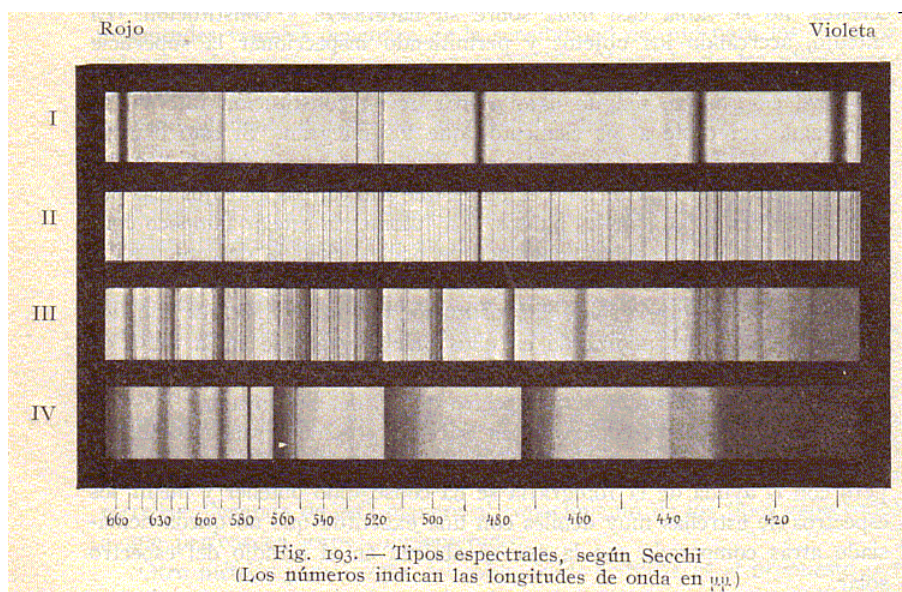


2.6. Clasificación Espectral: Secchi y Pickering.

2.6.1. Introducción:

Los grandes descubrimientos de Bunsen y Kirchhoff fueron aplicados a las observaciones astronómicas, por primera vez, por Angelo Secchi (1818-1878). Astrónomo jesuita del Colegio Romano (Specola Vaticana en Roma). Entre 1863 y 1867, antes de la introducción de la fotografía en astronomía, observó visualmente el espectro de 4.000 estrellas. En 1868 propuso un esquema de clasificación estelar en el cual la mayoría de las estrellas pueden ser agrupadas en 4 grandes tipos:

- I.- “Tipo Sirio”. Azules o blancas con 4 líneas de Hidrógeno: una en el rojo, otra en el verde y dos en el azul-violeta. Se observan además unas pocas líneas débiles.
- II.- Tipo Solar (Arturo, Capela y el Sol). Amarillas con muchas líneas angostas como el espectro de Fraunhofer. Líneas del Hidrógeno, metales ionizados y metales neutros.
- III.- Estrellas Naranjas y Rojas (Betelguese y Antares). Espectros con bandas anchas, que se superponen en un espectro que se hace más débil hacia el azul.
- IV.- Estrellas Rojas, parecidas a las de tipo 3 pero casi sin luz en el azul. Tienen bandas oscuras, diferentes a las de tipo 3. Muestran bandas que se debilitan hacia el violeta. Son muy poco abundantes. La mayoría de ellas son lo que hoy se conoce como estrellas de Carbono.



Secchi se dio cuenta que su secuencia tenía relación con la temperatura pero no indagó mayormente en la composición química de las estrellas.

En 1860 Kirchhoff había identificado Sodio, Calcio, Magnesio, Hierro, Cromo, Níquel, Bario, Cobre y Zinc en el espectro solar.

Kirchhoff y Bunsen descubrieron el Cesio en 1861 y el Rubidio en 1862, a partir de su identificación espectral.

2.6.2 William Huggins (1824-1910):

William Huggins había cambiado el estudio de la fisiología por el del cielo. En 1858 compró un refractor de 8 pulgadas (20 centímetros) de Alvan Clark en Estados Unidos. Construyó su observatorio en el patio de su casa en Tulse-Hill, cerca de Londres.

Huggins buscaba una nueva manera de mirar el cielo cuando se enteró del descubrimiento de Kirchhoff. De inmediato reconoció sus posibilidades para la astronomía sideral. *“El desciframiento de la líneas fraunhoferianas – escribió más tarde – es la llave que abrirá al hombre una puerta que se creyó clausurada para siempre”.*

Transformó su telescopio en una extensión de su laboratorio.

En 1863 estudió los espectros de las brillantes Betelgeuse y Aldebarán. Comprobó que en ambas había Sodio, Hierro y Calcio.

En 1864 descubrió el espectro de líneas de emisión de la nebulosa planetaria de la constelación de Draco (el Dragón). Descubrió tres líneas brillantes, una de las cuales corresponde al Hidrógeno. Se convenció que se trataba de una nebulosa gaseosa. La controversia acerca de la naturaleza de las nebulosas, en la cual Herschel había aportado mucho quedaba ahora resuelta: algunas nebulosas eran irresolubles, de naturaleza gaseosa.

Huggins encontró líneas de hidrocarburos en las atmósferas planetarias. También observó espectros de cometas. En estos bellos astros el italiano Giovan Battista Donati (1826-1873) se le adelantó, pues fue el primero en estudiar espectros de cometas en 1864.

La más notable hazaña de Huggins fue la de medir la velocidad radial de una estrella.

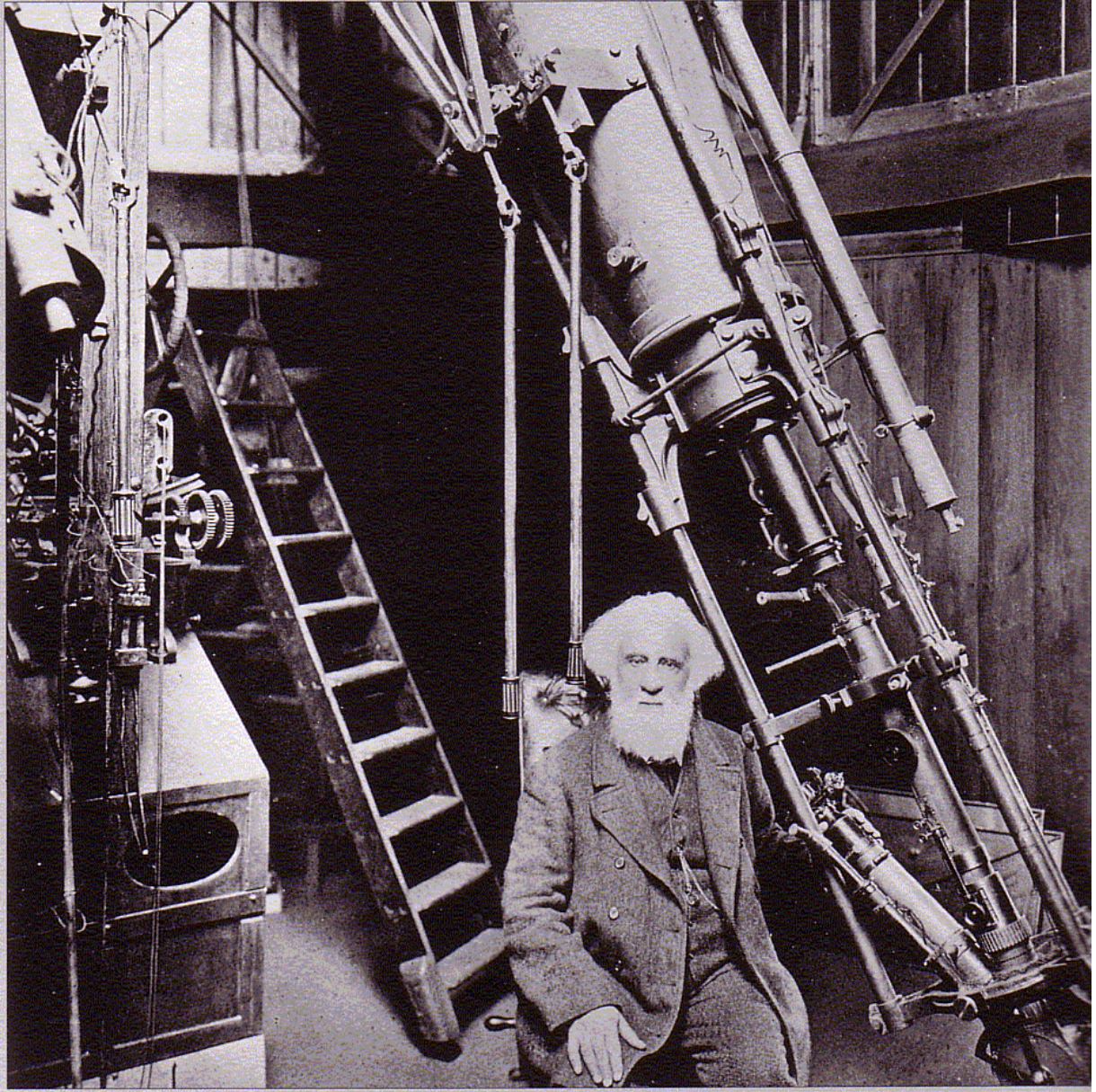
Christian Doppler (1803-1853) físico austríaco, descubrió en 1842 que la altura de una nota (su frecuencia) se altera según el movimiento relativo entre el observador y la fuente. Pensó que esto también se aplicaba a la luz.

William Huggins

William Huggins was born in London on 7 February 1824, and as a young man was forced by circumstances to devote himself to the family business. But in 1854 he succeeded in divesting himself of the business, so that he could indulge his passion for astronomy.

On learning of Gustav Kirchhoff's 1859 discovery that the chemical composition of the Sun was revealed by its spectrum, he instantly realized that the method could be applied to the stars and nebulae, and he formed a collaboration for

this purpose with W. A. Miller, a professor of chemistry. In 1875 he married, and thereafter his young wife Margaret was his devoted partner in his researches. Huggins (seen here at the spectroscope attached to the 15-inch refractor lent him by the Royal Society) quickly became a world leader in the 'new astronomy', and was a pioneer in the field until failing health forced him to give up research in 1908. He died on 1 May 1910 at his home at Tulse Hill, south of London.



El físico francés H. Fizeau (1819-1896) en 1848 señaló que las rayas oscuras de Fraunhofer podrían servir de marcas fiduciales para ver desplazamientos al rojo o al azul.

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_o} = \frac{v}{c} = z$$

Efecto Doppler relativista:

$$1 + z = \frac{\lambda}{\lambda_o} = \sqrt{\frac{1 + v/c}{1 - v/c}}$$

v/c	Z
0,001	0,001
0,1	0,105
0,5	0,732
0,6	1,000
0,7	1,380
0,8	2,000
0,85	2,512
0,86	2,645
0,87	2,793
0,88	2,958
0,89	3,145
0,90	3,359
0,91	3,607
0,92	3,899
0,93	4,251
0,94	4,686
0,95	5,245
0,96	6,000
0,97	7,103

Si $v/c \rightarrow 1$ entonces $z \rightarrow \infty$

El cuasar más distante que se conoce hoy en el Universo (septiembre de 2004) tiene un corrimiento al rojo de 6,4 equivalente a v/c 96,4%

Huggins en 1868 midió la velocidad radial de Sirio, determinando 47 km/seg

Si $v = 47 \text{ km/seg}$ ¿cuanto es $\Delta\lambda$?

Para la línea H alfa de la serie de Balmer del Hidrógeno su longitud de onda en reposo es de 6.563 Angstroms

$$\Delta\lambda/6563 = 47/300.000$$

$$\Delta\lambda = 6563 * 0,00016$$

$$\Delta\lambda = 1 \text{ \AA}$$

Con un espectroscopio es muy difícil medir, con el ojo, un desplazamiento de esa cuantía.

La espectroscopía estelar tuvo un gran impulso con la introducción de la placa fotográfica en astronomía. Por primera vez los astrónomos dispusieron de un medio objetivo para registrar el cielo. El espectro de una estrella es fotografiado con una dispersión de 5 a 10 micras por Angstrom. Ahí se puede medir un conjunto de líneas, cada una con una precisión de una pocas micras y se logra determinar velocidades radiales, con errores de unos pocos kilómetros por segundo. Los espectrógrafos deben ser muy bien diseñados para que se puedan lograr altas precisiones en las mediciones de longitudes de onda.

El astrónomo inglés Joseph Norman Lockyer (1836-1920), en 1887 amplía la clasificación de Secchi.

El alemán Herman Vogel (1841-1907) mejoró las ideas de Lockyer en 1894 introduciendo ideas de evolución estelar.

Lockyer en 1868 observó el espectro de una protuberancia del Sol. Ese mismo año observó la cromósfera solar y vio una línea de absorción que no correspondía a ningún elemento terrestre; lo llamó **Helio**. En 1895 William Ramsey descubre el Helio en la Tierra.

Los astrónomos franceses Wolf y Rayet, en 1868, descubrieron un tipo especial de estrellas, con espectros muy azules y con líneas de emisión. Estas estrellas se conocen hasta hoy como estrellas Wolf-Rayet, o estrellas WR.

Las primeras ideas evolutivas hablaban de un enfriamiento progresivo de las estrellas. Lockyer propuso una teoría donde las estrellas nacen frías, se condensan con lo cual se calientan para luego irse enfriando.

2.6.3. Clasificación de Harvard:



Figure 24.1 Henry Draper (1837–82).

En 1871 Henry Draper introduce la fotografía al estudio del cielo y a la espectroscopía. A la muerte de Henry Draper, acaudalado médico en Nueva York, en 1882, su viuda donó dinero a la Universidad de Harvard para que se continuara con la obra de su marido. Estos estudios los continuó y amplió Edward Charles Pickering (1846-1919) en la Universidad de Harvard. Agregó a la fotografía el uso del prisma objetivo (prisma delgado, de un ángulo de unos pocos grados, del tamaño del objetivo del telescopio y que se pone delante de él). Inició una clasificación espectroscópica de estrellas basada en fotografías. Contó con la colaboración de Williamina P. Fleming (1857-1910), Antonia Maury (1866-1952) y Annie Jump Cannon (1863-1941).

El trabajo de Harvard en espectros estelares se plasmó en el “*Henry Draper Catalogue*”, publicado entre 1918 y 1924 contiene 225.000 estrellas; esta obra es un mérito de la tenacidad de Annie Cannon.

FIGURE 15.4 Women astronomers pose with Edward Pickering at Harvard College Observatory in 1913. Annie Jump Cannon is fifth from the left in the back row.



Inicialmente Draper introdujo 16 tipos espectrales en reemplazo de los 4 de Secchi. Fueron designados por las letras del alfabeto: A, B, C, D, E, F,..... La secuencia pretendía ser una de temperaturas decrecientes. Al ordenar las líneas de modo que su intensidad fuese cambiando suavemente de un tipo a otro, se vio que el orden debía ser alterado. Los tipos espectrales se ordenan por temperatura decreciente resultan: **O, B, A, F, G, K, M, R, N, S** (Oh, **B**e **A** Fine **G**irl, **K**iss **M**e, **R**ight **N**ow **S**weetheart; este versito nemotécnico se debe a Russell, gran astrónomo norteamericano de comienzos del siglo XX).

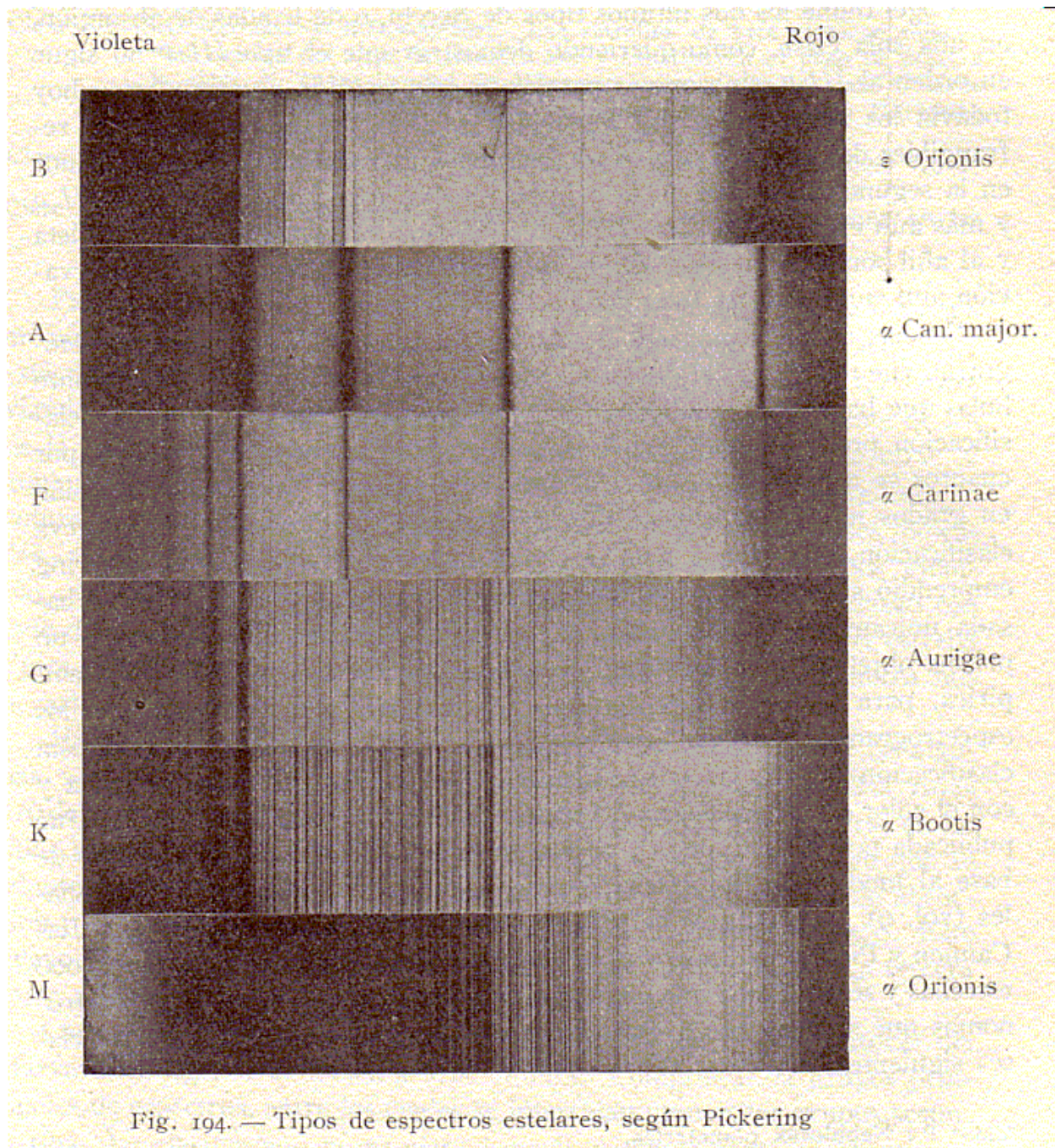


Fig. 194. — Tipos de espectros estelares, según Pickering

Los tipos R, N y S son estrellas muy frías, con peculiaridades; en verdad constituyen una variante de las estrellas de tipo M. Se puede decir que los actuales tipos espectrales empiezan en las estrellas O, con temperaturas fotosféricas de 50.000 K, y termina en las M con temperaturas de 2.500 K. Las estrellas Wolf-Rayet son muy similares a las estrellas O (en cuanto a temperatura) pero tienen líneas de emisión. La secuencia de tipos espectrales podemos ponerla finalmente como **(WR), O, B, A, F, G, K, M (R, N, S)**

Cada tipo espectral se divide en 10 sub-classes: A0, A1, A2, A3, ..., A9
El Sol en la clasificación actual es una G2.



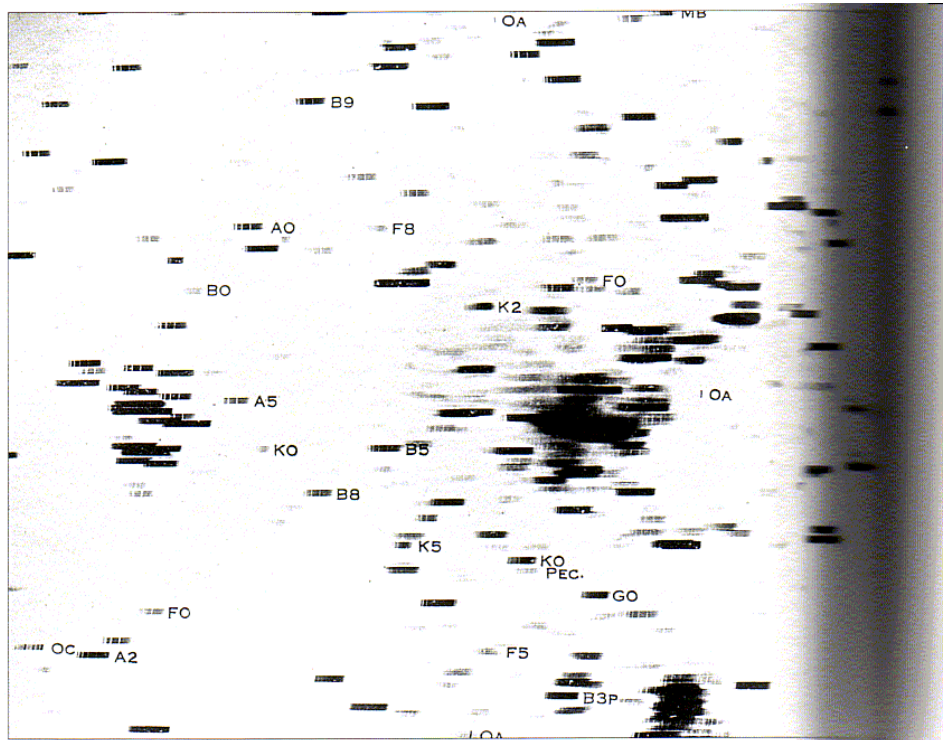
Meeting of the Astronomical and Astrophysical Society of America, Pittsburgh, Pa., August 1912; the occasion on which Shapley (*extreme left*) delivered his first paper. E. C. Pickering, Shapley's predecessor as director of Harvard College Observatory, and at that time president of the Society, is in the center of the front row. Second to the right from Pickering is Annie J. Cannon and next right is Margaret Harwood, both of HCO. Dr. Adrian van Maanen (with bow tie), later a colleague of Shapley's at Mount Wilson Observatory, is behind Pickering, and Raymond S. Dugan of the Princeton Astronomy Department is to the right behind Miss Harwood.

Antonia Maury propuso un sistema distinto que no tuvo aceptación, basado en 24 tipos espectrales. Ella notó además que algunas estrellas azules tenían líneas de absorción de diferentes anchos; llamó *a* a las de líneas anchas, *b* a las muy anchas y *c* a las de líneas angostas. Posteriormente se ha comprobado que el ancho de las líneas tiene relación con la gravedad superficial de la estrellas.

A team of women at the Harvard College Observatory engaged in the classification of stars. In the late 1880s, E. C. Pickering, the director (left), employed upwards of fifteen women at a time, under the leadership of Williamina Fleming (seen standing), remembered as a strict disciplinarian. The resulting first Draper catalogue, published in 1890, listed the spectral types and magnitudes of over 10,000 stars.



A typical photograph used in the preparation of the monumental Henry Draper Catalogue. The photographs were mostly taken with cameras of 8 inches aperture, through prisms of either 5° or 13° angle. This one was taken at the southern outstation in Arequipa, Peru, and is of a region of sky around the variable star Eta Carinae. Some of the spectral types have been labelled for this to appear as the frontispiece to the last volume of the main Catalogue, published in 1924.



En 1905 el astrónomo danés Ejnar Hertzsprung (1873-1967) notó que entre las estrellas rojas había algunas muy brillantes y otras muy poco luminosas; él las llamó respectivamente estrellas gigantes y estrellas enanas. La luminosidad de una estrella (su brillo intrínseco) depende de su radio y de su temperatura superficial mediante la fórmula:

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4$$

Dos estrellas, si tienen la misma temperatura, tienen luminosidades proporcionales al cuadrado de sus radios. Entre las estrellas luminosas de Hertzsprung y las poco luminosas hay un factor 10^4 en brillo por lo tanto deben tener sus radio un factor 100 diferentes.



Henry Norris Russell

Henry Norris Russell was born in Oyster Bay, New York, on 25 October 1877. He studied astronomy at Princeton, and then was a research assistant at Cambridge. In 1905 he became instructor in astronomy at Princeton, being promoted professor in 1911; the following year he was appointed director of the observatory, a position he held until his retirement in 1947.

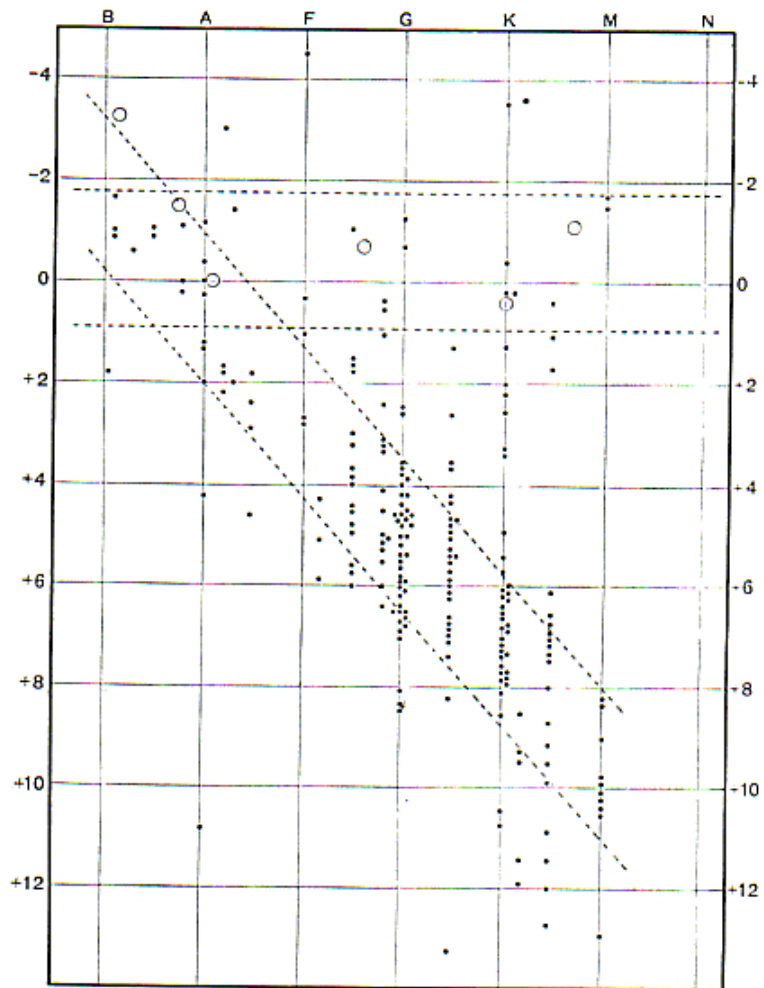
Despite indifferent health, Russell was an indefatigable researcher, and his interests ranged over several major fields of astrophysics. He was a brilliant communicator, who could be relied upon for a challenging, if not always correct, response to any new idea. Only G.E. Hale had comparable influence on the American astronomical community.

After retirement, Russell held research appointments at Lick and Harvard. He died in Princeton on 18 February 1957.

kinds of stars that can exist. There were two main bands populated by stars. One became known as the Main Sequence; it sloped down from highly luminous

En 1913 el astrónomo norteamericano Henry Norris Russell (1877-1957) graficó la luminosidad intrínseca de las estrellas versus el tipo espectral de Harvard y se dio cuenta que la mayoría de las estrellas se ubican en el diagrama en una franja diagonal que va desde las más luminosas de tipo O y B hasta las menos luminosas de tipo M. Una pocas estrellas se ubican en la parte superior del diagrama, que corresponde a estrellas muy luminosas. Estas últimas corresponden a las gigantes de Hertzsprung. Las otras son las enanas. Las estrellas que Antonia Maury les puso una *c* resultan ser estrellas súper gigantes, estrellas que están por encima de las gigantes de Hertzsprung.

Figure 31.3 In Eddington's carefully redrawn version of Russell's first diagram, the original's various levels of reliability indicated for the plotted points are no longer distinguished, and horizontal dashed lines have been added to emphasize the giant branch. The large circles represent mean values for bright stars of small proper motions and parallax.



El diagrama de luminosidades absolutas y tipos espectrales o magnitudes absolutas y color, se conoce como diagrama de Hertzsprung-Russell, o simplemente diagrama H-R. Ha resultado ser una excelente herramienta para analizar las propiedades globales de poblaciones estelares. Las primeras ideas acerca de la evolución de las estrellas, adelantadas por Lockyer y Vogel en Alemania, donde se creía que las estrellas jóvenes eran calientes y las estrellas frías eran viejas, han resultado ser erróneas. Sin embargo el diagrama de Hertzsprung-Russell ha permitido comprender la evolución de las estrellas de diferentes masas. Las estrellas, al nacer son azules o rojas dependiendo de su masa: las estrellas masivas son azules, las de baja masa son rojas. La evolución posterior de las estrellas las transforma en gigantes rojas y todas terminan como un remanente compacto: una enana blanca en el caso del Sol y estrellas de masas menores que el Sol; una estrella de neutrones para progenitores de masas intermedias y hoyos negros para estrellas masiva.

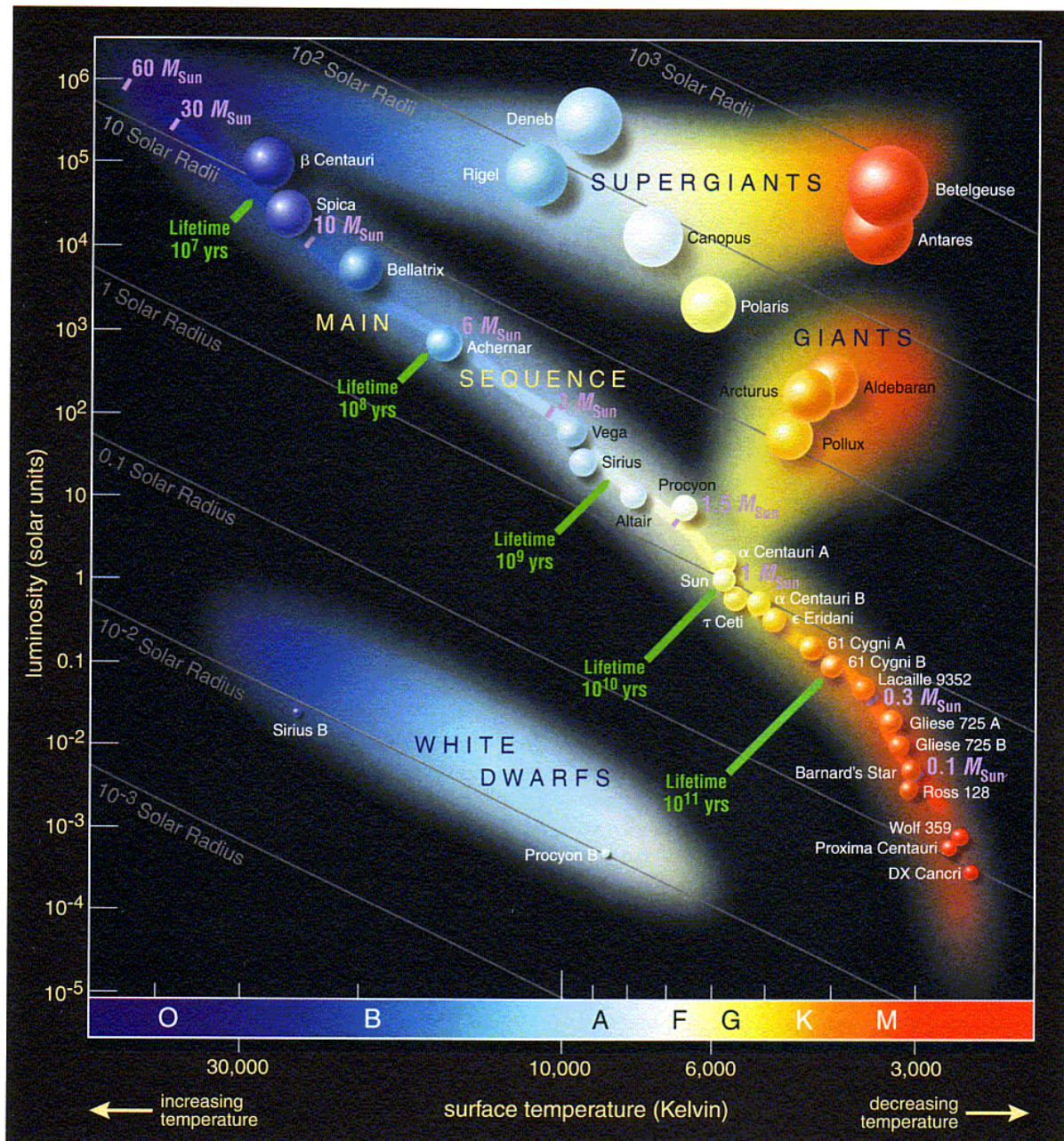


FIGURE 15.9 An H–R diagram, one of astronomy’s most important tools, shows how the surface temperatures of stars (plotted along the horizontal axis) relate to their luminosities (plotted along the vertical axis). Several of the brightest stars in the sky are plotted here, along with a few of the closest to Earth. They are not drawn to scale—the diagonal lines, labeled in solar radii, indicate how large they are compared to the Sun. The lifetime and mass labels apply only to main-sequence stars (see Figure 15.10). (Star positions on this diagram are based on data from the Hipparcos satellite.)

Bibliografía:

Berry, A. "*A Short History of Astronomy*", Dover, N. York, 1961; pp.320-353.

Crowe, M.J. "*Modern Theories of the Universe, from Herschel to Hubble*",
Dover, N. York, 1994.

Papp, D. Y Babini, J. "*Panorama General de la Historia de la Ciencia*", Vol. X;
B. Aires, 1964; pp 96-110

Pannekoek, A. "*A History of Astronomy*", Dover, N. York, 1989.

"*The Cambridge Concise History of Astronomy*", M. Hoskin (Ed.), Cambridge
University Press, Cambridge, 1999.