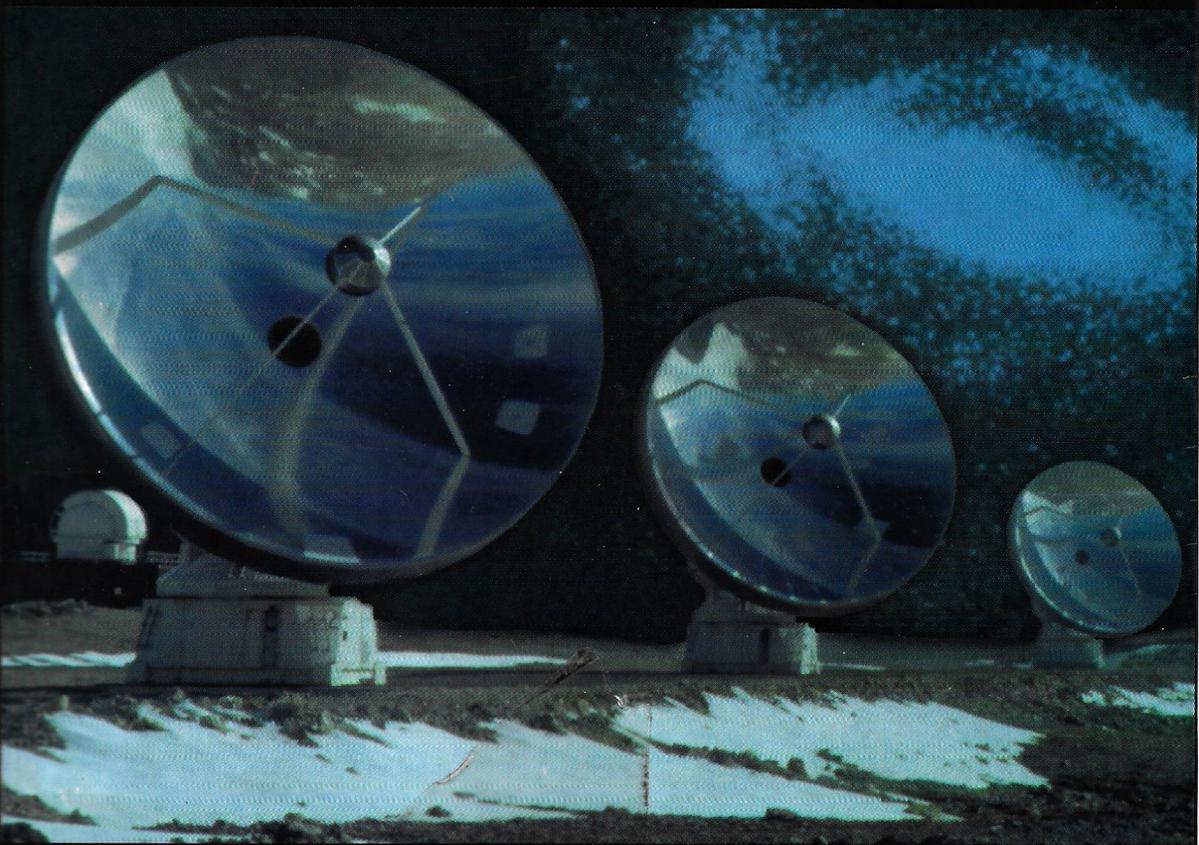


Astronomía básica

JOSÉ ANTONIO GARCÍA BARRETO



Primera edición, 2000

Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta obra
—incluido el diseño tipográfico y de portada—,
sea cual fuere el medio, electrónico o mecánico,
sin el consentimiento por escrito del editor.

D.R. ©, 2000, Universidad Nacional Autónoma de México
Edificio de la Coordinación Científica, circuito exterior,
Ciudad Universitaria, México, D. F.

D.R. © 2000, FONDO DE CULTURA ECONÓMICA
Carretera Picacho-Ajusco 227, 14200 México, D.F.

ISBN 968-16-6092-7

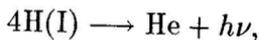
Impreso en México

VII. ESTRELLAS

INTRODUCCIÓN

AL DIRIGIR nuestra mirada hacia el cielo observamos muchos cuerpos celestes y brillantes que principalmente son objetos puntuales a nuestra vista, es decir, sin estructura discernible. Estos objetos son lo que conocemos como *estrellas*. Otros objetos brillantes, aunque ese brillo proviene de reflejar la luz del Sol, son los planetas y satélites, incluyendo la Luna. Existen muchos otros objetos que emiten *luz*. Estos objetos, que presentan estructura amorfa y de menor brillantez pueden ser galaxias, nebulosas planetarias, regiones de gas ionizado, etc., pero en general hablaremos de nebulosas en este capítulo.

Nuestro interés principal en este capítulo es hablar de los objetos puntuales o estrellas. Una característica de las estrellas es que generan su propia energía a través de una reacción termonuclear exotérmica para transformar 2 átomos de hidrógeno neutro en 1 átomo de helio. La reacción exotérmica nos señala que existe un excedente de energía y ésta es la que finalmente observamos:



donde $h\nu$ es la energía extra que se libera en forma de radiación electromagnética. El hidrógeno tiene 1 protón con carga positiva y 1 electrón con carga negativa. El helio, por otro lado, tiene 2 protones en su núcleo y para que estén en equilibrio existen 2 neutrones (sin carga) también en el núcleo y 2 electrones. Sin embargo, si m_p representa la masa del protón, la masa del núcleo de helio es solamente $3.97m_p$ en vez de $4m_p$ como pudiera pensarse. La diferencia de masa, es decir, $\Delta m = 0.03m_p$ se transforma en energía por la ya conocida ley de Einstein $E = m_p c^2$.

Al observar las estrellas podemos medir la energía que emiten por unidad de tiempo y comparar unas con otras. Pero sabemos poco acerca de cómo nacen, o cuál es su constitución interna, pues al *ver* las estrellas lo que observamos es sólo su superficie.

Los procesos físicos internos deben ser inferidos a través de estudios teóricos. Estos estudios constituyen lo que se conoce como *estructura estelar y su evolución*, y además existen cursos especializados sobre

estos estudios teóricos, como por ejemplo sobre interiores (de estrellas) y atmósferas (estelares).

Las observaciones estelares nos dan amplia información sobre diferentes características; por ejemplo, podemos citar diversos tipos de observaciones:

- se observa que algunas estrellas no existen solas, sino que se presentan en pares a los que se les denomina sistemas binarios. Un estudio de los movimientos de estas estrellas nos indicaría sus masas,
- observaciones ópticas, con filtros anchos (es decir que permiten la observación en un intervalo grande de longitudes de onda), proveen una medida de la energía que emiten las estrellas por unidad de tiempo. La longitud de onda de luz visible por ejemplo es $\lambda \simeq 5\,500 \text{ \AA}$ y el ancho típico de un filtro *ancho* es alrededor de $\Delta\lambda \simeq 500 \text{ \AA}$, donde $1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ cm}$,
- existe también la posibilidad de determinar la temperatura de la superficie de la estrella suponiendo que emite energía como cuerpo negro,
- actualmente se puede medir el diámetro angular de las estrellas a través de captar su luz visible con sistemas interferométricos y también al captar sus ondas de radio con un radiointerferómetro,
- observaciones ópticas con filtros angostos, es decir, filtros que permiten el paso de un rango pequeño de longitudes de onda, centrados en una longitud de onda específica, proveen información acerca de la composición química de la estrella. Por ejemplo, la longitud de onda de la emisión de hidrógeno conocida como $H\alpha$ es $\lambda \simeq 6\,563 \text{ \AA}$, y un filtro angosto tendría un ancho de $\Delta\lambda \simeq 90 \text{ \AA}$. ¿Por qué se desea utilizar un filtro angosto? La respuesta tiene que ver con el hecho de que *no* se desea observar otras longitudes de onda que no pertenezcan a la emisión, en este caso, del hidrógeno, ya que pudiesen ser de otros elementos químicos,
- existen actualmente estimaciones de la magnitud del campo magnético de algunas estrellas. En estrellas normales como el Sol, esta estimación proviene de la observación de electrones que se mueven a velocidades cercanas a la velocidad de la luz interactuando con el campo magnético existente en las llamadas manchas solares. Estas manchas solares derivan su nombre del hecho de que aparecen como zonas oscuras en la superficie del Sol, y a las estrellas que presentan muchas de estas manchas se les conoce como estrellas magnéticas. En otras estrellas, que ya han consumido todo su hidrógeno al convertirlo en otros elementos químicos a través de reacciones termo-

nucleares, el campo magnético es de magnitud mayor, como el caso de los pulsares, mejor conocidos como estrellas de neutrones,

- la luz de las estrellas se puede descomponer en diferentes colores, con filtros angostos como se mencionó anteriormente, y la determinación de la longitud de onda de la radiación se compara con la longitud de onda que ese elemento químico tiene en el laboratorio. Si no coinciden es a causa de que el gas del objeto celeste se mueve con una velocidad proporcional al cambio de longitud de onda observada. En este caso se dice que se estudia la cinemática de los gases,
- observaciones recientes proveen con mucho detalle del infrarrojo y de las ondas de radio (alta resolución angular) información acerca de la formación de estrellas, es decir, se detectan estructuras muy cercanas a la posible estrella, y estas estructuras tienen la forma de disco al que se le ha denominado *disco de acreción*, pues se cree que el material perteneciente a la nube molecular es atraído hacia la estrella. Ese material no *cae* directamente, sino que forma parte del disco en donde su distancia al centro va disminuyendo al mismo tiempo que rota alrededor del centro. Finalmente, se piensa que el material *cae* al centro en lo que se supone será una estrella. ¿Cuáles son los mecanismos de acreción de material?, ¿todas las estrellas presentan estas estructuras?, son preguntas que necesitan más observaciones y desarrollos teóricos para intentar contestarse,
- muchas estrellas emiten radiación electromagnética en forma de luz, pero se ha determinado que también hay partículas con masa que *viajan* desde la estrella, lo que se ha denominado *viento estelar*. Así, el Sol tiene lo que se llama *viento solar*, el cual está formado tanto por gas neutro como por núcleos de helio y otros elementos químicos, así como también por protones y electrones. Es este viento el que interactúa con las atmósferas (ionósferas) de los planetas y también con la cola de los cometas. El plasma, es decir el gas eléctricamente cargado, interactúa con el campo magnético existente a través de la fuerza $f^{\rightarrow} = (q/c)v^{\rightarrow} \times B^{\rightarrow}$, donde v^{\rightarrow} es la velocidad de la partícula con carga q , B^{\rightarrow} es el campo magnético, \times denota el producto cruz para cantidades vectoriales y c es la velocidad de la luz. La fuerza resultante f^{\rightarrow} será perpendicular tanto a la velocidad de la partícula como al campo magnético (véase el capítulo V).
- con base en las observaciones morfológicas del Sol se tiene información acerca de la rotación superficial del mismo. Del Sol se conoce su distancia, color superficial, temperatura superficial, diámetro, etc. Estudios estadísticos de muchos otros tipos de estrellas dan información también acerca de sus velocidades de rotación, así como de cambios en su luminosidad o diámetro.

Actualmente es posible observar el viento solar a través de la emisión de radiación de diferentes moléculas y también es posible estimar la cantidad de gas que pierden las estrellas por unidad de tiempo, a lo que se denomina *tasa de pérdida de masa*. La pérdida de masa del Sol es aproximadamente de $\Delta M \simeq 2 \times 10^{21}$ g por año, lo que representa una pérdida muy pequeña de masa, ya que la masa del Sol es $M_{\odot} \simeq 2 \times 10^{33}$ g. Se necesitarían 10^{12} años para que el Sol perdiera toda su masa. Muchas de estas observaciones se hacen a través de la detección de ondas de radio de moléculas como OH a frecuencias de $1\,667 \times 10^6$ Hz o la molécula de CO a una frecuencia de 115×10^9 Hz.

Finalmente, ha sido una gran ayuda para estudiar las estrellas en forma estadística el graficar las características de éstas, como, por ejemplo, su temperatura superficial contra su brillantez o luminosidad. A este tipo de gráficas se le ha denominado *diagrama Hertzsprung-Russell* o simplemente *diagrama H-R* por los apellidos de los dos científicos que lo desarrollaron.