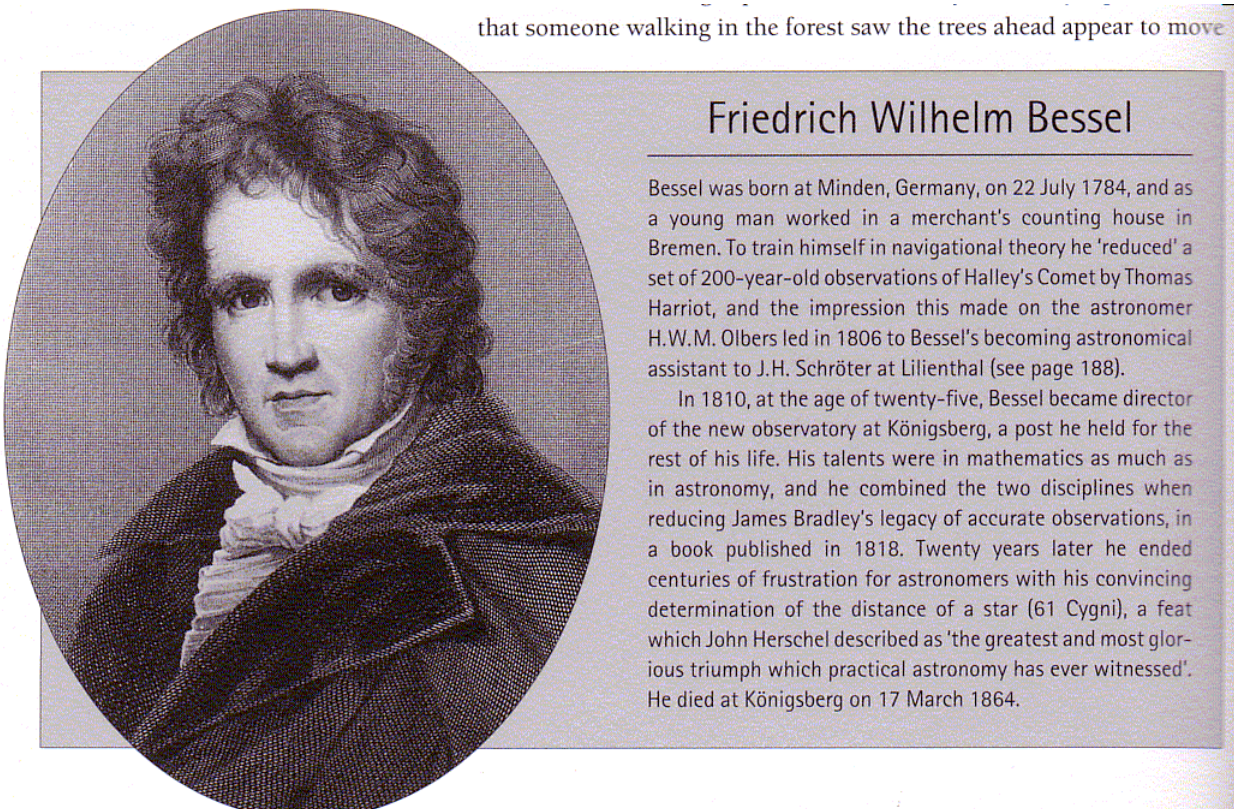


## 2.04. Bessel y el primer paralaje estelar.

### 2.04.1. Introducción:

**Friedrich Wilhelm Bessel** (1784–1846) era un empleado en una casa comercial en Bremen cuando se interesó en el comercio a través de viajes trans-oceánicos. Para ello estudió navegación y astronomía. Leyó el libro *“Traité d’Astronomie”* del astrónomo francés Lalande y calculó la órbita del cometa Halley utilizando su paso de 1607. Utilizó los métodos desarrollados por Olbers. Luego Bessel conoció a Olbers y le mostró sus cálculos; Bessel había encontrado su vocación por la astronomía y Olbers, al ver su gran talento matemático le consiguió un trabajo en el observatorio de Lilienthal. A los 25 años de edad, en 1810, fue nombrado Director del nuevo observatorio de Königsberg, nuevo observatorio construido por el Kaiser Friedrich Wilhelm III de Prusia. Permaneció en la ciudad de Kant por el resto de su vida. El Observatorio se convirtió en un centro de primer orden en los estudios astronómicos.



Ojo: En el comentario de la figura se dice que Bessel murió en 1864; esto es un error de escritura, es en verdad 1846.

Con su libro “*Fundamenta Astronomiae*” de 1818 Bessel puso al día las observaciones de Bradley hechas a mediados del siglo XVIII. Tomó todas las observaciones de Bradley, que habían sido publicadas sin reducir, y les aplicó todas las correcciones correspondientes. Bradley había sido muy cuidadoso en la determinación de los errores de sus instrumentos y había anotado bien a partir de cuales observaciones se podían determinar. Bessel no tan sólo lo hizo y muy bien sino que además determinó todas las constantes astronómicas relevantes, en particular la corrección por aberración, por precesión, por nutación y por refracción atmosférica. La aberración de una estrella hace que su posición aparente en el cielo cambia a lo largo del año describiendo una elipse, cuyo semi-eje mayor es 20,5” y su semi-eje menor puede ser muy pequeño (si esta cerca de la eclíptica) llegando hasta el valor de 20,5” (para una estrella en el polo de la eclíptica). Por eso en los catálogos estelares se dan las posiciones medias, que corresponde al centro geométrico de la elipse de aberración. Al elaborar un catálogo estelar se realizan varias observaciones de cada estrella; para combinar las observaciones se necesita corregir primero los efectos de la aberración y refracción en cada observación individual. Bessel publicó el catálogo de Bradley para 3.222 estrellas, para una época media de 1755. Este es el primer gran catálogo moderno; puede ser utilizado hasta nuestros días.

La fecunda actividad científica de Bessel lo llevó a incursionar en el campo de la geodesia y geofísica. La determinación del grado terrestre en Prusia la hizo Baeyer en 1832 lo que condujo a Bessel a una serie de investigaciones y trabajos sobre la unidad de longitud prusiana, sobre la longitud del péndulo de segundos, sobre la forma y magnitud de la Tierra, etc. Dedujo una elipticidad para la Tierra de 1/299, trabajo que publicó en 1841. Entre sus logros en matemáticas hay que destacar la invención de las funciones de Bessel. Se casó en 1812 con Johanna Hegen con quien tuvo dos hijos y tres hijas. Murió en Königsberg el 17 de Marzo de 1846, a los 61 años.

Utilizando un nuevo círculo meridiano, construido según sus planos por la casa Reichenbach de Alemania, observó en Königsberg todas las estrellas hasta la novena magnitud comprendidas entre 45° N y 15° S de declinación. Bessel proclamó el principio de que un instrumento astronómico jamás es una idealización matemática y por lo tanto sólo puede dar resultados exactos determinando todos sus errores y aplicando las correspondientes correcciones a las cantidades medidas, siempre y cuando los errores sean constantes debido a la sólida construcción del instrumento. En 1840 en una charla pública expresó esta idea de la siguiente forma: “*Cada instrumento es hecho dos veces, primero en el taller del artesano que lo construye en acero y bronce y luego por el astrónomo en papel, por medio de la lista de las correcciones que él determina mediante sus investigaciones*”.

Entre 1821 y 1833 Bessel realizó más de 76.000 observaciones de posiciones estelares y compiló un catálogo de 63.000 estrellas. Este trabajo fue posteriormente expandido por su asistente y discípulo **Argelander**. A partir de esa época se hizo costumbre referir la declinación de una estrella a la centésima de segundo de arco y la ascensión recta a la milésima de segundo de tiempo. La determinación de coordenadas pasó a ser “casi un fin en sí mismo” y los círculos meridianos se transformaron en instrumentos de culto; todos los observatorios debían tener uno. Así constructores

alemanes como Repsold de Hamburgo fueron encontrando un mercado en los nuevos observatorios que surgían en Europa y en el resto del mundo.

#### 2.04.2. La compañera invisible de Sirio:

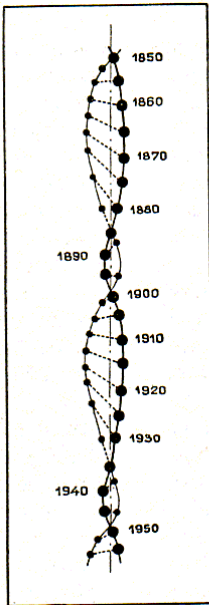


FIG. 17. THE SINUOUS MOTION OF SIRIUS, due to the combination of its rectilinear proper motion with its orbital movement, led Bessel to predict the existence of its faint companion.

Gran observador y teórico excepcional Bessel incursionó en áreas totalmente nuevas en astronomía. Al estudiar el movimiento de Sirio se dio cuenta que había diferencias notorias entre las posiciones calculadas y las observadas. Pensó que tales anomalías se debían a la presencia de una compañera invisible de esta brillante estrella. En 1844 anunció su conclusión que estas irregularidades se originaban en perturbaciones debidas a cuerpos invisibles, que acompañaban a las estrellas visibles. Escribió: *“Estoy convencido que Proción y Sirio constituyen verdaderos sistemas binarios compuestos de una estrella visible y una invisible. No hay razón para suponer que la luminosidad es una característica*

*esencial de los cuerpos celestes. La visibilidad de una multitud de estrellas no es evidencia en contra de la invisibilidad de otra multitud de ellas”.*

Siguiendo las ideas de su maestro, **Christian August Friedrich Peters** (1806 – 1880), en 1851, determinó la órbita de la compañera invisible de Sirio. Explicó el movimiento de Sirio bajo la suposición que describe, en 50 años, una órbita con una compañera invisible, de una masa menor (aproximadamente  $1/3$  de la masa de Sirio). En 1862, Alvan Graham Clark (1832 – 1897) astrónomo y constructor de telescopios hijo de Alvan Clark (1804 – 1887), descubrió la compañera de Sirio, estrellas de octava magnitud que está a una pequeña distancia angular de Sirio. Alvan Clark hijo probaba un refractor de 18 pulgadas (45 centímetros) y lo apuntó a Sirio y le llamó la atención una compañera muy débil que se veía hacia el este de Sirio; el padre también la vio y lo más interesante es que ninguno de los dos conocía la predicción de Bessel y su alumno Peters acerca de una hipotética compañera de Sirio. La compañera de Sirio es de octava magnitud, unas diez magnitudes más débil que su brillante pareja [diez magnitudes corresponden a un factor 10.000 en brillo aparente]. Este astro, llamado posteriormente Sirio B, pertenece a la categoría de las estrellas **enanas blancas**, estrellas de un tamaño similar a la Tierra pero cuya masa es semejante a la del Sol. Una de sus características más notables es su alta densidad, de una tonelada por centímetro cúbico. El descubrimiento de una compañera de Proción, hecho por J.M. Schaeberle en el Observatorio de Lick en 1895, con el telescopio de 36 pulgadas, mostró una débil compañera de Proción de magnitud 13. Medio siglo después de Bessel se vino a ratificar otra predicción del gran astrónomo de Koenigsberg.

### 2.04.3 Primer Paralaje estelar:

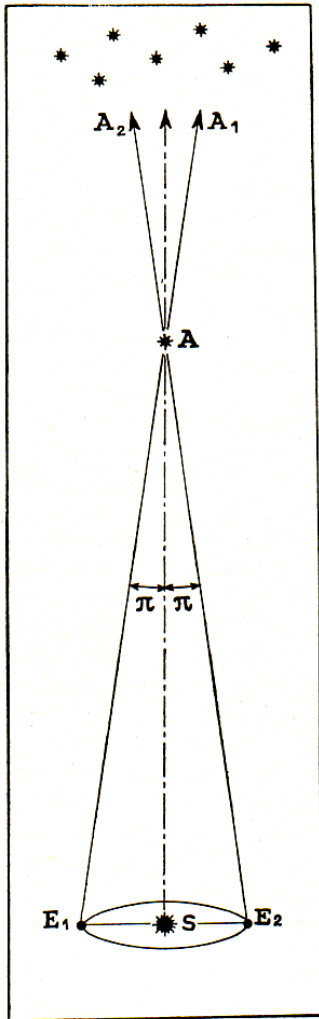


FIG. 16. PARALLACTIC DISPLACEMENT OF A NEARBY STAR

A nearby star (A) appears displaced relative to more distant reference stars when the Earth moves from  $E_1$  to  $E_2$  in the course of its orbital motion. The star's apparent position shifts from  $E_1A_1$  (when the Earth is at  $E_1$ ) to  $E_2A_2$  (when the Earth is at  $E_2$ ) and the angle  $\pi$  is the parallax.

El gran descubrimiento científico que se asocia con el nombre de Bessel es la primera determinación de un paralaje estelar. Desde los tiempos de Copérnico muy distinguidos astrónomos habían naufragado en el intento de medir un paralaje estelar. Tycho Brahe, Kepler, Huygens, Hooke, Flamsteed, Bradley, Herschel, Piazzzi, Ignazio Calandrelli (1792–1866) entre muchos otros habían aplicado potencias cada vez mayores de sus instrumentos y el valor del paralaje parecía irse alejando cada vez más. Tycho creía que la distancia a las estrellas fijas era de 2.000 unidades astronómicas (el paralaje estelar resultante era de 100"). Huygens colocaba a Sirio a 28.000 U.A. (paralaje de 7"). Bradley, después de descubrir la aberración y la nutación, admitía que las estrellas más cercanas debían estar más alejadas del Sol que 100.000 U.A. (paralaje < 2"). Ninguno de ellos tuvo éxito en medir un paralaje estelar.

Entre los métodos propuestos para medir paralajes los había absolutos, como el que Hooke y Bradley usaron para medir Gamma Draconis (sin éxito acerca de su paralaje) y relativos, como el propuesto por Galileo y seguido por William Herschel. En éste método se trata de detectar paralaje de una estrella brillante (puesta cercana) con respecto a una estrella débil (supuesta lejana). Herschel encontró muchos cientos de sistemas de estrellas dobles, llegando a la conclusión que la gran mayoría son pares físicos y por ende inapropiados para detectar en ellos paralaje relativo.

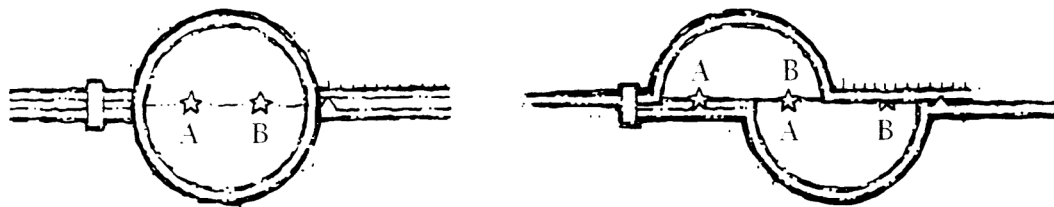
Bessel eligió para su estudio de un paralaje estelar la estrella 61 Cygni por tener un altísimo movimiento propio; era la estrella de mayor movimiento propio conocido en esa época, 5,2" por año. Se trata de una estrella de quinta magnitud en la constelación de Cygnus, el cisne. En 1792 Piazzzi había anotado en sus registros el muy alto movimiento propio de esta estrella, llamada la "*estrella voladora*". El movimiento propio de una estrella es directamente proporcional a la velocidad espacial perpendicular a la



visual e inversamente proporcional a la distancia que nos separa de la estrella; estrellas con velocidades tangenciales semejantes tienen mayor movimiento propio mientras más cercanas.

Para determinar el paralaje de 61 Cyg Bessel eligió dos estrellas mucho más débiles, que no presentaban movimiento propio y por ende las supuso mucho más lejanas que 61 Cyg. Lo intentó sin éxito en 1815 y también fracasó la segunda vez, cuando lo intentó deducir de las observaciones de Bradley. En 1829 adquirió un nuevo instrumento, un heliómetro de Fraunhofer cuyo objetivo, de 16 centímetros de diámetro, estaba cortado por la mitad. Ambas mitades se pueden desplazar lateralmente con lo cual se logra imágenes dobles en el ocular. Las mitades del heliómetro se desplazan hasta que la imagen de una estrella se hace coincidir con la imagen de otra estrella. Mirando en un micrómetro la cuantía del desplazamiento se puede conocer la distancia angular entre ambas estrellas. Este instrumento fue desarrollado para medir el diámetro del Sol, de ahí su nombre.

#### Wilhelm Struve: Seeker of Parallax

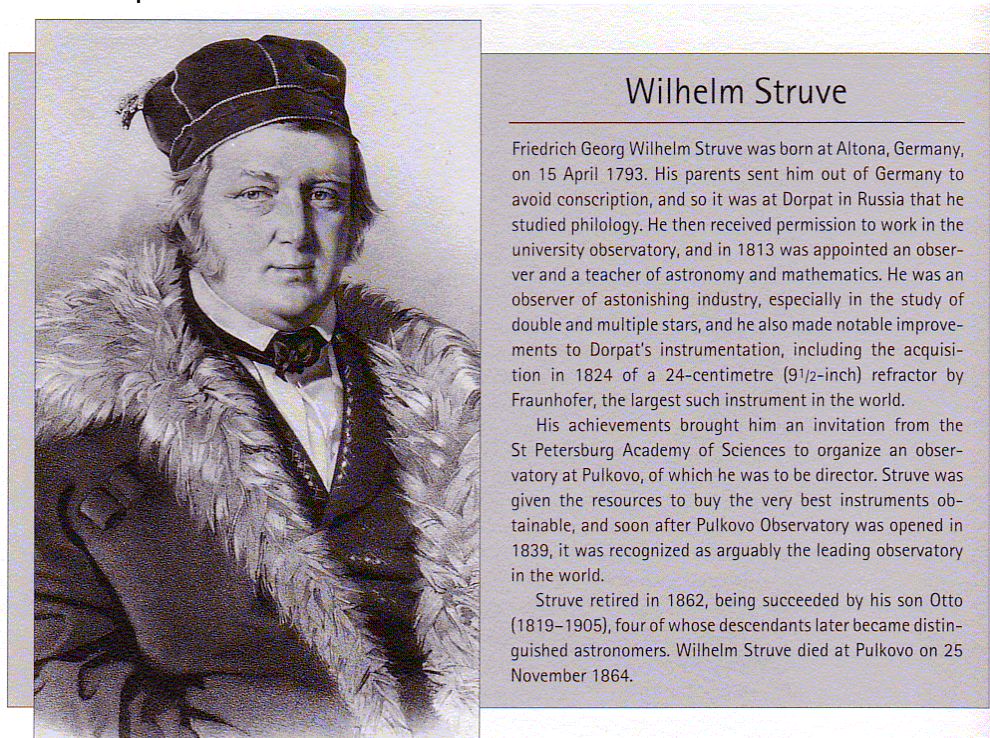


**Figure 5.6** The heliometer type telescope. Originally conceived as an instrument to measure the width of the disk of the Sun (*helios* in Greek), the heliometer was used by Bessel, in place of a wire micrometer, to measure the separation of stars. The two halves of the objective lens are slid apart until the image of star A lies directly under the image of star B. The amount of displacement of the two halves of the lens gives the angular separation of the stars. (Credit: Layne Lundström.)

Bessel midió la distancia angular de 61 Cyg a sus dos estrellas de referencia, a 8 y 12 minutos de arco. La extraordinaria calidad de su nuevo telescopio lo llevó entonces al éxito. Su heliómetro le permitía errores de 0.14" en una sola medición. Hacia fines de 1838 anunció el valor del paralaje: 0.314" que corresponde a 657.000 U.A. de distancia al Sol. Se define 1 **parsec** de distancia como la distancia de una estrella al Sol a la cual la estrella tiene un paralaje de 1 segundo de arco. Con esta definición la distancia a una estrella, en parsecs, es el inverso de su paralaje en segundo de arco. 61 Cyg tiene por tanto una distancia de 3,2 parsecs. Un parsec equivale a 206.265 unidades astronómicas y a 3,26 años-luz. La distancia a 61 Cyg es de 10,2 años-luz.

#### 2.04.4 Struve y Henderson:

Bessel no estuvo solo en esta empresa de medir exitosamente un paralaje estelar. Otros dos astrónomos midieron también una paralaje estelar en paralelo con Bessel: **Friedrich Wilhelm Struve** (1793–1864) y **Thomas Henderson** (1798–1844). Struve eligió a Vega estrella muy brillante en la constelación de la Lira (Alfa Lyrae). Utilizó el micrómetro filar del nuevo refractor de 24 centímetros de abertura, construido por Fraunhofer, del observatorio de Dorpat cerca de Tartú en Estonia (Dorpat es el antiguo nombre alemán para Tartú, de Estonia). Entre 1835 y 1838 observó Vega, logrando publicar en 1838 un paralaje para esta brillante estrella de 0,26". Struve había nacido en Alemania, en Altona, cerca de Hamburgo, pero se fue a vivir a Rusia y después de ser el director de Dorpat fue nombrado Director del Observatorio de Pulkovo en los alrededores de San Petersburgo. Su hijo Otto fue también director de Pulkovo. Su bisnieto, también Otto fue un prestigioso astrónomo norteamericano en el siglo XX. Los Struve, junto con los Cassini, constituyen las más distinguidas dinastías en el campo de la astronomía.



Thomas Henderson, escocés nacido en Dundee en 1798 era un abogado que en un tiempo trabajaba para un juez de la corte Suprema de Escocia. El gastaba sus ratos libre estudiando astronomía, asistía a congresos de astronomía y a través de la publicación de un par de buenos trabajos se ganó una reputación como astrónomo. Buscó la cátedra de astronomía en la Universidad de Edimburgo pero no la obtuvo. Sin embargo el Almirantazgo le ofreció irse como astrónomo a cargo del observatorio de Sud-África; no muy convencido terminó por aceptar. Llegó a Ciudad del Cabo en Abril de 1832 y triunfantemente anunció que sus peores temores se veían totalmente confirmados.

Henderson, en lugar de un método diferencial, como el usado por Bessel o Struve, midió con un círculo meridiano y un cuadrante mural la estrella Alfa Centauri, desde el Cabo de Buena Esperanza en Sudáfrica. Henderson tenía buenas razones para elegir a Alfa Centauri: tiene una gran movimiento propio de 3,7" por año; tiene una compañera que describe en un corto período una órbita aparente bastante grande lo que hace sospechar que lo grande de la órbita se debe a la cercanía; por último Alfa Centauri es muy brillante, una de las más brillantes del cielo austral. Entre 1832 y 1833 hizo sus observaciones mientras era el astrónomo a cargo del observatorio de Ciudad del Cabo. Regresó a Escocia, donde llegó a ser Astrónomo Real para Escocia; le tomó mucho tiempo reducir sus datos y a comienzos de 1839 publicó el paralaje de Alfa Centauri, dando el valor de 0,91 segundos de arco, algo mayor que el valor aceptado actualmente. Henderson posiblemente frustrado por haber perdido una batalla tan importante como era la del primer paralaje estelar, hizo muy poco después y murió al poco tiempo, a la edad de 46 años. Se conoce tan poco de la vida privada de Henderson que no existe retrato alguno de su persona. Como dice Don Fernie en su libro es: *"el más desconocido de los astrónomos famosos"*.

Pese a la casi simultaneidad de las publicaciones de Bessel, Struve y Henderson, el mérito mayor es indudablemente de Bessel no tan sólo por haber sido el primero sino que su resultado para 61 Cyg es muy cercano al mejor valor actual. El resultado de Struve era muy impreciso y el de Henderson, algo mejor, tampoco era correcto. Henderson tuvo la suerte de elegir la estrella que hasta hoy ha demostrado ser la más cercana al Sol. Vega era la más difícil de medir y por lo tanto la elección de Struve fue la menos afortunada.

	Paralaje Publicado (")	Distancia U.A.	Paralaje Actual (")	Distancia U.A.
Bessel 61 Cygni	0,314	657.000	0,294	702.000
Struve Vega	0,261	790.000	0,124	1.660.000
Henderson Alfa Centauri	0,91	227.000	0,745	277.000

Al terminar la cuarta década del siglo XIX se descorrió el telón que puso al hombre a escudriñar el cosmos más allá del Sol, en el reino de las estrellas. Muchas fueron las determinaciones de paralajes hechas en las décadas siguientes. La dificultad que había postergado este descubrimiento por tanto tiempo siguió presente. La concordancia entre valores medidos por distintos observadores era muy precaria. Struve, que en 1839 se fue a fundar el Observatorio ruso de Pulkovo, cerca de San Petersburgo, midió el paralaje de 61 Cygni encontrando un valor de 0,51". Para la

estrella 1830 del catálogo de Groombridge, con un movimiento propio de  $7,07''/\text{años}$ , aún superior al de 61 Cygni, con el heliómetro de Koenigsberg se midió un paralaje de  $0,182''$  pero con el micrómetro filar de Pulkovo se midió  $0,034''$  un valor 5 veces menor! El astrónomo irlandés David Gill (1843-1914) con un heliómetro midió excelentes paralajes, primero en Irlanda y luego en ciudad del Cabo en Sudáfrica.

Cuando las mediciones tuvieron una mejor consistencia, empezó a hacerse evidente que estrellas de magnitudes aparente similares tenían muy distintos paralajes. Por ejemplo Rigel estrella de Orión es tan brillante como Alfa Centauri pero tiene un paralaje de  $0,008''$ , cien veces menor, con lo cual está cien veces más lejos y por lo tanto es 10.000 veces más luminosa. La estrella de Kapteyn, estrella de octava magnitud resultó tener un paralaje de  $0,32''$  igual que el de Proción, salvo que es mil veces menos luminosa y por tanto ese factor mil es la diferencia real en luminosidad absoluta. Al iniciarse el siglo XX las mediciones de paralajes estelares habían demostrado la gran variedad que presentan las estrellas en sus luminosidades.

Durante el siglo XX los paralajes estelares tenían típicamente errores de  $0,01$  segundos de arco. Ese es el límite de los que se podía hacer con paralajes fotográficos. Con la introducción de los CCD (detectores digitales bi-dimensionales) se ha mejorado la calidad de los paralajes a  $\pm 0,001$  segundos de arco. Con técnicas fotográficas las estrellas más lejanas a las cuales se les podía medir su paralaje trigonométrico era de 100 parsec; actualmente ese valor se ha elevado hasta los 1.000 parsecs. Esto permite medir paralajes para estrellas de muy baja densidad espacial (por ejemplo estrellas variables del tipo cefeida) de las cuales no hay ninguna a menos de 100 parsecs del Sol. Con la reciente introducción de técnicas espaciales para la medición de paralajes se han logrado precisiones sin precedentes lo que ha dejado obsoletas las técnicas clásicas de mediciones astrométricas, hechas desde la superficie de la Tierra. La industria de posiciones precisas y de paralajes que hizo trabajar a la mayoría de los observatorios del mundo por un siglo y medio ha llegado ahora a su fin.

## **Bibliografía:**

- Berry, A. *"A Short History of Astronomy"*, Dover, N. York, 1961; pp.359-363.  
Crowe, M.J. *"Modern Theories of the Universe, from Herschel to Hubble"*  
Dover, N. York, 1994.  
Donald Fernie *"The Whisper and the Vision"*, Clarke, Irwin & Co., Toronto, 1976, p. 65.  
North, John *"The Fontana History of Astronomy and Cosmology"*, 1994, Fontana Press.  
Papp, D. y Babini, J. *"Panorama General de la Historia de la Ciencia"*, Vol. X; B. Aires, 1964; pp 60-64.  
Pannekoek, A. *"A History of Astronomy"*, Dover, N. York, 1989.  
*The Cambridge Concise History of Astronomy*, M. Hoskin (Ed.), Cambridge University Press, Cambridge, 1999.