

**ESTRELLAS PECULIARES Y NORMALES,
¿SÓLO UN PROBLEMA SEMÁNTICO?**

*Comunicación efectuada por la Dra. Adela Ringuelet
en la sesión privada extraordinaria
de la Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires
el 24 de julio de 2008*

Introducción

En el Renacimiento Europa recuperó el rumbo del pensamiento científico astronómico. A fines del siglo XVII Pièrre Laplace impulsa la Mecánica Celeste y afirma el vínculo entre la Astronomía y las Matemáticas. Esto se entiende, dado que las estrellas (y aún los planetas) eran puntos luminosos de los que sólo se podían analizar los movimientos. Pasan más de 100 años hasta la incorporación de los procesos físicos que originan la luz y las formas que se observan. Cuando la luz de las estrellas se hizo pasar por un prisma de vidrio (o cuarzo) se descubrió que los colores en los que se descomponía esa luz blanquecina, del rojo al violeta, presentaban rayas oscuras (faltantes de luz), que terminaron siendo las marcas específicas que pueden identificar y caracterizar a cada objeto celeste. Estas rayas o “líneas” de energía faltante, son la energía que utilizan los átomos componentes de la atmósfera de la estrella, para alcanzar un estado de equilibrio. Ese estado de equilibrio implica un conjunto de procesos y de propiedades que caracteriza unívocamente a cada objeto celeste. La originaria imagen de colores, con sus faltantes (y eventualmente agregados) de energía, pasada a un recuento de fotones en cada color y representada en blanco y negro, es lo que llamamos el “espectro” de una estrella. En el espectro, los faltantes son las líneas de absorción y los agregados son las líneas de emisión.

Historia de una estrella como el Sol

Una estrella irradia energía originada en reacciones nucleares. En las primeras etapas de desarrollo convierten Hidrógeno en Helio. Primero transforma en He al H que tiene en el núcleo, la zona más caliente, y cuando termina de consumirlo inicia la combustión en las capas exteriores, lo que produce la expansión de las mismas. En esa expansión la estrella llega a dimensiones comparables a las dimensiones de nuestro sistema planetario. Al acabar con la combustión

del H, las capas exteriores no tienen más sustento y se desprenden. El interior se contrae, se calienta, y en él se enciende el He.

La materia perdida se expande a muy baja velocidad y forma configuraciones estables en intervalos de tiempo de centurias; las Figs. 1 y 2 ilustran esa etapa. En el centro queda una estrella que transforma Helio en elementos más pesados; finalmente, Fe y Mg.



FIG. 1. Nebulosa Planetaria. NGC 2440 en Puppis

Cuando la estrella llega al final de su vida, este final depende de su masa inicial. Si es como el Sol, se transforma en una “enana blanca”, una estrella muy densa y de pequeñas dimensiones. Si es mayor que 1.4 masas solares, termina como “supernova”, fenómeno altamente energético que se desarrolla en un intervalo muy corto en su escala de tiempo.

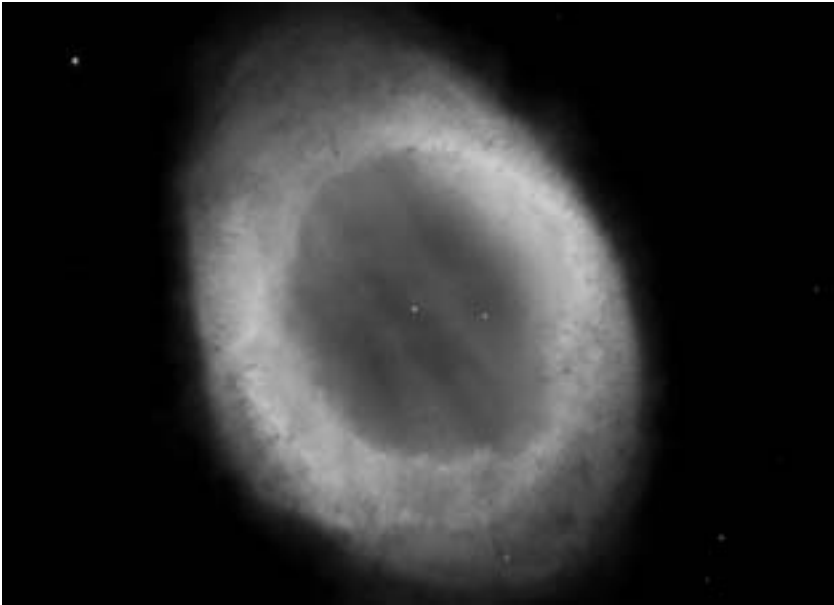


FIG. 2. Nebulosa Planetaria. NGC 6720 en Lyra



FIG. 3. Remanente de la supernova SN1987A, 16 años después de su aparición

En las Figs. 3 y 4 mostramos dos imágenes que corresponden a dos estrellas que fueron más calientes y de mayor masa que el Sol, la primera 16 años después de su aparición como supernova y la segunda después de varios miles de años. Para comparar los tamaños de estas estructuras, deberíamos multiplicar la escala de las figuras por factores similares a su edad.



FIG. 4. NGC 7635. Remanente de supernova en Cassiopea, más de mil años después de su aparición

Astrofísica, Vientos Estelares, Líneas de Emisión

Hasta 1810 las estrellas eran puntos luminosos e interesaban sus movimientos: por tanto, la astronomía involucró fundamentalmente a la Mecánica Celeste. Cuando se inició el estudio de los espectros estelares, se omitió a la Mecánica Celeste para involucrar, fundamentalmente a la Termodinámica y a la Física Atómica. Los puntos lu-

minosos se transformaron en laboratorios donde los experimentos se realizan en condiciones que son inalcanzables en la Tierra.

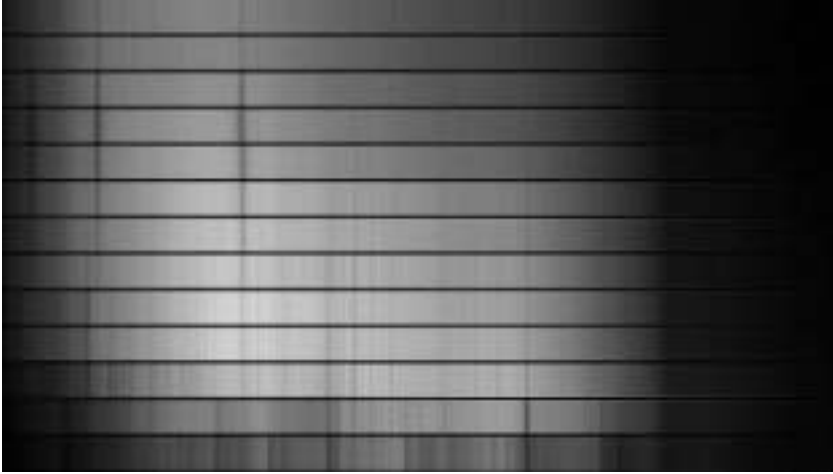


Fig. 5. Espectros de estrellas de distintas temperaturas. La más caliente arriba, la más fría abajo.

Se comienza por reconocer que la estrella tiene una interface entre la región donde se producen las reacciones nucleares y el material interestelar, la denominada “fotosfera”. Los primeros modelos de funcionamiento se desarrollaron en condiciones de equilibrio y, desde luego, de los equilibrios que era posible –a principios del siglo XX– manejar; estos fueron el Equilibrio Termodinámico (ET), el Equilibrio Radiativo (ER) y el Equilibrio Hidrostático (EH) y siempre sobre la base de una abundancia de elementos tipo solar. Y allí surge la separación de “estrellas normales” y “estrellas peculiares”. Todo lo que se podía describir dentro de las condiciones de estos equilibrios y abundancias era normal y lo que discrepaba, era peculiar. Posteriormente al lanzamiento de satélites y la verificación de que las estrellas poseían “vientos”, que consistían en material que desde el borde de la fotosfera se arrojaba al espacio interestelar, el concepto de “peculiares” sufrió una revisión y su frontera quedó imprecisa

En esta categoría de peculiares tenemos, en general, a todas las estrellas que muestran líneas de emisión, estrellas que escapan al ET y al EH, o a los dos primeros junto con el ER o que están en equilibrio convectivo. También las que presentan abundancias anómalas.

Nuestro grupo de investigación Modelos de Estrellas Peculiares (MEP) estudia las estrellas peculiares tempranas, o sea, las de temperaturas efectivas mayores de 10000K . Nuestras herramientas son, básicamente, cuatro ecuaciones, llamadas de conservación de masa (1ra.), de conservación de momento (2da.), de conservación de energía (3ra.) y la del Transporte Radiativo (4ta.) y resolvemos tanto las fotosferas –cuando hay que discutir abundancias químicas– como los vientos –en problemas de determinación de continuos y determinación de perfil de líneas–. En la 2da. ecuación se suele incluir, en f_e , campos de radiación y magnético y rotación.

Ecuaciones básicas empleadas		
$\nabla \cdot (\rho \mathbf{v}) = 0$		1ra.
$\rho v r^2 = (1/4 \pi) \cdot \text{pérdida de masa} = \text{constante}$		
$\rho (\nabla \cdot \mathbf{v}) = \nabla p_g + \text{fuerzas exteriores } (f_e)$		2da.
$\rho \mathbf{v} (d\mathbf{v}/dr) = - (dp_g/dr) + \rho (GM/r^2) + (4 \pi / c) \int \mathbf{\kappa}_v \mathbf{H}_v d\mathbf{v} + \text{etc.}$		
$\nabla \cdot [\rho (v^2/2 + e + p_g/\rho) \mathbf{v}] = f_e \cdot \mathbf{v} + \Delta \Phi$		3ra.
$\mu (dI_v/d\tau_v) = I_v - S_v ; \quad S_v = \eta_v / \kappa_v$		
$\rho = \text{densidad}$	$v = \text{velocidad}$	$c = \text{vel. de la luz}$
$\nu = \text{frecuencia}$	$r = \text{coord. radial}$	$H_v = \text{flujo radiación}$
$\kappa_v = \text{coef. absorción}$	$p_g = \text{presión gas}$	$e = \text{energía interna}$
$\eta_v = \text{coef. emisión}$	$G = \text{const. gravitatoria}$	$S_v = \text{función fuente}$
$\Phi = \text{calor} *$	$M = \text{masa de la estrella}$	$I_v = \text{int. del campo de radiación}$
*(ingresado o extraído)		

En el trabajo del grupo MEP hay que resaltar, que para resolver el problema del transporte no se usa metodología basada en la aproximación de Sobolev, sino soluciones rigurosas para cualquier opacidad tales como el método del “comoving frame” –según Kunasz y Catalá– y el “integral implícito” –según Crivellari y Simonneau–. El MEP ha dedicado numerosos estudios a la fenomenología en la base del viento, que es la zona de mayor densidad y, por tanto, la que aporta el mayor número de átomos o iones según la temperatura. Las contribuciones del MEP se pueden consultar en la correspondiente página [www](http://www.mep.astro.ub.edu).