

Henry Norris Russell

El siguiente artículo –que el grupo de **Astrofísica de cúmulos abiertos de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas** tiene el placer de poner a disposición de los estudiantes de Astronomía de esta casa y de cualquier otra persona interesada en el desarrollo de esta ciencia– apareció en *The Observatory*, volumen 36, páginas 324-329, del año 1913, y es la versión escrita de un discurso pronunciado por H. N. Russell el 13 de junio de 1913 en el encuentro correspondiente de la Royal Astronomical Society. Lo hemos traducido en la convicción de que, como lectura clásica fundamental, muestra muy claramente el maravilloso derrotero de la investigación científica



Figura 1: Henry Norris Russell nació el 25 de octubre de 1877, en Oyster Bay, Nueva York, U.S. y murió el 18 de febrero de 1957 en Princeton, Nueva Jersey.

Estrellas gigantes y enanas

19 de julio de 2004

Estamos trabajando en Princeton en varias líneas -en determinaciones fotográficas de la posición de la Luna, y en variables eclipsantes -observacional y teóricamente; pero desearía hablar ahora sobre nuevos estudios sobre la evolución estelar, comenzando con la relación entre los tipos espectrales de las estrellas y sus brillos reales. [ver Figura 1¹]. Este “slide” representa gráficamente la relación entre la magnitud absoluta y el espectro para todas las estrellas de las cuales se han obtenido paralajes confiables hasta ahora. Yo he agregado un número de determinaciones recientes de las dadas en la lista de Kapteyn y Weersma, y he sido bastante liberal en mi definición de una “paralaje confiable”. Para la determinación de muchos de los espectros estoy en deuda con el profesor Pickering y la señorita Cannon. La coordenada vertical da los espectros, y la horizontal la magnitud absoluta de acuerdo a la definición de Kapteyn, es decir, la magnitud que una estrella parecería tener si se la mueve a una distancia tal que su paralaje fuera de $0'',10$.

Es conspicuo que una esquina del diagrama está vacía (excepto por una estrella cuyo espectro es muy dudoso). No parece haber estrellas enanas blancas. Todas las estrellas muy débiles (digamos cincuenta veces más débiles que el Sol) son muy rojas, al menos tan rojas como las de clase K, mientras que la mayoría de ellas son K5 o M, y todas las estrellas de las clases A y B, especialmente esta última, son varias veces más brillantes que el Sol.

Por otra parte, las proposiciones inversas no son verdaderas; no hay duda en absoluto que existen muchas estrellas rojas muy brillantes (tales como Arcturus, Aldebarán, Antares, etc). Estas son tan brillantes que podemos verlas a enormes distancias, de modo que tenemos un montón de ellas entre las de las tres primeras magnitudes, con pequeños movimientos propios. Las paralajes de una buena cantidad de ellas han sido observadas con más que baja precisión individual; pero tomando magnitudes y paralajes medias para las estrellas de cada clase espectral, podemos obtener muy buenos valores medios de sus brillos reales. Los puntos correspondientes están dibujados como círculos grandes en el diagrama, y muestran que estas estrellas tienen aproximadamente el mismo brillo promedio (digamos 80 veces el del Sol) cualquiera sea su tipo de espectro.

¹En el artículo original no aparece ninguna figura. Se hace mención a lo que hoy llamamos diapositivas. Las figuras que se muestran a lo largo de todo este artículo fueron extraídas del siguiente artículo de Russell que aparecería en 1914 en “Popular astronomy”, Vol 22, pag. 275, del año 1914. Las mostramos aquí porque corresponden exactamente con las descripciones que Russell hace de ellas. Concluimos, por lo tanto, que se trata de las mismas figuras.

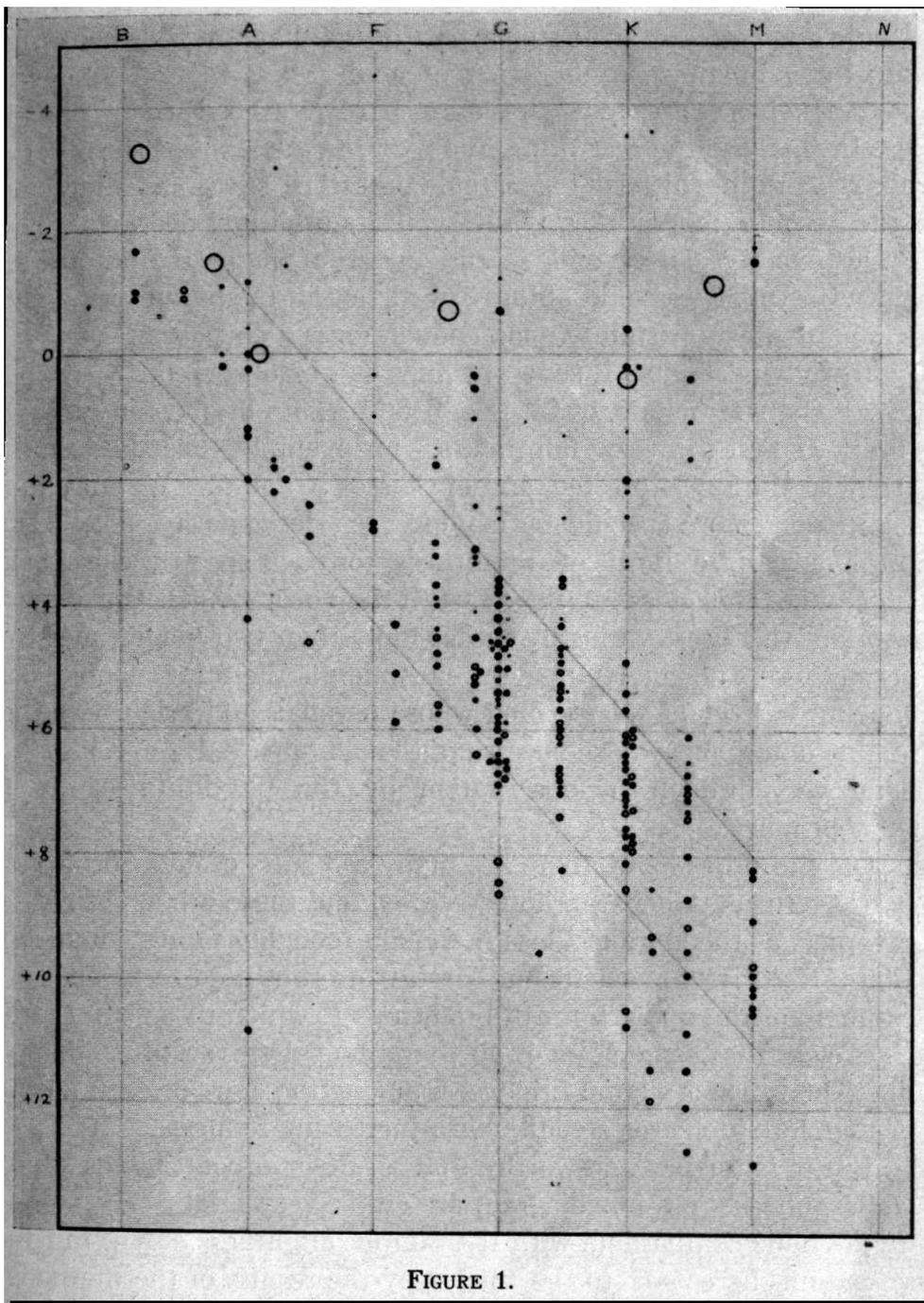


Figura 2: En abscisas se indica la clase espectral y en ordenadas las magnitudes absolutas. Los puntos grandes corresponden a estrellas cuyas paralajes tienen errores calculados de paralajes menores del 42% de la paralaje misma, de modo que el error probable de la magnitud absoluta es menor que 1 magnitud. Los puntos más pequeños corresponden a estrellas cuyas paralajes son de pobre calidad. Los círculos abiertos grandes representan las "medias" de varias estrellas agrupadas

El rango de brillo real de las estrellas de un tipo espectral dado crece suavemente a medida que crece el enrojecimiento desde B hasta M, por casi dos magnitudes para cada clase.

Más que esto, entre las estrellas más rojas (K y M) hay una separación distinta entre dos grupos. No parece haber estrellas de clase M que sean bastante comparables con el Sol en brillo -ellas son o mucho más brillantes o mucho más débiles. Más de 100 estrellas de gran movimiento propio han sido investigadas sin ningún conocimiento de sus espectros, y se encontró después, cuando fueron investigados los espectros, que todas aquellas que tenían aproximadamente la luminosidad del Sol eran similares al Sol en su espectro, de modo que parece bastante cierto que la ausencia de estrellas de espectro M, similar en brillo al Sol, no puede ser el resultado de un proceso de selección, sino que debe ser un fenómeno real.

Parece por lo tanto haber dos series de estrellas, una muy brillante y de casi el mismo brillo, cualquiera sea el espectro, la otra disminuye rápidamente en brillo a medida que se enrojecen. Las estrellas de clase B pueden ser vista igualmente como pertenecientes a cualquiera de las series entremezcladas para la clase A y están probablemente no separadas en clase F. Estas series fueron notadas por Dr. Hertzsprung, de Postdam, que las llamó estrellas “gigantes” y “enanas”. Todo lo que yo he hecho en este diagrama es usar un material observacional más extenso. Las estrellas enanas, en promedio, son un poco más de dos magnitudes más débiles para cada clase espectral que para la que la precede en la clasificación de Harvard (siendo el Sol muy aproximadamente de clase G). A partir de sólo esta relación encontramos (permitiendo incertezas en las paralajes observadas) que uno puede predecir el brillo real de una estrella enana a partir de conocer su espectro solo, con un error de aproximadamente tres cuartos de magnitud. No podemos encontrar la cantidad correspondiente para las estrellas brillantes; sus paralajes son demasiado pequeñas.

Para chequear todo esto, el segundo diagrama muestra la relación entre la magnitud y el espectro para todas las estrellas pertenecientes a cuatro cúmulos móviles cuyas distancias han sido determinadas hasta ahora por comparación de velocidades radiales y movimientos propios convergentes -las Hyades, el grupo de Ursa Major, el grupo 61 Cygni de Mr. Boss, y el notorio grupo en Scorpius descubierto independientemente por Kapteyn, Boss y Eddington. Las estrellas de los diferentes grupos están distinguidas con signos diferentes en el diagrama. Es claro que la mayoría de las estrellas en los grupos son “estrellas enanas” y que, exactamente como en el caso previo, se mantiene la misma relación entre brillo y espectro. Unas pocas estrellas de gran brillo muy rojas, tales como gamma y delta Tauri en las Hyades y Antares en Scorpio (que es 2500 veces más brillante que el Sol), claramente pertenecen a la serie de estrellas gigantes.

Los círculos grandes y las cruces representan los resultados de Boss, Campbell y Kapteyn, derivados de movimientos paralácticos y velocidades radiales de un gran número de estrellas a ojo desnudo. Ustedes pueden ver que parece haber una gran discordancia. No tengo tiempo para entrar en esto tanto como desearía, pero puedo decir que Boss usa solamente los movimientos propios pequeños, Campbell los pequeños y de tamaño medio y Kapteyn usa todos incluyendo los más grandes. Todas las estrellas enanas de clase M son invisibles a ojo desnudo (aunque una de

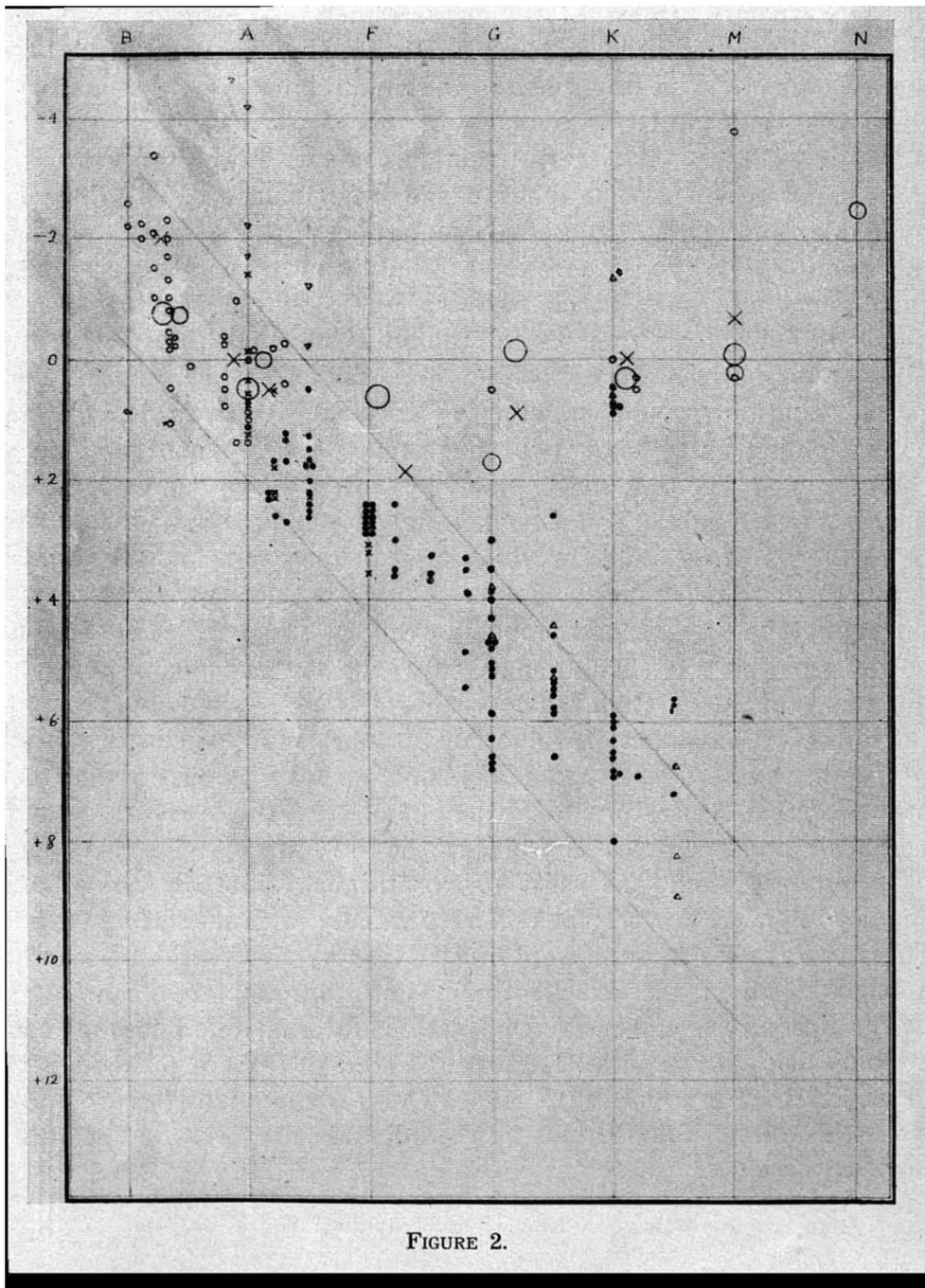


Figura 3: Coordenadas iguales a la Fig. 1. En este caso se representan los datos para cuatro grupos estelares bien definidos: Hyades están representados con puntos. Los círculos pequeños abiertos corresponden a estrellas del grupo de Escorpio. Las cruces identifican a las estrellas de Ursa Major y los triángulos al grupo de 61 Cygni. Los círculos grandes y las cruces representan los resultados de Boss, Campbell y Kapteyn, derivados de movimientos paralácticos y velocidades radiales de un gran número de estrellas, a ojo desnudo

ellas es la segunda estrella más cercanas en los cielos), de modo que todos los resultados se refieren a estrellas gigantes solamente y acuerdan muy bien. Unas pocas estrellas enanas de clase K cercanas a nosotros, son visibles, pero todas ellas tienen grandes movimientos propios y están excluidas tanto por Boss como por Campbell cuyos resultados acuerdan otra vez, representando las estrellas gigantes. Muchas estrellas enanas de clase G son visibles a ojo desnudo (ya que las podemos ver más lejos). Algunas de ellas tienen grandes movimientos propios y algunas movimientos propios medianos, sin embargo ninguna tiene movimientos propios pequeños. Por lo tanto, Boss tiene estrellas gigantes solamente, Campbell tiene una mezcla de los dos, promediando a más débiles y Kapteyn una mezcla con más estrellas enanas, obteniendo un promedio todavía más débil.

Ahora tengo que pasar a la siguiente diapositiva, ya que no hay casi tiempo para las explicaciones y calificaciones que desearía hacer.

Tenemos que explicar ahora la existencia de estos dos tipos de estrellas rojas. La magnitud absoluta de cualquier estrella puede ser vista como función de su masa, su densidad y su brillo superficial.

Podemos eliminar la masa en el caso de las estrellas dobles. Si conocemos la paralaje podemos, por supuesto, encontrar su masa real. Es importante remarcar que las masas de estas binarias visuales cuyas paralajes están bien determinadas muestran un rango remarcablemente pequeño (desde alrededor de 8 masas solares hasta aproximadamente 0.7, incluyendo todos los efectos de errores de paralajes). Las binarias espectroscópicas nos dan pocas chances de sistemas con 20 o a lo sumo 35 veces la masa del Sol, aunque no he sido jamás capaz de encontrar una estrella con masa menor que alrededor un cuarto de masa solar. Las excepciones aparentes, en los casos en que fueron encontradas, han sido siempre debidas a malos paralajes u otros errores, algunas veces muy curiosos. Finalmente, Ludendorff ha mostrado que las estrellas de clase B son indudablemente considerablemente más masivas que la muestra general de las otras.

Más importante para nuestro propósito inmediato es el hecho que, para cualquier binaria visual para la cual conocemos la órbita, podemos suponer que la masa sea del orden de la del Sol y computar una paralaje hipotética (como hizo Doberck), la cual será usualmente muy cercana a la verdadera. Para nosotros en el presente esta hipotética paralaje es mejor que la verdadera, porque si calculamos el brillo aparente con su ayuda tenemos un set de datos similares a nuestros previos pero con las diferencias de masas, cualquiera que puedan ser ellas, eliminadas, de modo que los resultados dependen ahora del brillo superficial y la densidad solamente. El número de sistemas para los cuales se computaron las órbitas son pequeños, pero por un proceso estadístico es posible usar todas las estrellas dobles físicamente conectadas conocidas, no obstante sus lentos movimientos relativos. Si vemos la órbita de plano, y es un círculo, podríamos tener que conocer solamente la distancia y las distancia y velocidad relativas de las estrellas para computar todo lo que queremos. Las distancia y velocidades reales están disminuidas al acortarse por proyección en diferentes cantidades para diferentes estrellas. Pero es una sencilla pieza de análisis encontrar el efecto promedio de esto (y de la probable excentricidad de la órbita), y descubrir también cuántos casos habrá fuera de unos miles en los cuales nuestra suposición de la relación promedio llevará a un error de una magnitud dada. Encon-

tramos que el proceso estadístico da la magnitud absoluta con un error promedio de solamente media magnitud. Podemos ahora usar muchos sistemas cuyos períodos pueden ser muchos miles de años de modo que tenemos en total 550 estrellas en nuestro diagrama en el cual los datos se refieren a la componente más brillante de cada par.

La siguiente diapositiva [Figura 3] muestra la misma vieja serie de estrellas gigantes y enanas aún más claramente que antes, teniendo en cuenta el mayor número de estrellas. Todas las relaciones previas se reproducen con remarcable exactitud.

Podemos concluir por lo tanto que las diferencias entre las estrellas gigantes y enanas no provienen de las diferencias de masa. Las estrellas gigantes pueden tener o baja densidad o gran brillo superficial, siendo lo contrario válido para las estrellas enanas.

Para ir más lejos, tenemos que estudiar las variables eclipsantes -las únicas estrellas cuyas densidades pueden determinarse directamente. En los últimos uno o dos años el señor Shapley y yo hemos calculado órbitas para 87 de estas estrellas. El siguiente slide [Figura 4] muestra qué distribución de magnitudes absolutas podríamos tener entre estas estrellas debido a las diferencias de densidad solamente si todas ellas tuvieran la misma masa y brillo superficial que el Sol.

La mayoría de estas estrellas son de clase A, aunque hay un buen número de estrella B y casi tantas como las que hay de F a M.

Las estrellas del primer tipo son muy parecidas en densidad, mientras que aquellas del segundo tipo muestran un rango mucho más ancho y parecen evitar justo esas densidades (entre 0.02 y 0.2 veces la del Sol) que son fuertemente favorecidas por estrellas del primer tipo.

Al comparar este diagrama con el último encontramos que las estrellas de clase A, si tuvieran la misma masa y brillo superficial que el Sol, serían de magnitud absoluta 3.0, mientras que si fueran de la misma masa que el Sol pero con su propio brillo superficial, ellas serían de magnitud absoluta 1.0. De ahí que estas estrellas, a igual superficie, son en promedio dos magnitudes más brillantes que el Sol. De manera similar encontramos que el brillo superficial de las estrellas de clase B excede aquel del Sol por 3.5 magnitudes y aquellas de clase F por una magnitud.

La gran brillantez de las estrellas gigantes de clases G y K pueden ser completamente explicadas al suponer que tienen densidades iguales a aquellas de las variables eclipsantes de espectros similares con brillo superficial incluso menor que el del Sol.

Las estrellas muy débiles de espectros K5 y M, aunque fueran tan densas como el platino tienen que ser casi tres magnitudes más débiles, superficie a superficie, que el Sol. Vemos entonces que la serie de las estrellas enanas es una serie de densidades lentamente crecientes de B a M, mientras que entre las estrellas gigantes la densidad puede decrecer muy rápidamente desde B a M o crecer de M a B.

Como casi todo el mundo estará de acuerdo que una estrella se contrae a medida que envejece, esto nos lleva a suponer que las estrellas gigantes de clase M representan un estadio muy temprano de evolución, las otras estrellas gigantes estadios más tardíos de acuerdo con su blancura, la clase B un estado de evolución media, y las estrellas enanas estadios más tardíos terminando en las más débiles y enrojecidas de ellas.

Todo esto está en completo acuerdo con las teorías de Lane y Ritter y con la

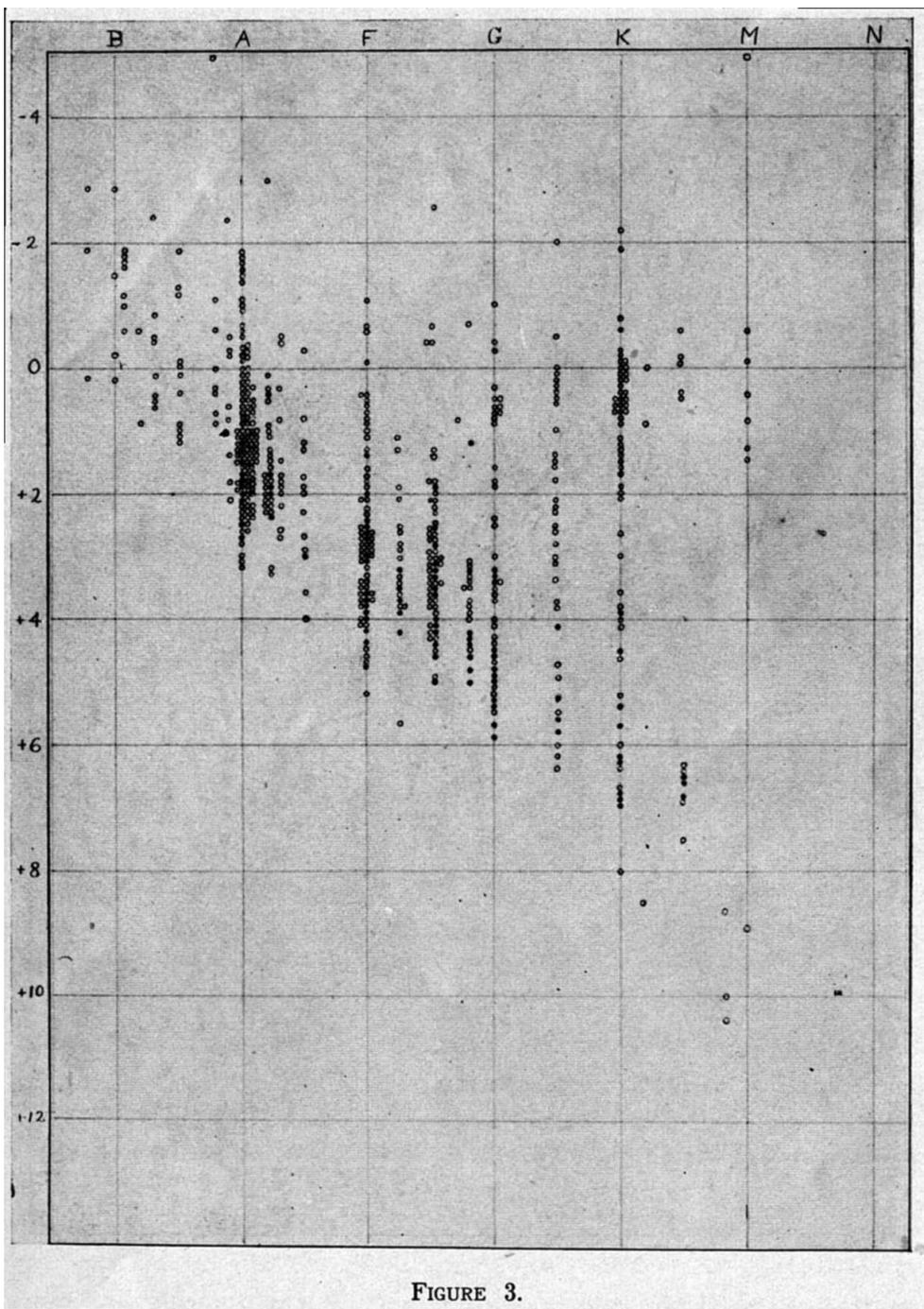


FIGURE 3.

Figura 4: Las coordenadas son iguales a las de las figuras anteriores. Los puntos son binarias con órbitas computadas. Los círculos abiertos son pares físicos tratados estadísticamente

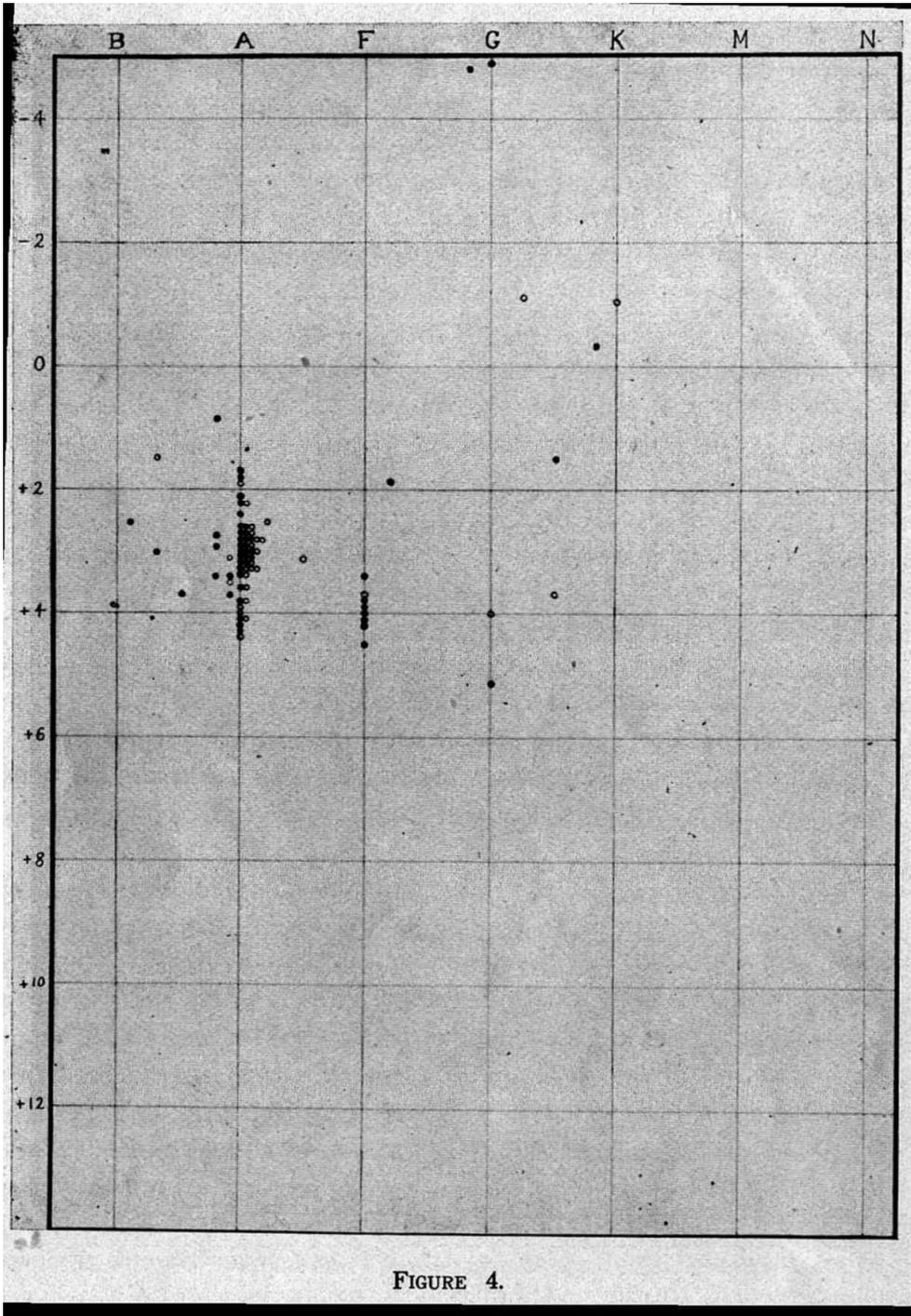


FIGURE 4.

Figura 5: Las coordenadas se mantienen iguales a la figura anterior pero los puntos corresponden ahora a los resultados para 80 variables eclipsantes cuyos elementos y espectros son conocidos. Los círculos abiertos corresponden a medidas fotométricas de baja precisión y los círculos cerrados corresponden a estrellas con datos fotométricos precisos

concepción de Sir Norman Lockyer sobre estrellas de temperatura creciente y decreciente (aunque los criterios para distinguir entre ellas son completamente diferentes de los de Lockyer). Una masa de gas en equilibrio bajo su propia gravitación y radiación debe, como es bien conocido, calentarse a medida que se contrae, con tal que se mantenga el mismo modelo y la densidad sea lo bastante baja como para que las simples "leyes de los gases" se mantengan. A mayores densidades la masa se vuelve menos compresible, la temperatura se eleva más lentamente, alcanza un máximo y finalmente se cae. Lord Kelvin hace algunos años estimó que la temperatura máxima sería alcanzada cuando la densidad central fuera un décimo de la del agua.

Una masa de gas tal cuando empieza a brillar sería roja y de bajo brillo superficial pero de muy baja densidad y gran superficie de modo que su emisión total de luz sería grande. A medida que se contrae se empequeñece, se calienta, se vuelve más blanca y crece en brillo superficial de modo que su emisión de luz no cambiaría mucho. Pero después de alcanzar su temperatura máxima se enfriará, se enrojecerá y deslucirá a medida que se empequeñece y entonces perderá su brillo muy rápidamente. Estas características son exactamente aquellas de las estrellas enanas mientras las estrellas gigantes ajustan igualmente bien la conducta teórica de las estrellas de temperatura creciente. Un test crucial de la teoría es que las densidades reales de las estrellas de clases A y B que son casi ciertamente las más calientes, sean casi del mismo orden de magnitud al cual lord Kelvin predijo que la temperatura debería tener un máximo.

Como un ejemplo más de cómo esta teoría explica aparentemente hechos no relacionados tomemos las masas de las estrellas. Solamente cuerpos de masa inusualmente grande deberían alcanzar las más altas temperaturas de modo que no es sorprendente que las estrellas más calientes (clase B) son estrellas inusualmente masivas. Una vez más, un cuerpo de masa muy pequeña sería un muy pobre "autocálido" amorío (como dijo uno de mis ayudantes una vez); y esto da una razón de la rareza (en verdad la ausencia aparente) de estrellas de muy baja masa –tales cuerpos nunca se calentarán lo bastante para brillar en alguna cantidad.

El hecho de que Jupiter y Saturno, aunque comparables en densidad con un número de estrellas, sean cuerpos negros confirma esta explicación.

En conclusión, permítaseme decir que yo espero que alguno que tenga alguna crítica que hacer me haga el favor de decírmela, y gracias a ustedes por la atención a este apresurado relato de cosas que yo espero estén en prensa el próximo año.

H.N. Rusell

Traducción Rubén A. Vázquez

Russell: Traducción, revisada, 2004,18,7