

INFORME RELACIONADO CON EL SIMPOSIO SOBRE COLAPSO GRAVITACIONAL
(Dallas, diciembre de 1963)

J. L. Sérsic
(Observatorio Astronómico, Universidad Nacional de Córdoba)

Esta conferencia fue organizada por P. G. Bergmann (Yeshiva University), I. Robinson (South-west Center for Advances Studies) y E. Shueking (University of Texas). Asistieron a ella más de trescientos físicos, matemáticos, astrónomos e ingenieros, incluyendo entre ellos a Lloyd Berkner, O. Heckmann, N. U. Mayall, J. Neymann y R. Oppenheimer. En síntesis los expositores trataron de responder, con el aporte de sus observaciones, teorías y experiencias matemáticas a las siguientes preguntas, resumidas por T. L. Page:

- 1) Cuál es el origen de la energía de las radiofuentes extragalácticas intensas? (Alrededor de 10^{60} ergios emitidos en 10^6 años, correspondientes a la completa aniquilación de 5×10^5 masas solares o a la conversión de 10^8 masas solares de H en He.
- 2) Pueden estar relacionados estos hechos con la hipótesis de Ambartsumian sobre eyecciones de materia para explicar la energía dinámica positiva de grupos y cúmulos de galaxias?
- 3) Puede producirse esa energía a través del proceso de colapso gravitacional de masas del orden de 10^8 soles?
- 4) Si así fuere, Cuál es el mecanismo de conversión de energía gravitacional en energía de radiofrecuencias, o a energía cinética de las galaxias, y que le ocurre a la masa que ha sufrido el colapso?
- 5) Cómo está relacionado el colapso con la formación y evolución de las galaxias?

Sobre la teoría del colapso gravitacional Fred Hoyle hizo las siguientes consideraciones que sintetizan un trabajo del mismo Hoyle junto a Fowler y los Burbidges:

En una masa difusa pueden definirse tres escalas de tiempo de particular relevancia, a saber: la escala de las interacciones gravitatorias, la escala de las interacciones en un plano y la escala de las interacciones acústicas (cambios de presión).

Para densidades del orden de 10^{-24} g/cm³, como es de esperarse para una nube protogaláctica difusa, se encuentra que las escalas arriba citadas lo han sido en orden creciente. Consecuentemente el colapso gravitacional juega un papel dominante en la evolución del sistema.

El colapso de una masa difusa se produce siempre con uno o más "rebotes" o pulsaciones (esto es, inversiones en la marcha de la densidad con el tiempo). Siempre según Hoyle, el colapso conduce a tres crisis de rotación debido a la conservación del momento angular como un todo y a la expansión rotacional de la masa:

- a) Formación de un disco

b) Formación de concentraciones esféricas dentro del disco, del orden de 100 masas solares.

c) Formación de un núcleo no rotante con una masa del orden de 10^5 masas solares.

Las "figuras de pera" en alta rotación generarían ondas de gravitación que llevan energía, acabando como dos masas y explicando probablemente así la naturaleza doble de las radiofuentes. Las ondas de gravitación podrían detectarse, pero lamentablemente los períodos son del orden de los del "ruido gravitatorio" en los alrededores del Sol.

Las masas no rotantes colapsan siguiendo el proceso de Oppenheimer-Snyder para densidades muy altas, donde la métrica del espacio-tiempo dentro del radio de la masa (R) difiere de la métrica fuera del mismo. Hay una discontinuidad en el llamado radio de Schwarzschild, $R_s = 2GM/c^2$ cuando el tensor de energía-momento interior se anula y no puede observarse ni materia ni radiación saliendo de tal recinto. Esto, es la curvatura del espacio-tiempo es tal que forma un recinto cerrado. Sin embargo, el efecto gravitatorio de la masa M (toda la masa) existe para todo r superior a R_s y las ondas gravitacionales pueden llevar energía. Zeldovich ha demostrado que las masas exteriores que caen hacia la singularidad "se pasan" al otro lado para formar un jet como se observa en ciertas galaxias.

Resumiendo a Hoyle podremos decir que una masa muy grande (10^{11} soles) se condensa formando dos regiones: el disco con momento angular y un núcleo sin él. En la región discoidal se condensan masas del orden de 100 soles, y comienzan los procesos nucleares en ellas, hay oscilaciones de densidad y a veces se consigue una explosión (tal sería el caso de la radiofuente 3C273). La región interior puede colapsar hasta el radio de Schwarzschild, emitir ondas gravitacionales u oscilar en dimensiones y densidad.

Nos hemos detenido un tanto en describir las ideas de Hoyle porque este autor fue el único en proponer un modelo concreto y detallado (hasta donde se puede, con nuestro presente conocimiento de la materia) de Quasar (Quasi-stellar radio-source) como se denomina ahora a estas radiofuentes. Los restantes expositores discutieron la información observacional y algunos presentaron modelos matemáticos relativistas tan poco realistas que hicieron comentar a Schuecking que se estaba lindando con la fantaciencia.

Un sumario de la información observacional actual (diciembre de 1963) fue hecho por R. Minkowski. Este distinguido astrónomo hizo notar que si la producción de energía de una radiofuente es menor de 10^{40} erg/seg para un objeto extragaláctico, se trata de una galaxia espiral normal, a lo sumo con un halo. Una mayor producción de energía sólo se observa en las radiogalaxias y de éstas puede afirmarse que:

- 92% son galaxias esferoidales (E gigantes),
- 50% están en cúmulos de galaxias,
- 75% son dobles,
- 25% no tienen emisión óptica,
- 25% muestran el oxígeno prohibido (λ 3727) en emisión,
- 50% tienen espectros de alta excitación. Por contraste, las galaxias normales muestran espectros de alta excitación en unos pocos casos y muy frecuentemente no hay líneas de emisión.

En cuanto a los Quasars, el mismo astrónomo expresó que se conocen nueve de estos objetos y son definitivamente objetos extragalácticos. Las dimensiones angulares en radio sugieren unos 500 kpc de extensión para el sistema de 3C273, aunque sus variaciones de brillo en un

período de 13 años implican dimensiones ópticas de sólo un parsec. Tres Quasars tienen grandes corrimientos hacia el rojo en sus espectros (del orden del 40% de la velocidad de la luz). Las líneas de emisión ópticas (es decir, su intensidad) limitan la densidad electrónica a $10^5 - 10^7 / \text{cm}^3$, los radios a 5 parsec, las masas a $10^5 - 10^6$ soles aunque la teoría tendría que mejorarse para tomar en cuenta las inhomogeneidades. Para que la emisión de energía de un Quasar sea inferior a $0.01 M c^2$, M debe ser más grande que 10^8 soles y esto es inconsistente con las dimensiones y densidades de la atmósfera nebular que produciría las líneas de emisión en el modelo propuesto por Greenstein y M. Schmidt.

En resumen, la conferencia de Dallas ha planteado más crudamente los interrogantes con que comenzamos, al encontrarse que las explicaciones avanzadas por los especialistas no coinciden ni entre ellas ni con las observaciones, de un modo satisfactorio. El colapso gravitacional podría proporcionar un reservorio de energía suficientemente grande como para respaldar los despliegues energéticos de las radiofuentes, pero se ignora el mecanismo por medio del cual se desatan las energías acumuladas en el colapso, ni las leyes físicas de los medios altamente densos se conocen con certeza. Tampoco se halla explicación consistente para las dificultades halladas con las líneas espectrales, ni se ve como el reservorio de energía obtenido por colapso puede ser transferido a energía cinética de un grupo de galaxias en expansión (hipótesis de Ambartsumian).

El segundo Simposio sobre Colapso a llevarse a cabo este año en Austin contestará seguramente muchos de estos interrogantes, aunque seguramente agregará muchos otros más.

El autor desea expresar su reconocimiento al C. N. I. C. T. por haberle facilitado su traslado a los E. E. U. U.