.0087 (0.631)^{m-1}$$

para obtener el diámetro, cuando se conozca la magnitud aparente m ; j es una cantidad que depende del tipo espectral y vale:

+ 3.2	para el tipo B ₀
+ 2.1	A ₀
+ 1.0	F ₀
- 0.0	G ₀
- 1.9	K ₀
- 3.7	A ₀
- 6.3	N ₀

De las medidas y de las aplicaciones de las diversas teorías ha quedado confirmada la existencia de estrellas enanas y gigantes. En el cuadro final constan los diámetros, temperaturas, paralajes y distancias de algunas estrellas notables.

VARIABLES.—Las estrellas no son, por lo general, constantes en intensidad, varía esta, siendo una de las causas la evolución de la estrella, pero hay

otras causas que nos hacen percibir cambios de intensidad en su luz. A estas estrellas se les llama por esta razón, variables.

ESTUDIO.—El estudio de una estrella variable se hace determinando su magnitud periódicamente, o la variación relativa de la magnitud. Varios metodos se usan, pero el más preciso es el fotoeléctrico que consiste en aprovechar el cambio de resistencia eléctrica de algunos cuerpos, según reciban rayos luminosos más o menos intensos. El selenio fué usado por Bell en 1878, posteriormente, Elster y Geiter descubrieron que el sodio, potasio y otros, pueden emplearse también, debido a la gran sensibilidad eléctrica de esos cuerpos. Hoy se emplea una ampolleta conteniendo en su interior helio o argón rarificado. Cuando se expone la ampolleta a la acción de la luz, disminuye la resistencia del medio, siendo menor cuando se aumenta la intensidad de la luz.

Por medio de un milivólmetro se puede conocer la diferencia de potencial entre los conductores y, por tanto, comparar la intensidad luminosa de una estrella con otra o estudiar las variaciones de brillo.

Esa misma ampolleta de potasio puede emplearse para estudiar la transparencia de las imágenes estelares en una placa fotográfica, teniendo así, indirectamente, conocimiento de la variación de brillo de las estrellas.

CLASIFICACION DE VARIABLES.—Los resultados de los diferentes estudios muestran que las variables pueden clasificarse en tres clases: variables de período regular, irregular y sin período. La primera clase, las variables de período regular, se subdivide en dos tipos: 1^o—las variables que, se presume, se deben a eclipses por la interposición periódica de otra estrella o planeta y 2^o—las que varían de brillo rápidamente en unas cuantas horas con precisión y período constante, cambiando de tipo su espectro, desviándose las rayas hacia el violado y luego hacia el rojo, siendo su magnitud absoluta muy grande.

TIPO DE ECLIPSE.—Las de tipo de eclipse (β Algol) presentan en su espectro una oscilación de las rayas espectrales que corresponde al acercamiento y alejamiento de un satélite hacia nosotros; la curva de luz oscila periódicamente, algunas presentan un mínimo secundario entre dos principales (β Lira); estas variaciones han quedado bien explicadas, suponiendo que una estrella eclipsa en parte a otra a intervalos regulares; si dos estrellas iguales se eclipsan mutua y totalmente, entonces la curva de luz es muy regular y presenta máximos y mínimos iguales y periódicos, (W Ursæ Major).

Un sistema formado por dos estrellas, visto desde la Tierra, tiene que presentar dos mínimos de luz, en los momentos de los eclipses; pero si una de los componentes es oscura, entonces sólo se presentará un mínimo. Cuando hay dos mínimos distintos, el principal corresponde al momento del eclipse de la estrella más brillante.

Existen variables de este tipo de eclipse, que han hecho creer que los componentes no sean esféricos, sino elipsoidales debido a su mutua atracción. Otra hipó-

tesis que se ha establecido para explicar algunas irregularidades en el brillo, durante los períodos de mínima, es que la estrella principal es más brillante en el hemisferio dirigido hacia la compañera.

Del estudio de estas variaciones de brillo y del desalojamiento de las líneas del espectro, se han podido deducir los elementos de las órbitas de esas estrellas binarias espectroscópicas que, en realidad, son sistemas dobles.

CEFEIDAS.—Más difícil de explicar es la causa de variación de brillo de las estrellas del tipo 2º, llamadas cefeidas, algunas de las cuales presentan un rápido aumento de intensidad luminosa y en cambio, el decrecimiento se hace más lentamente. No ha faltado quien explique estas variaciones como debidas a eclipses, es decir, como si cada estrella fuese un sistema binario, pero los trabajos de Shapley y los de Eddington, verdaderas autoridades científicas, muestran que se deben más bien a la constitución misma de las estrellas. Moulton los atribuye a cambios en el volumen y, por tanto, de temperatura y brillo, siendo estas variaciones periódicas a manera de pulsaciones. Lo que sí está probado es la relación encontrada por Miss Leavitt, entre el período y la magnitud absoluta, que según las investigaciones de Shapley, son:

Período	Magnitud absoluta
menor de 1 día	— 0.4
„ „ 2 días	— 1.2
„ „ 5 „	— 2.1
„ „ 10 „	— 3.2
„ „ 20 „	— 4.2

Por lo que se puede considerar a todas estas estrellas cefeidas como estrellas gigantes.

Esta relación entre el período y la magnitud absoluta permite conocer la paralaje y por tanto la distancia a estas estrellas. Sin entrar a demostraciones, la relación $5 - 5 \log 1/\pi = M - m$, liga la paralaje π a las magnitudes absoluta y aparente M y m . De esta manera se ha estimado la distancia de la gran nube de Magallanes, probablemente en los límites exteriores de la vía láctea, en unos 112,000 años luz, pues su paralaje es $0''.000029$, cantidad imposible de medir directamente. Existen en esa región, estrellas del tipo Cefeida cuyo período se ha medido exactamente; de eso se ha deducido la magnitud absoluta y, por medio de la relación anterior, la distancia. Hay que advertir que estos métodos están fundados en estadísticas y que las distancias obtenidas de esta manera no pueden considerarse rigurosamente exactas, pero que contribuyen a dar idea de la lejanía a la que pueden encontrarse.

Las estrellas del tipo que nos ocupa se encuentran, por lo general, en los enjambres estelares; en los del Centauro, Hércules, Messier 3 y 5 se han observado

algunas con períodos de 0.4 a 0.8 de día, pero las de período mayor de un día, se encuentran cerca de la Vía Láctea.

VARIABLES IRREGULARES: La tercera clase de estrellas variables son las de período irregular; casi todas las estrellas rojizas variables se clasifican en esta clase. Su característica es la irregularidad y que la amplitud de la oscilación de magnitud sea de dos unidades, cuando menos, en un período mayor de 90 días. Los espectros pertenecen al tipo M y en menor número a los N y K, presentan rayas brillantes que varían de intensidad, según la época de fase del período, aumentando cuando la estrella está cerca del máximo; la velocidad radial de ellas es al rededor de 31 km. por segundo, acercándose al Sol.

La estrella más notable de esta clase es α Ceti (Mira o la Maravillosa) descubierta desde 1596 por Fabricius. El período medio es de 332 días con oscilación de 320 a 370 días, con variaciones de brillo entre 2.0 y 9.5 de mag., así es que llega a ser visible a simple vista. Esta estrella es doble, la compañera de 10^o mag. dista menos de 1" de ella. Su distancia es de 75 años luz y se aleja a la velocidad de 68 kms. por segundo.

Otras estrellas de esta clase son interesantes por sus variaciones de brillo; la R. V. del Toro tiene un mínimo secundario entre dos principales y a veces falta el secundario. La oscilación llega a veces a 5 unidades en la R. del Escudo. La R. de la Corona Boreal es de sexta magnitud, disminuye a la novena para aumentar a la sexta, con oscilaciones irregulares. Otra notable es la η del Navío; en 1677 era de 4^a, en 1687 de segunda, en 1827 de primera, en 1838 rivalizó con α del Centauro, disminuyendo un poco para aumentar después, hasta que en 1843 llegó a ser tan brillante como Sirio.

Estas estrellas están distribuidas sin uniformidad en el Cielo, la velocidad radial es constante, alrededor de 30 kms. por segundo, y no pueden explicarse sus variaciones como debidas a parés espectroscópicos.

Varias hipótesis se han formado para explicar los fenómenos observados, pero una de las que parecen mejor fundadas es la que asemeja estas estrellas al Sol; bien puede suceder que por la formación de manchas, a intervalos que tiendan a ser periódicos, disminuye el brillo y aumente cuando la superficie esté limpia de manchas. El espectro M que presentan, ofrece alguna analogía con el solar; no es difícil que el período avanzado en su evolución, tienda al enfriamiento y a la producción de grandes manchas. Estas estrellas no son gigantes sino, por lo contrario, su densidad es grande relativamente, lo que hace considerarlas en la rama descendente o en la categoría de estrellas enanas.

ESTRELLAS NUEVAS.—Falta decir unas cuantas palabras acerca de las estrellas *nuevas* o temporarias que son las que se manifiestan repentinamente por aumento de luz y disminuyen de brillo lentamente. La más notable de todas y de la que se tienen datos más precisos es la llamada de Tycho, aparecida el 11 de noviembre de 1572 en la constelación de Cassiopeia y que fué más brillante que

Júpiter y Sirio, rivalizando con Venus; su brillo máximo fué -3 y actualmente en el lugar que ocupó existe una de magnitud 12.

Anterior a esta aparecieron, según los historiadores, estrellas más o menos brillantes, pero hay tal vaguedad en los datos que muchas apariciones pueden juzgarse como sospechosas, por ejemplo, la nueva del año de 1578, mencionada por Biot en su traducción del Catálogo chino de Matua-len, en donde se consigna que esa estrella era tan grande como el Sol.

Las estrellas nuevas más notables han sido:

Año	Constelación	Brillo máx.	Brillo mín.	Año	Constelación	Brillo máx.	Brillo mín.
1604	Ofiuco	- 2	9.	1912	Gemelos	3.7	12.
1670	Zorra	3.	10.	1918	Aguila	- 0.5	10.
1866	Corona	2.1	10.	1920	Cisne	1.8	13.
1876	Cisne	3.0	15.	1925	Pintor	1.2	12.7
1901	Persei	0.1	15.				

La aparición de estrellas nuevas no es un fenómeno raro, pues cada año se descubre alguna más o menos intensa, raras son las muy brillantes. Todas estas estrellas aumentan rápidamente de brillo en unas cuantas horas. La Nova Aquilæ se vió entre el 7 y 8 de Junio de 1918 casi de 1ª magnitud y su máximo fué el 9, el 10 del mismo mes ya era menos brillante; a los veinte días era de 4ª magnitud, a principios de 1920 de 8ª y actualmente de 10ª, la misma magnitud que tenía antes.

Tanto ésta como las otras temporarias, muestran variaciones en su espectro. Antes del máximo se observan las rayas H y K desviadas, anchas y difusas; las de absorción del Hidrógeno desviadas hacia el violeta así como las brillantes de emisión de muchos metales, siendo característica la desviación de las rayas del espectro de emisión hacia el violado, correspondiendo a una velocidad radial considerable, que hace pensar si se deben al efecto Doppler. La velocidad radial de la Nova Persei era de 1500 km. por segundo, en la Nueva del Aguila de 2000. Después del máximo, el espectro se transforma en uno continuo tan intenso que apenas se perciben las rayas de emisión de algunos metales y se ensanchan las de absorción, a la vez que aparecen las rayas típicas de las estrellas nuevas (λ 4640) y aún las del espectro de las nebulosas, cambiando por completo el tipo del espectro.

La explicación de las causas del aumento de brillo y fenómenos espectrales, no satisface por completo; Zöllner y Lohse suponen enfriamiento en la estrella y después, sea por rupturas de la corteza o por reacciones químicas, elevación de

temperatura que da lugar a emisión de gases. Otros astrónomos como Seeliger, suponen que una estrella, al penetrar al interior de una masa gaseosa o de polvo cósmico, eleva también su temperatura por la resistencia del medio, produciendo fuertes erupciones de los gases que, en su expulsión, se alejan de la estrella, permaneciendo después como nebulosidades alrededor como se ha observado en la Persei de 1901 y en la Pictoris de 1925. Arrhenius las atribuye al choque de dos masas, aunque el cálculo de probabilidades muestra que no sería posible explicar todas las estrellas temporarias solamente por esa razón. Sin duda, que estas y otras causas pueden influir, ya sean los choques, el paso por materia resistente y los fenómenos internos, en la manifestación de estas estrellas que no se deben considerar como variables, propiamente dicho.

DESAPARICION DE ESTRELLAS.—En cuanto a las estrellas que disminuyen de brillo y aún se pierden por completo, sin período alguno, pueden ser explicadas por la interposición de la materia oscura entre ellas y la Tierra. En la constelación de Orión, en donde abundan esta clase de nebulosas oscuras, es fácil suponer que una estrella quede parcial o totalmente eclipsada por esa materia y que después vuelva a recuperar el brillo primitivo, al terminar el eclipse por la materia.

* * *

ESTRELLAS DOBLES.—La naturaleza nos presenta ejemplos de sistemas estelares, compuestos de dos o más estrellas girando alrededor de un centro de gravedad y estos sistemas han sido fecundos en enseñanzas, pues el hombre ha podido estudiar en ellos las leyes que rigen los movimientos de las componentes, generalizar las leyes de Kepler y aún llegar a conocer cuerpos que son ignorados sobre la Tierra.

Un sistema estelar es el compuesto por estrellas ligadas entre sí por la ley de gravitación. Dos estrellas que vemos a través del telescopio muy próximas una de la otra, pueden verse así por perspectiva, estando una más cerca de nosotros que la otra; en este caso puede variar su distancia con el tiempo; mientras que si una de ellas efectúa una revolución alrededor de la otra, haciéndolo de acuerdo con las leyes de Kepler, es indudable que entonces forman un sistema; el par no será óptico sino real y le llamaremos un sistema binario o una estrella doble.

Los sistemas estelares han sido descubiertos, en su mayoría, por observaciones visuales, siendo William Herschel quien inició el estudio de las estrellas dobles en 1776, al tratar de medir el desalojamiento aparente de las estrellas a causa del movimiento de la Tierra alrededor del Sol; a Federico Struve y a su hijo Otto se les debe el haber iniciado sistemáticamente las medidas de un gran número de estrellas dobles. Tras de ellos viene la pléyade de astrónomos, como Mädler, Dembowixi, Duner, Hall, Burnham, Aitken, Hussey, Fox, Lee y otros

que han descubierto una gran cantidad de estrellas dobles, las han estudiado y aún determinado los elementos de las órbitas de muchas de ellas.

Las medidas de las estrellas dobles visuales, se hacen con micrómetro, midiendo la distancia angular entre las componentes y determinando el ángulo de posición que forma la línea que une las dos estrellas del sistema, con el círculo horario que pasa por la estrella principal. La fotografía ha venido a substituir con ventaja estas observaciones visuales, pero el estudio espectroscópico de las estrellas ha mostrado que existe el sistema de dobles, cuyas componentes no se ven sino como una sola estrella, y que el desdoblamiento de las rayas del espectro y su oscilación en uno y otro sentido se debe únicamente al movimiento de una estrella alrededor de la otra; a estos sistemas se les llama espectroscópicos.

Representando gráficamente las diversas posiciones de las componentes, se ve que las órbitas son siempre elipses, proyecciones de la verdadera órbita sobre planos normales a los rayos visuales y que en esas elipses se conserva la ley de las áreas, lo que demuestra que en la órbita real subsiste la ley de Newton.

ORBITAS.—Los elementos de las órbitas se determinan por medio del cálculo y aún gráficamente; son los mismos elementos que los de una órbita planetaria: semieje mayor de la elipse expresado en segundos, excentricidad, orientación del eje mayor, inclinación del plano que contiene la órbita con respecto al plano normal al rayo visual, posición del nodo ascendente, duración de la revolución de una estrella alrededor de la otra y fecha en la que es menor la distancia entre ellas, que corresponde al paso de la estrella por el periastró. Por lo general, las estrellas de un par giran al rededor del centro común de gravedad y cuando se determina el período de la revolución correspondiente a cada una, se puede llegar a tener idea de la relación de las masas de las componentes. Además, para calcular estas masas con cierta precisión, se necesita conocer la paralaje o distancia del sistema a nosotros.

MASAS.—En efecto, la 3ª ley de Kepler nos dice: $\frac{a^3}{a'^3} = \frac{t^2 (M_1 + M_2)}{t'^2 (m_1 + m_2)}$; si tomamos por comparación a las masas del Sol y la Tierra, m_1 y m_2 , y a' como unidad o sea la distancia del Sol a la Tierra, y t' la duración de la revolución sideral de nuestro planeta, la relación anterior se reduce a: $M_1 + M_2 = a^3/t^2$, en la que a es la distancia de las componentes en unidades astronómicas y t el período de revolución; la relación entre a y la paralaje π , es $a = \frac{a}{\pi}$, siendo a el semieje mayor de la órbita expresado en segundos de grado, y por tanto: $M_1 + M_2 = a^3/\pi^3 t^2$.

Esta relación y la que provenga de los movimientos de las componentes al rededor del centro de gravedad, permitirán conocer las masas M_1 y M_2 . Las conclusiones obtenidas, aplicando estos procedimientos a las estrellas dobles espectroscópicas de paralaje conocida, han mostrado que las masas estelares son comparables a la del Sol y que, por lo general, la estrella más brillante es la de

mayor masa; no se ha encontrado una estrella de masa menor de 1/10 de la Solar.

COMPAÑERA DE SIRIO.—Bessel en 1844 anunció que Sirio debería tener una estrella satélite a juzgar por las variaciones de posición que se podían explicar por la acción de otro astro; no pudo ver confirmado su descubrimiento por haber acaecido su muerte antes de que Alvan Clark, constructor de instrumentos astronómicos, viese en 1862 a la compañera, una estrella de 9ª magnitud, sumergida entre las radiaciones de la luz de Sirio. Los estudios espectroscópicos demostraron que la compañera era una estrella blanca, a temperatura elevada y con una masa capaz de ejercer influencia decisiva sobre Sirio. Eddington, uno de los físicos ingleses que más han contribuido al desarrollo de las teorías de relatividad, de la de los átomos y de las estrellas, explicó la relación entre la masa de una estrella y el brillo, y señaló la posibilidad de que algunos de estos astros estuviesen formados de materia de altísima densidad; este es el caso de la compañera de Sirio: débil estrella que emite 1/360 de la luz del Sol, su masa es 4/5 de la solar, determinada como se ha dicho antes y el radio 19 veces menor que el del Sol, es decir, que es comparable en dimensiones al planeta Urano; resulta, que su densidad es 60,000 la del agua, que no corresponde a la de los cuerpos conocidos en la Tierra. La determinación del radio de la compañera de Sirio se hizo por Adams, Director del Observatorio de Mount Wilson, midiendo el desalojamiento de las rayas espectrales hacia el rojo, porque debido a la influencia del campo de gravitación, de acuerdo con la célebre teoría de la relatividad de Einstein, el desalojamiento es proporcional a la masa dividida por el radio de la estrella.

En cuanto al sistema de Algol, recuérdese lo que se dijo de una de las causas de variabilidad por eclipse, pero las investigaciones sucesivas y cuidadosas han demostrado que el sistema es en realidad triple. La estrella más brillante A y la más débil B giran alrededor una de tercera C, con período de dos años.

α del Centauro es una estrella doble con período de 78.8 años; las dos giran alrededor de su centro de gravedad; la máxima separación de las componentes es de 22" y la menor de 2"; cerca de este sistema se encuentra la Próxima Centauri que dista de nosotros lo que dista α .

Castor de la constelación de los Gemelos, es doble visual; las componentes son de la magnitud 2 y 3 separados unos 5" y el período de 350 años; cada una de estas estrellas es a su vez doble espectroscópica. La componente de α_1 gira en 3 días alrededor de la primera; el período de la componente de α_2 es de 9 días. Este es un ejemplo de sistemas múltiples. Otro, el Krüger 60, a las 22^h 24^m de ascensión recta y + 57° 12' de declinación, es interesante porque sus componentes, de 9ª y 11ª magnitud, muestran un período avanzado en su evolución y tienen una densidad superior a la del hierro; el sistema está, además, a relativa corta distancia del Sol, 12.7 años luz. El período de este sistema es de 55 años y la distancia aparente de las componentes es de 2".9 siendo sus masas las más pequeñas que se conocen, pues una es 1/3 y la otra 1/7 de la masa solar.

Digamos, para terminar esta parte relativa a estrellas dobles, que, según Aitken, hay 5,400 estrellas dobles propiamente dichas, en el hemisferio boreal, de magnitud superior a la 9ª y esto hace pensar que en la esfera celeste, hasta esa magnitud, el número de dobles es de unos 12,000. De las estrellas brillantes, estas 7 son, sin duda binarias: Sirio, Procyon, Capella, Betelgeux, Rigel, Altair y α Centauri.

Las órbitas no muestran preferencia en cuanto a orientación ni inclinación, pero es de notar que las estrellas de tipo espectral más avanzado tienen órbitas más excéntricas y períodos de revoluciones mayores y esto conduce a pensar que, la proximidad de dos estrellas componentes no produce enfriamiento tan rápido como cuando es mayor la distancia. A causa de este período de evolución, más avanzado por lo general, en la compañera más pequeña se nota la distinta coloración de la componente de una estrella doble; aumentado por el contraste de los colores complementarios. Si la estrella de mayor brillo es rojiza, la más pequeña es verde-azulosa; si las dos son de igual magnitud, serán de igual color y tendiendo a ser amarillentas, si la de mayor brillo es blanca o amarillenta, la compañera es verdosa o azul.

*
*
*

MOVIMIENTOS.—Las estrellas no son fijas propiamente, se mueven en el espacio; por la distancia tan grande no parecen desalojarse, por eso se les ha llamado fijas, su movimiento combinado con el de translación del Sol, produce una resultante que puede medirse y que llamamos movimiento propio. La velocidad real de una estrella se obtiene considerando el movimiento propio, el de acercamiento o alejamiento a nosotros y el del Sol; la componente, en el sentido de acercarse o alejarse de nosotros una estrella, se conoce por velocidad radial de la estrella, obtenida con el espectroscopio de acuerdo con el principio Doppler-Fizeau. El efecto Doppler-Fizeau consiste en el desalojamiento que sufren las rayas espectrales cuando la fuente luminosa se desaloja. Si la luz se acerca hacia el observador, las rayas se desalojan hacia el violado, si se aleja, el desalojamiento es hacia el rojo, tomando como comparación el espectro de una luz en reposo con el observador. Este desalojamiento es semejante al cambio de tono de un sonido según se acerque o se aleje de un observador. La explicación de este fenómeno se reduce a considerar que, si la luz se acerca a un observador, la frecuencia con la que se reciban las ondas luminosas será mayor y, por tanto, la luz parecerá más violada. Si la fuente de luz se aleja, las ondas se recibirán con menos frecuencia y la luz parecerá más rojiza, la medida de este desalojamiento para las estrellas, permite conocer la velocidad radial, es decir, la componente de la

velocidad en la dirección estrella-tierra y es una de las ayudas más valiosas en la determinación de las velocidades de las estrellas, de la rotación del Sol, de planetas, etc. La velocidad radial de un astro cuando se conoce el desalojamiento $\delta \lambda$ de una raya espectral de longitud de onda λ , es: $v = C \delta \lambda / \lambda$, siendo C la velocidad de propagación de la luz.

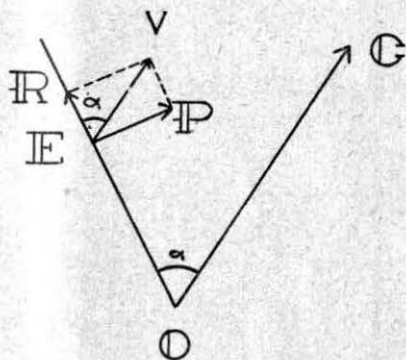
APEX.—El estudio de los movimientos propios aparentes ha dado a conocer que hay estrellas que parecen convergir hacia una región del cielo, mientras que otras divergen del punto opuesto diametralmente, lo cual hizo pensar que el Sol se mueve en el espacio sideral. Ese fenómeno es análogo al que observamos cuando vamos en un carro de ferrocarril; los postes parecen divergir cuando nos acercamos y convergir aquellos de los que nos alejamos. Teniendo en cuenta estos movimientos aparentes de las estrellas, L. Boss analizó los de 6188 estrellas de su Catálogo y pudo determinar las coordenadas del punto hacia el cual se dirige el Sol, o *Apex*, encontrando para ascensión recta 270° y para declinación $+34^\circ$. Otros astrónomos han obtenido valores poco diferentes, pero la media de ellos da $\alpha=270''$ y $\delta=+30^\circ$, siendo la velocidad de translación del Sol, con respecto a las estrellas de nuestro Universo, de 20 kms. por segundo. Sin duda, que este movimiento no es rectilíneo y la dirección determinada no es sino la tangente a la trayectoria que describe actualmente, ignorando cuál puede ser el centro o foco de la órbita solar y aún si este movimiento es rectilíneo dentro de nuestro Universo.

W. Herschel, fué quien descubrió, a fines del siglo XVIII, el movimiento de translación del Sol y por ende del sistema planetario, y, desde entonces se ha estudiado el problema.

MOVIMIENTO PARALACTICO.—Uno de los efectos de esta translación es el movimiento aparente de las estrellas en dirección paralela a la del Sol, o movimiento paraláctico. El Sol se desaloja por año unos 600 millones de kilómetros o sea 4 veces el radio de la órbita de la tierra; este movimiento hace que el desalojamiento de estrellas situadas a 90° del Apex, sea 4 veces mayor que el debido simplemente al movimiento de la tierra.

Por este método se puede averiguar qué estrellas tienen la misma velocidad que el Sol, es decir, cuales pueden tener alguna relación con él. Parece que la 43 Tauri conserva su distancia al Sol, lo que hace presumir que nos sigue.

CORRIENTES DE ESTRELLAS.—El estudio de los movimientos propios de las estrellas han permitido conocer grupos de estrellas animados de velocidades convergentes hacia un punto, debido a perspectiva y esto ha facilitado la determinación de la paralaje de estos grupos. Parecen bandadas de estrellas, según la expresión gráfica del P. Rodés, puesto que todas están animadas de velocidades casi paralelas e iguales. No es difícil por eso, calcular su paralaje y éste es uno de los métodos más elegantes, pero que requiere el conocimiento de la velocidad radial. Sea O el observador que vea, en la dirección OC , conver-



gir los movimientos aparentes de las estrellas, y E una estrella del grupo, cuyo movimiento propio es E_p , normal a la visual OE, y ER su velocidad radial; entonces, la velocidad propia de la estrella es la resultante EV, cuyo valor se puede conocer en Km, puesto que la velocidad radial se expresa en esa unidad. Y por tanto:

$$EV = ER / \cos \alpha$$

$$\text{y } E_p = EV / \sin \alpha = ER / \operatorname{tg} \alpha.$$

Medido el ángulo EOP y conocida la componente EP en kms., es fácil calcular EO.

Así se obtuvo la distancia que nos separa del grupo de las Hyadas, en la constelación del Toro, que se encontró ser de 130 AL y la velocidad común de las estrellas de 33 km. por segundo.

Otro grupo de estrellas semejante al anterior por su movimiento de conjunto es el de las Pléyades, con velocidad de 9 km. por segundo, siendo su distancia a nosotros de 327 kilómetros AL. siendo Alcyon (η Tauri), la estrella más brillante del grupo; el movimiento de conjunto es de alejamiento.

Entre otros grupos de esta clase, ligados físicamente por su movimiento de conjunto, figuran el de Perseo, la Osa Mayor y las de la constelación de Orión, junto con la gran nebulosa que las envuelve.

El astrónomo holandés Kapteyn, señaló, hace algunos años, que los movimientos de las estrellas tienden a seguir dos direcciones divergentes a las que llamó corrientes de estrellas; estas direcciones forman entre sí un ángulo de 100° ; nuestro Sol se desaloja oblicuamente con respecto a esas corrientes y los efectos de los movimientos combinados hacen ver dos vértices, que parecen ser los puntos de convergencia de las dos corrientes de estrellas, uno en la constelación de la Liebre y el otro en la del Centauro, no siendo diametralmente opuestos porque los vemos desde la Tierra, la que no se encuentra en el centro del Universo. Estas corrientes de estrellas hacen pensar en la rotación del universo sideral, como si existiesen aún dos ramas enormes de espiral que, lentamente, fuesen alejándose de un punto que fuera antaño centro del primitivo Universo.

Tacubaya, D. F., Marzo de 1930.

ING. JOAQUIN GALLO.

**Estrellas de mayor brillo real y de dimensiones mayores
que las del Sol**

ESTRELLA	Magnitud Aparente	Diámetro Aparente	Diámetro	Brillo abso- luto	Temperatura
Sol	— 26.6	1919.260	1	1	6 000
Antares.....	1.2	0.040	500	1600	3 000
o Ceti	Var	.135	307		
Beteigeux.....	0.9	.047	250	5000	3 000
α Hércules.....	3.5	.015	214	190	3 000
Aldebarán.....	1.5	.027	48	40	3 600
Rigel	0.3	.002	19	24300	10 000
Arcturus.....	0.2	.023	45	40	6 400
Pollux.....	1.2	.015	14	40	5 500
Vega.....	0.1	.018	2.4	100	8 000
Sirio.....	— 1.6	.019	1.8	30	8 000
Procyon.....	0.5	.010	1.2	7	6 000

**Estrellas de menor brillo y de dimensiones menores
que las del Sol**

ESTRELLAS	Magnitud	Paralaje	Magnitud Reducida	Brillo
V. M. μ^3	12.3	0.24	9.3	0.0002
Barnard (estrella pro- yectil).....	9.7	0.54	8.3	.0005
ρ Eridani —	10.8	0.20	7.3	.0012
Groom. 34 —	8.1	0.28	5.4	.0013
Comp. α Aurig.....	9.8	0.07	3.9	
,, α Gem.....	9.4	0.08	3.9	

Estrellas más próximas al Sol

ESTRELLAS	Mag.	α 1930	δ 1930	Mag. abs.	Para- laje	A.L.	Movim. propio
α Centauri C.....	11.0	^{h m} 14 25	^o -62 15	10.5	0.78	4.2	3.9
α Centauri A.....	0.3	14 35	-60 33	- 0.3	0.76	4.3	3.7
Barnard.....	9.7	17 55	+ 4 28	8.3	0.53	6.1	10.3
Lal 21185.....	7.6	10 59	+36 37	5.7	0.41	7.9	4.8
Sirio.....	- 1.6	6 42	-16 17	- 3.7	0.38	8.7	1.3
Córdoba.....	8.3	5 9	-45 0	5.8	0.32	10.2	8.7
τ Ceti.....	3.6	1 40	-16 18	1.2	0.32	10.2	1.9
ϵ Eridani.....	3.8	3 29	- 9 41	1.3	0.31	10.5	1.0
Procyon.....	0.5	7 36	+ 5 24	- 2.1	0.30	10.7	1.2
61 Cisne.....	5.6	21 4	+48 24	3.0	0.30	10.7	5.2
ϵ Indi.....	4.7	21 58	-57 4	4.7	0.28	11.5	4.7
Kruger 60.....	0.1	22 26	+57 14	6.1	0.26	12.7	0.9
Van Maanen.....	12.3	0 46	+ 5 4	9.3	0.25	13.3	3.0
ξ Bötis.....	4.7	14 47	+19 23	1.5	0.23	14.2	0.2
Altair.....	0.9	19 47	+ 8 41	- 2.3	0.22	14.7	0.6
\circ Eridani.....	4.5	4 12	- 7 45	1.0	0.20	16.2	4.1

DATOS REFERENTES A LAS ESTRELLAS DE PRIMERA MAGNITUD

Nombre	Mag.	Movimie- to propio anual	Paralaje	Dist. años luz	Mag. absoluta	Velocidad radial Km.	Diámetro ☉ = 1	Tempera- tura
Achernar.....	0.6	0.094	0.051	64	-0.9	.....	.....	.....
Aldebaran.....	1.1	0.203	0.056	58	-0.2	+55.1	40	3500
Capella.....	0.2	0.437	0.075	44	-0.5	+30.2	11	6000
Rigel.....	0.3	0.001	0.006	543	-5.5	+22.6	12	10000
Betelgeux.....	0.6-1.2	0.029	0.017	191	-2.7	+21.3	250	3000
Canopus.....	-0.9	0.018	0.005	652	-6.7	+20.8	.....	.....
Sirius.....	-1.6	1.316	0.376	8.7	+1.2	-7.4	1.8	8000
Procyon.....	0.5	2.242	0.309	10.6	+3.0	-3.5	1.2	6000
Pollux.....	1.2	0.625	0.101	32	+0.2	+3.9	.....	5500
Regulus.....	1.3	0.247	0.058	56	-1.1	-9.1	.....	.....0
α Crucis.....	1.1	0.048	0.030	109	-0.5	+7.	.....	.....
β Crucis.....	1.5	0.056	0.008	408	-4.0	+13.	.....	.....
Spica.....	1.2	0.055	0.009	362	-4.0	+1.6	.....	.....
β Centauri.....	0.9	0.041	0.037	88	-1.3	-7.	.....	.....
Arcturus.....	0.2	2.282	0.075	44	-0.5	-3.9	25	4000
α Centauri.....	0.3	3.680	0.759	4.3	+4.7	-21.6	.....	.....
Antares.....	1.2	0.034	0.026	126	-1.5	-3.1	500	3000
Vega.....	0.1	0.346	0.124	26	-0.1	-13.8	2.4	8000
Altair.....	0.9	0.655	0.214	15	+2.5	-33.	.....	8000
Deneb.....	1.3	0.001	0.005	652	-7.2	-4.	.....	9000
Fomalhaut.....	1.3	0.365	0.138	24	+2.0	+6.7	.....	.....
α Eridani.....	0.6	0.093	0.049	67	-1.0	.....	.....	.....

ESTRELLAS DOBLES

NOMBRE	POSICION PARA 1930		Mag.	Distancia	Angulo de posición	Epoca
	α	δ				
51 Piscium.....	h. m. 0 28.7	° ' " + 6 34	5-9	"	°	1914.9
η Cassiop.....	0 44.8	+ 57 27	4-7	7	254	1918.8
ϕ Piscium.....	1 10.0	+ 24 13	4-10	8	227	1916.8
α Ursæ Min.....	1 36.9	+ 88 56	2-9	18	216	1914.7
γ Arietis.....	1 49.7	+ 18 56	5-5	8	0	1916.0
α Piscium.....	1 58.5	+ 2 26	4-5	3	313	1916.0
γ Androm. A. B.	1 59.6	+ 42 0	3-5	10	64	1915.1
B. C.			5-6	1	113	1918.8
ϵ Trianguli.....	2 8.3	+ 29 58	5-7	4	73	1918.5
ϵ Ceti.....	2 39.7	+ 2 56	4-6	3	294	1918.1
ϵ Persel.....	3 53.1	+ 39 48	3-8	9	10	1916.1
β Orionis.....	5 11.2	- 8 17	1-8	10	202	1916.1
ζ Orionis.....	5 37.2	- 1 59	2-4	2	157	1918.1
α Canis Maj.....	6 42.0	- 16 37	1-10	11	71	1918.1
δ Geminorum.....	7 15.8	+ 22 7	3-8	7	210	1918.1
ζ Geminorum.....	7 30.1	+ 32 3	2-3	5	218	1918.2
α Cancri A. C.....	8 8.2	+ 17 52	5-6	5	112	1918.3
ϵ Hydræ.....	8 43.1	+ 6 41	2-7	3	244	1917.3
ω Leonis.....	9 24.8	+ 9 23	6-7	1	127	1918.3
γ Leonis.....	10 16.1	+ 20 12	2-3	4	117	1919.3
35 Sextantis.....	10 39.6	+ 5 7	6-7	7	240	1915.0
ξ Ursæ Maj.....	11 14.5	+ 31 56	4-5	3	106	1919.2
γ Virginis.....	12 38.1	- 1 4	3-3	6	143	1919.4
ζ Ursæ Maj.....	13 21.1	+ 55 18	2-4	14	150	1919.4
α Centauri.....	14 34.8	- 60 33	1-1	16	220	1917.5
ϵ Boötis.....	14 41.9	+ 27 22	3-5	3	332	1919.4
i Boötis.....	15 2.0	+ 47 56	5-6	4	245	1919.4
δ Serpentis.....	15 31.5	+ 10 47	4-5	4	183	1919.5
α Herculis.....	17 11.4	+ 14 28	3-5	5	112	1915.9
p Ophiuchi.....	18 1.9	+ 2 31	4-6	5	135	1919.4
ϵ Lyræ.....	18 41.3	+ 39 35	5-6	3	11	1919.4
5 Lyræ.....	18 41.4	+ 39 31	5-5	2	120	1919.4
θ Sagittæ.....	20 7.0	+ 20 42	6-8	12	328	1902.0
61 Cygni.....	21 3.7	+ 38 24	5-6	24	131	1917.8
β Cephei.....	21 27.7	+ 70 15	3-8	14	251	1914.8
κ Pegasi.....	21 41.4	+ 25 19	4-10	13	298	1911.7
ζ Aquarii.....	22 25.2	- 0 23	4-4	3	306	1917.6
σ Cassiopeie.....	23 55.4	+ 55 22	5-7	3	327	1914.7

ESTRELLAS VARIABLES MAS NOTABLES

	1930		Mgs. límites	Periodo días
	α	δ		
R Andromedæ	h. m.	° '		
o Ceti.....	0 20.3	+ 38 11	5.6 — 14.0	411
R Triánguli.....	2 15.8	— 3 17	2.0 — 9.6	331
R Horologii.....	2 32.7	+ 33 58	5.3 — 12.0	265
R Persei.....	2 52.7	— 50 10	4.0 10.2	398
β Persei.....	3 3.6	+ 40 41	2.3 3.5	2.8
R Leporis.....	4 56.4	— 14 52	6.0 10.4	436
α Orionis.....	5 51.4	+ 7 24	0.5 1.1	.....
V Orionis.....	5 51.6	+ 20 11	5.8 12.1	374
R ₇ Aurigæ.....	6 23.9	+ 30 33	5.0 5.9	3.7
L ₂ Puppis.....	7 11.5	— 44 32	3.3 6.3	140
R Leonis.....	9 43.8	+ 11 46	5.0 10.2	313
η Argus.....	10 42.3	— 59 17	1.6 6.6	.....
T Ursæ Maj.....	12 33.1	+ 59 52	5.5 12.7	257
δ Libræ.....	14 57.2	— 8 14	5.0 5.9	2.3
R Cor Boreal.....	15 45.7	+ 28 21	5.8 13.5	.....
46 Herculis.....	16 48.9	+ 15 5	5.9 13.1	308
V Ophiuchi.....	17 12.9	+ 1 7	6.0 6.8	1.7
μ Herculis.....	17 14.7	+ 33 10	4.8 5.3	2.0
β Lyræ.....	18 47.5	+ 33 17	3.4 4.1	12.9
χ Cygni.....	19 47.7	+ 32 36	4.2 13.2	405
W Cygni.....	21 33.3	+ 45 4	5.4 7.0	131
δ Cephei.....	22 26.6	+ 58 3	3.6 4.3	5.4
R Cassiop.....	22 54.8	+ 51 0	4.8 13.2	432



