


## 2.4. Bessel y el primer paralaje estelar.

### 2.4.1. 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 conoció al astrónomo aficionado alemán Olbers; ahí Bessel encontró su vocación por la astronomía y Olbers, al ver su gran talento matemático le consiguió un trabajo en el observatorio de Lilienthal. A los 26 años de edad fue nombrado Director del nuevo observatorio de Königsberg. 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.

that someone walking in the forest saw the trees ahead appear to move



### Friedrich Wilhelm Bessel

Bessel was born at Minden, Germany, on 22 July 1784, and as a young man worked in a merchant's counting house in Bremen. To train himself in navigational theory he 'reduced' a set of 200-year-old observations of Halley's Comet by Thomas Harriot, and the impression this made on the astronomer H.W.M. Olbers led in 1806 to Bessel's becoming astronomical assistant to J.H. Schröter at Lilienthal (see page 188).

In 1810, at the age of twenty-five, Bessel became director of the new observatory at Königsberg, a post he held for the rest of his life. His talents were in mathematics as much as in astronomy, and he combined the two disciplines when reducing James Bradley's legacy of accurate observations, in a book published in 1818. Twenty years later he ended centuries of frustration for astronomers with his convincing determination of the distance of a star (61 Cygni), a feat which John Herschel described as 'the greatest and most glorious triumph which practical astronomy has ever witnessed'. He died at Königsberg on 17 March 1864.

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

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 lo condujo 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.

## 2.4.2 Compañera invisible de Sirio:

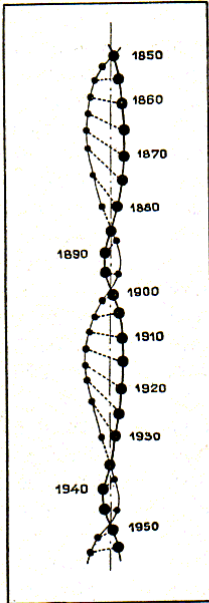


FIG. 17. THE SINUOUS MOTION OF SIRIUS, due to the combination of its rectilinear proper motion with its orbital movement, led Bessel to predict the existence of its faint companion.

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. Este astro, llamado posteriormente Sirio B, pertenece a la categoría de las estrellas enanas blancas, estrellas de un tamaño semejante 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 en el Observatorio de Lick en 1892, vino a justificar otra previsión similar del gran astrónomo de Koenigsberg.

### 2.4.3 Primer Paralaje estelar:

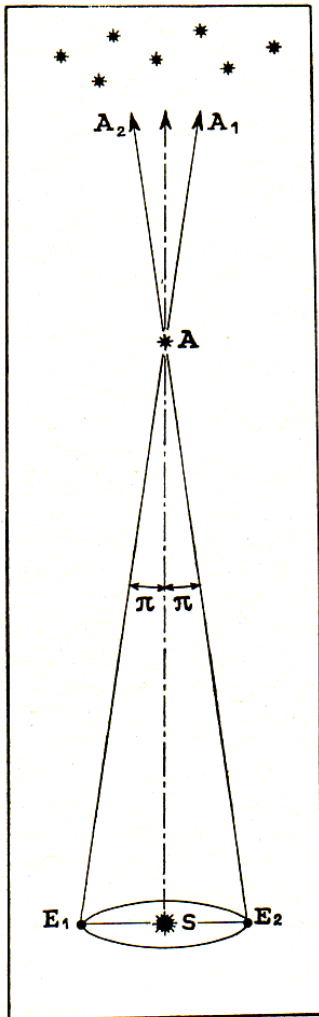


FIG. 16. PARALLACTIC DISPLACEMENT OF A NEARBY STAR

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, Piazzi, 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 2000 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.

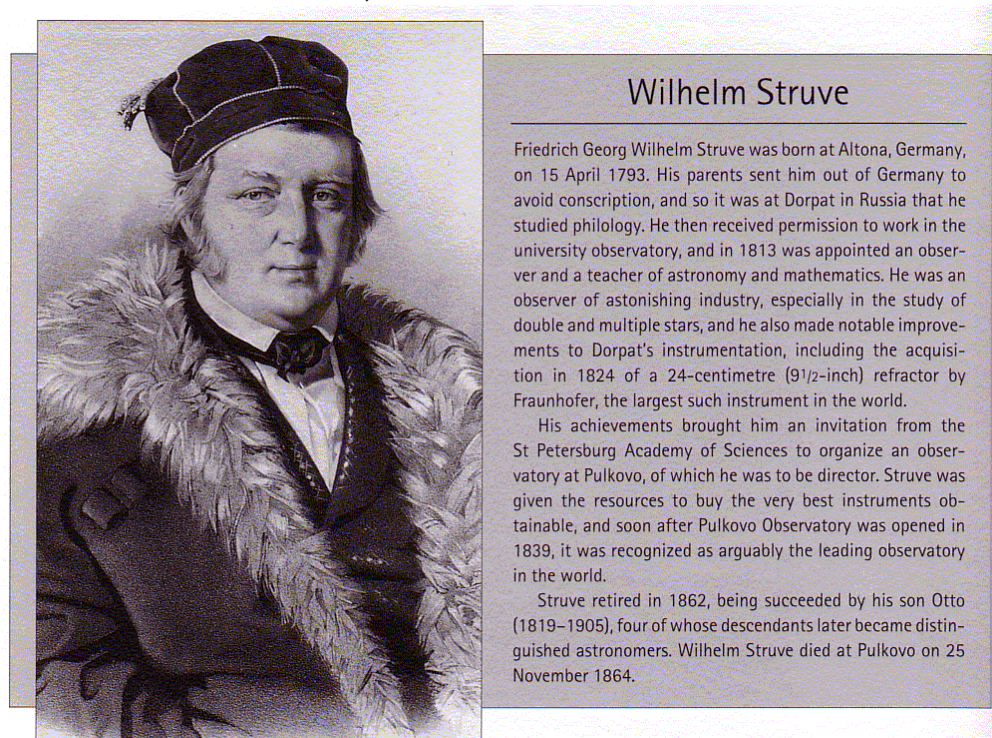
Entre los métodos propuestos para medir paralajes los había absolutos, como el que Hooke y Bradley usaron para medir Gamma Draconis (sin éxito acerca de su paralaje) y relativos, como el propuesto por Galileo y seguido por William Herschel. En éste método se trata de detectar paralaje una estrella brillante (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 Piazzi había anotado en sus registros el muy alto movimiento propio de esta estrella, llamada la "estrella voladora". Para determinar su paralaje 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. 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 una 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.

Bessel no estuvo solo en esta empresa. Otros dos astrónomos midieron también una paralaje estelar: **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. Entre 1835 y 1838 observó Vega, logrando publicar en 1838 un paralaje para esta brillante estrella de  $0,26''$



Thomas Henderson, escocés nacido en Dundee, en lugar de un método diferencial 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, sobreestimándolo en 0,91 segundos de arco. 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"/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.

Las mediciones empezaron a tener una mejor consistencia y 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 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.

### **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.

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.