

Pasado y presente de una estrella

Alberto Jiménez Gutiérrez,
Daniela Hernández Altamirano,
Elizabeth Juan Francisco,
Carlos Iván Velázquez Rojo,
Jesus Aldair Cid Dávila
Preparatoria 2 de octubre de 1968.
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
email: pablenko@outlook.com

Índice

1. El rol de la gravedad	2
2. Cuerpos oscuros de Laplace	3
3. Nebulosas	3
4. Clasificación de las ECNP	7

Resumen

Estudiando la nebulosa de Lira, podemos imaginar el pasado de una nebulosa, podemos entender el colapso inevitable de lo que fue una estrella gigante desde el punto de vista del límite de masas de Chandrasekhar y reconfigurar su historia como remanente de la explosión de una supernova. A manera de divulgación este trabajo pretende reconstruir la historia de la muerte de una estrella y entender su clasificación cuando mueren. Este trabajo es elaborado por estudiantes del club de ciencias de la preparatoria 2 de octubre de 1968 de la BUAP. Nuestra motivación es parte de esfuerzo del club de ciencias del nivel medio superior de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

1. El rol de la gravedad

El punto de vista más general aceptado por los físicos hasta el momento, es que uno puede dividir la discusión acerca del universo en dos partes. La primera es la cuestión de que las leyes locales se satisfacen en distintos campos de la física, usualmente expresadas en forma de ecuaciones diferenciales. En la segunda, está el problema de las condiciones de frontera para estas ecuaciones y la naturaleza global de sus soluciones. Esta parte abarca, en cierto sentido la cuestión de los límites del espacio-tiempo. Ambas partes podrían no ser independientes. De hecho se ha sostenido que las leyes locales están determinadas por la estructura a gran escala del universo.¹ Al respecto, adoptaremos un enfoque menos ambicioso: tomaremos las leyes físicas que han sido determinadas experimentalmente, y veremos lo que estas leyes implican acerca de la estructura a gran escala del universo. Resulta evidente que hay una gran extrapolación en suponer que las leyes físicas que uno determina en laboratorio, debieran aplicarse a otros puntos del espacio-tiempo donde las condiciones pueden ser muy diferentes. Si estas leyes fallaran, debieramos considerar la existencia de otros campos físicos que contienen estas leyes locales, pero cuya existencia todavía no se ha detectado en los experimentos, debido a que variarían muy poco en un región tan pequeña como nuestro sistema solar. De hecho, la mayoría de los resultados debieran ser independientes de la naturaleza específica de las leyes de la física, más bien implicarían ciertas propiedades generales, tales como la descripción del espacio-tiempo descritas por la geometría psuedo-Riemanniana del espacio-tiempo.

Las interacciones fundamentales en la actualidad que conoce la física se puede dividir en cuatro clases: las interacciones nucleares fuerte y débil, el electromagnetismo y la gravedad. De estas, la gravedad es por mucho la más débil (la relación entre la fuerza gravitacional en comparación con la fuerza eléctrica en un átomo de hidrógeno es del orden de $\sim 10^{-40}$). Sin embargo, ésta juega un papel dominante en la conformación de la estructura a gran escala del universo. Esto es debido a que las interacciones fuerte y débil tienen un rango de corto alcance ($\sim 10^{-13}$ cm o menos), y aunque el electromagnetismo es una interacción de largo alcance, la repulsión de cargas es muy equilibrada casi idéntica, por lo que respeta a las masas de dimensiones macroscópicas, debido a la atracción de cargas opuestas. La gravedad por otro lado parece ser siempre atractiva. Así, el campo gravitacional de todas las partículas que conforman un cuerpo macroscópico, produce un campo que domina sobre todas las demás fuerzas.

¹Esta visión, es generalmente asociada a Mach, y recientemente ha sido desarrollada por Dirac (1938), Sciama(1953), Dicke(1964), Hoyle, Narlikar(1964) y otros

2. Cuerpos oscuros de Laplace

La gravedad no solo es una fuerza dominante a grán escala, sino que es una fuerza que afecta a cada partícula de la misma forma. Esta universalidad fue reconocida por primera vez por Galileo, quién encontró que cualquiera dos objetos caen a la misma velocidad. También se ha observado que la luz es desviada por campos gravitacionales. Debido a que las señales no pueden viajar más rápido que la luz, la gravedad entonces determina la estructura causal del universo, es decir, determina aquellos acontecimientos del espacio-tiempo que pueden estar relacionados causalmente entre sí.

Estas propiedades de la gravedad conducen a severos problemas, si para una cantidad lo suficientemente grande de materia se concentra en una región, ésta, podría desviar luz de la región lo suficiente que, de hecho, resulta ser arrastrada hacia adentro. Esta situación fué planteada en 1798 por Laplace quién apuntó que un cuerpo de una densidad similar a la del sol, pero 250 veces su radio deberá ejercer un campo gravitacional tan fuerte que la luz no puede escapar de su superficie, Esto resulta tan impresionante que regresaremos a él en el apéndice.

Uno puede expresar el arrastre de luz por un cuerpo masivo más precisamente usando la idea de Penrose de superficies cerradas atrapadas. Consideremos una esfera de radio \mathcal{T} que rodea. Al mismo instante \mathcal{T} emite un flash de luz. Un instante de tiempo t después, los frentes de onda entrante y saliente \mathcal{T} forman dos esferas de radio \mathcal{T}_1 y \mathcal{T}_2 respectivamente. En una situación normal, el área de \mathcal{T}_1 debe ser menor que \mathcal{T} pues \mathcal{T}_1 representa el área entrante y al área de \mathcal{T}_2 , más grande que la \mathcal{T} . Si embargo, si una cantidad muy grande de materia se encierra dentro de \mathcal{T} , las áreas de \mathcal{T}_1 y \mathcal{T}_2 deben ser menores que las de \mathcal{T} . La superficie de \mathcal{T} se dice que debe ser una superficie atrapada. Conforme t incrementa, el área de \mathcal{T}_2 se hace más y más pequeña manteniendo a la gravedad atractiva, es decir siempre que la densidad de energía de la materia no se convierta en negativa. Ya que la materia al interior de la esfera \mathcal{T} no puede viajar más rápido que la luz, debe ser atrapada dentro de una región cuya frontera decrece dentro de un tiempo finito. Esto sugiere que algo va muy mal. En realidad muestra que en esta situación, una singularidad espacio-temporal debe ocurrir, para ciertas condiciones razonables.

3. Nebulosas

Las nebulosas planetarias son objetos que representan la muerte de estrellas con una masa similar a la de nuestro Sol. Aunque previamente Messier había observado cuatro (M27, M57, M76 y M97), el término nebulosa pla-

netaria fué propuesto por Willian Herschell tras observar objetos como los catalogados NGC7662, NGC3242 o NGC7009. Estas nebulosas aparecen como discos borrosos de luz similares al planeta Urano descubierta por él. Por esta razón se llamaron Nebulosas Planetarias. Sin embargo, reconocer su verdadera naturaleza, no fue fácil.

Al principio, se pensó (al igual que las galaxias) que podrían ser cúmulos de estrellas tan lejanos que no podrían ser resueltos con los telescopios de entonces. No obstante, dos acontecimientos empezaron a cambiar esta idea. Primero que se empezaron a descubrir planetarias donde se veía la estrella del centro. La visión por parte de Herschell en 1790 del NGC1514 que tiene una estrella central muy brillante, le convencieron de que eran nubes de gas o polvo aunque él pensó que eran estrellas que se estaban formando absorbiendo este material a su rededor y no la muerte de estrellas.



Figura 1: NGC 1514, imagen del DSS.

Otro de los hechos fue la utilización del espectroscopio (y la fotografía). El primer objeto analizado fue NGC6543 por Huggins en 1864. Constituyó una auténtica sorpresa el “espectro peculiar ”que presentaba. Como se entendía para una emisión proveniente de un gas, los espectros consisten en líneas de emisión pero entre el 90-95 % de su luz está concentrada en una única banda, de 5007 Å, en la parte verde del espectro. Esta circunstancia hace que estos objetos sean más brillantes visualmente que fotográficamente, ya la máxima sensibilidad del ojo humano está muy cerca de la emisión de estos objetos.

Pero a todo esto, ¿cómo se forma una nebulosa planetaria?. En el interior del Sol se produce la fusión nuclear, método para extraer energía del hidrógeno. Actualmente, un 78 % de la masa del Sol es hidrógeno. No obstante, la fusión nuclear genera un residuo, el helio. Nuestro Sol se halla a mitad camino de su vida, pues aún tiene hidrógeno para funcionar al menos 4.000 millones de años más. De esta manera, cuando se acabe el hidrógeno las capas internas de nuestra estrella empezarán a caer hacia el centro.

Actualmente, el Sol es estable porque en realidad la fusión es como una gigantesca bomba de hidrógeno continuamente explotando. Si no hubiera nada que la parara, el Sol se expandiría y se destruiría. Ese algo es la propia gravedad del sol que retienen las capas, esto permite un equilibrio estable. Pero cuando se acabe el hidrógeno también se romperá ese equilibrio, las capas internas empezarán a caer sobre sí mismas, al contraerse aumentará la temperatura del núcleo, que se volverá a encender, pero ahora su combustible será helio. El curso de estas transformaciones internas, la gran energía liberada hará que las capas del sol se expandan y se convierta en una gigante roja que, al parecer, ocupará un tamaño superior al de la órbita de la tierra; tragándose, lógicamente, todo lo que encuentre a su paso.

El Sol pasará por esta fase de contracción y expansión durante varias ocasiones, dependiendo del límite de masas de Chandrasekhar, dando lugar a una estrella variable. Esto también provoca que el llamado “viento solar” aumente su fuerza cientos de veces. Cuando se llega a un determinado tamaño fuerza de este viento, la gravedad del núcleo no es lo bastante fuerte como para retener todas esas capas extendidas y éstas se pierden en el espacio formando una nebulosa planetaria. Se estima que una estrella pierde la mitad de su masa al perder esas capas que continúan expandiéndose en el espacio hasta que se difuminan. Se cree que cada año, entre todas las nebulosas planetarias, arrojan al espacio unas 5 masas solares de material que luego puede servir para formar nuevas estrellas.

Pero ¿por qué vemos las nebulosas?, ¿por qué brillan? La respuesta está en el centro de la planetaria, en lo que ha quedado del núcleo de la estrella. Al caer sobre ella tanto material, ésta se comprime hasta alcanzar un tamaño similar al de la tierra, se recalienta mucho y su densidad, aumenta enormemente (1 tonelada en el espacio de una cuchara), es una enana blanca. Mientras que la temperatura actual del núcleo del Sol es de unos 15 millones de grados, la temperatura de una enana blanca es de 25 millones de grados. Estas altas temperaturas y las radiaciones emitidas por ésta “estrella” hace que los átomos de hidrógeno y otros gases brillen. Cada gas brilla en una longitud de onda determinada (el más conocido es el hidrógeno, que brilla con luz roja o de oxígeno, con luz verdosa) dando lugar a los colores que vemos. Hay que pensar que aproximadamente el 95 % de las estrellas

de nuestra galaxia acabarán sus días en forma de nebulosas planetarias (el otro 5 % son estrellas más masivas que acabarán en forma de supernova, por esto hay tan pocas en una galaxia) por ello estudiarlas nos muestra el futuro de nuestro sistema solar. Vista desde la Tierra la muerte del Sol ciertamente no será nada agradable. Una gigantesca bola roja hará que la temperatura aumente cientos de grados , los océanos hervirán y la atmósfera desaparecerá. Parece que al final la tierra no será engullida por el sol ya que en la fase de la gigante roja la atracción del Sol disminuirá lo que permitirá a la tierra alejarse algo en el espacio. Pero, aunque no sea tragada, el calor de la gigante roja hará que toda materia viva desaparesca igual. La enana blanca será vista desde la tierra como un punto no mayor que venus, pero cien veces más brillante que el Sol ahora y con una luz de color blanco azulada indicando su enorme temperatura. El cielo parecerá estar en llamas por el brillo de los gases expulsados por el Sol. Este fabuloso espectáculo durará unos mil años, hasta que los gases se difundiran más en el espacio. Como es lógico la densidad de estos gases será muy baja, de unos cien átomos por cm^3 , aunque depende de su edad y, por lo tanto, de lo difundidos que estén los gases.

La vida de una nebulosas planetaria no es muy larga, se estima que sólo se mantiene visible durante unos 10 mil años, pasádo este tiempo las capas externas se expanden tanto que las radiaciones de la enana blanca apenas les alcanza y por ello no brillán. También estas enanas van debilitándose, hasta quedar completamente apagadas (una enana negra, aunque nuestra galaxia no es lo bastante vieja como para que contenga muchas). Por esta razon, apenas se conocen unas 1500 en toda nuestra galaxia, aunque segun algunos teóricos, podrian haber 10000 escondidas entre el polvo y el gas de nuestra galaxia. Como duran poco y su velocidad de expansion no es muy alta, alcanzan un tamaño real "pequeño", en general, menos de un año luz. Con fotos de gran exposicion en telescopios grandes, se ha visto que gran parte de ellas tiene halos debiles rodeando la nebulosa principal. Esto es debido a las sucesivas expansiones y contracciones cuando esta en la fase de gigante roja, que tambien llega a perder algo de material. A veces, este material externo puede colicionar con el medio espacial y dar lugar a consentraciones y a brillantamiento.

La forma de las nebulosas planetarias no siempre es un circulo perfecto al rededor de la enana blanca. Al parecer influye, a parte del angulo en que la vemos, como ha sido la fase final de su vida. Hay ocasiones que la estrella tiene fuertes vientos polares causados por interacciones con la materia alrededor o por la presencia de estrellas compañeras que disorsionan las formas.

4. Clasificación de las ECNP

En la población de ECNP observada pueden distinguirse algunas clases espectrales tales como O, Of, sdO, WR, Of-WR (Lutz 1978). Desde el punto de vista evolutivo de estas estrellas, la subclasificación más importante es, sin embargo, aquella deducida del análisis de sus abundancias superficiales. En este sentido, las ECNP pueden dividirse en dos grupos bien definidos: ricas y deficientes en hidrógeno (Méndez 1991). En el primer grupo el hidrógeno es el elemento dominante, y sus tipos espectrales más comunes son O y Of. En el segundo grupo la atmósfera estelar está prácticamente libre de hidrógeno, siendo el carbono y el helio los elementos más abundantes. En lo que respecta a las características espectrales se pueden distinguir dos clases de ECNP deficientes en hidrógeno. El espectro de muchas de estas estrellas está dominado por líneas de emisión anchas e intensas, propias de las estrellas Wolf Rayet (de aquí en adelante WR).

Claro está que no todas las ECNP poseen un espectro que pueda ser clasificado en la categoría de ricas o pobres en hidrógeno. A continuación se enumeran algunas estrellas o grupos de estrellas que poseen características muy particulares.

Estrellas Be: Se llaman estrellas Be a las que tienen tipo espectral B y que, además, muestran líneas de emisión en el óptico, líneas permitidas de baja excitación de metales, principalmente FeII, líneas de emisión prohibidas como, por ejemplo, OI y FeII, en algunos casos iones de mayor excitación como ArIII o OIII, fuertes líneas de la serie de Balmer, y un fuerte exceso infrarrojo.

Híbridas: Algunas estrellas PG 1159 muestran líneas de absorción del hidrógeno. Solo existen cuatro objetos que exhiben estas características, tres de los cuales se encuentran en los núcleos de las NP NGC 7094 (PN G066.7-28.2), A 43 (PN G036.0+17.6) y Sh 2-28 (PN G030.6+06.2), mientras que al objeto restante se le detectó ninguna nebulosa asociada (Dreizler et al. 1996).

Continuo: En 1984 se conocían 17 NP cuyas estrellas centrales fueron clasificadas como de tipo espectral continuo, ya que sus espectros no mostraban ningún tipo de líneas hasta el 5 %. Méndez et al. (1981) sugirió que lo que podía estar ocurriendo era que las líneas de emisión se superpusieran con las de absorción. Feibelman (1994) analizó espectros IUE de una muestra completa de ECNP clasificadas como tipo espectral continuo.

Estrella de bario: La estrella forma parte de un sistema binario de muy largo período (superior a 800 días), donde la envoltura gaseosa, tipo anillo, aparentemente no sería común al sistema binario.

Estrellas Simbióticas: Las estrellas simbióticas son sistemas binarios en los que interactúa una estrella fría con una muy caliente, con transferencia de masa. Esto da como resultado un espectro con líneas de emisión. Las

simbióticas se dividen en los tipos D y S. Las tipo D, observadas en el infrarrojo, evidencian la presencia de polvo caliente, mientras que las S lucen un espectro infrarrojo semejante al de una estrella tardía. Algunas de las tipo D muestran morfologías bipolares (Viotti 1987 y Taylor 1988). Diversas similitudes entre ambas entidades hicieron suponer la posibilidad de que exista alguna conexión evolutiva entre las simbióticas tipo D y algunas NP bipolares (Lutz et al. 1989): las simbióticas podrían ser las progenitoras de algunas NP bipolares (Leedjarv 1993).

Estrellas R CrB: Estos son objetos post AGB deficientes en hidrógeno y usualmente variables, actualmente se conocen unas 50 estrellas. Además se subdividen en cinco subgrupos. Dos artículos interesantes en los que se describen sus propiedades y el posible vínculo con la NP son Clayton (1996) y Clayton (2000).

Referencias

- [1] S.W. Hawkin & G. F. R. Ellis. The large scale structure of space-time. Cambridge University Press 1973.

- [2] Segarra Carlos. Nebulosas Planetarias. F.O.S.C. Boletín Informativo de la Societat Astronòmica de Castelló.

- [3] Hacyan Shahen, Los hoyos negro y la curvatura del espacio-tiempo. Colección La ciencia para todos FCE 2000).

- [4] Hawking (TV) dirigida por Phillip Martin. BBC Corporation 2004