

SOBRE LA ASOCIACION DE QUASARES CON GALAXIAS

R.F. SISTERO

Observatorio Astronómico de Córdoba

La asociación de cuasares con galaxias fue, y sigue siendo, motivo de grandes controversias. Sin embargo, desde el punto de vista observacional existen algunos hechos que apoyan la hipótesis "local" de estos objetos. El más importante es el cuasar proyectado sobre la imagen de la galaxia NGC 1199 (Arp, 1978); su "redshift" es cinco veces mayor que el de la galaxia. Por otra parte, se conoce la asociación aparente de un centenar de cuasares con galaxias (Hewitt y Burbidge, 1980) y su manifiesta correlación negativa en el diagrama separación angular - redshift de la galaxia (Burbidge, 1980). La interpretación de este diagrama no es trivial y depende de la cosmología empleada. En lo que sigue se hará una descripción clásica de los modelos cosmológicos relativistas uniformes. Esto es posible ya que se obtienen los mismos resultados, con la consiguiente simplicidad en la presentación.

Sea A (Figura 1) la posición de la galaxia, O la del observador y B la del QSO (cuasar) moviéndose radialmente con velocidad 'v' en el sistema local de referencia ('co-moving') de la galaxia. Sean además E(A, t_e) y E(C, t_e) los eventos correspondientes a la emisión de radiación de la galaxia en el instante t_e y el paso de la radiación por C (a la distancia D de O como A) proveniente de B. En O se detectará el arribo simultáneo de dos haces de radiación formando un ángulo θ (observable) en t_o . De la Figura 1 se halla:

$$\theta = AB / D \cdot \cos i, \quad (1)$$

donde AB es la separación (propia) del QSO correspondiente al evento de emisión en B, E(B, $t_o - \Delta t$), anterior al E(C, t_o) en un valor dado por el tiempo-luz AC:

$$\Delta t = AB / c \cdot \sin i. \quad (2)$$

En esta discusión se supone que $AB \ll D$. La relación entre la distancia AB y AB', correspondiente al instante de emisión t_e en la galaxia es:

$$AB' = AB + v \cdot \Delta t, \quad (3)$$

siendo v la velocidad media del QSO en Δt . De (2) y (3) resulta:

$$AB' = AB \cdot (1 + v/c \cdot \text{sen} i) , \quad (4)$$

y de (4) y (1):

$$\theta = \ell/D \cdot \text{cos} i \cdot (1 + v/c \cdot \text{sen} i)^{-1} , \quad (5)$$

con $\ell = AB'$. Es decir, (5) es la relación entre separación angular aparente θ (angular) observada, la distancia (propia) ℓ que separa al QSO de la galaxia en el instante de emisión t_e , la distancia de la galaxia D (relacionada con t_e en los modelos cosmológicos) y los factores de proyección 'i' y cinemáticos 'v' y 'c'. Es interesante notar que el factor:

$$F(i, v) = \text{cos} i \cdot (1 + v/c \cdot \text{sen} i)^{-1} \quad (6)$$

de la relación (5) es el mismo que provoca efectos 'superluminales' en la cinemática de eyecciones (Behr et al., 1976) y que no es un efecto relativista. La relación (5) es similar a la que se hubiera obtenido en un modelo cosmológico relativista con métrica de Robertson-Walker; ésta se halla mediante la substitución:

$$D \rightarrow \xi(z) = R_0 \cdot (1 + z)^{-1} \cdot S_k(\omega) \quad (7)$$

donde:

$$S_k = \begin{cases} \text{sen } \omega & k = +1 \\ \omega & k = 0 \\ \text{senh } \omega & k = -1 \end{cases} \quad \omega = c \int_t^{t_0} dt/R$$

$$z = R_0 / R - 1 ,$$

$$u^2 = R^2 (1 + k r^2/4)^{-2} (u_r^2 + u_\theta^2) ,$$

z es el 'redshift' observado de la galaxia y u la velocidad del QSO en el sistema local de referencia de la galaxia; k es la constante de curvatura, R la escala de distancias y t el tiempo cósmico.

De la relación (5) con las substituciones (7) resulta:

$$L = \ell \cdot F(i, u) = \xi(z) \cdot \theta , \quad (8)$$

lo que permite hallar L conociendo la separación angular θ del QSO respecto de la galaxia cuyo 'redshift' es z , una vez adoptado un modelo cosmológico. Para una muestra estadística debe esperarse un diagrama de dispersión L vs. z ya que (8) depende de ℓ , i y u . En una aplicación práctica será necesario hacer algunas hipótesis, p. ej. que las inclinaciones son al azar, y otras que relacionen ℓ con u y el tiempo cósmico (y así con z). Si se supone que las velocidades u están distribuidas con igual probabilidad en $(-c, c)$ ó $(0, c)$ y que ℓ admite un valor medio ℓ_0 en la muestra, tenemos:

$$\langle L \rangle = \frac{\ell_0}{2\pi} \int_{-1}^1 \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \frac{\text{cos } i}{1 + \beta \text{sen } i} di d\beta = \frac{\pi}{4} \ell_0 , \quad (9)$$

y en el caso $u = 0$ (caso estacionario) el resultado es:

$$\langle L \rangle = 2/\pi \cdot \ell_0 \quad (10)$$

En lo sucesivo adoptaremos un modelo cosmológico con parámetro de deceleración $q_0 = +1$. Entonces, la relación (8) se reduce a:

$$L = A.z.(1+z)^{-2} \cdot e^{\mu} \quad , \quad (11)$$

con $A = 1.454 \times H^{-1}$; H es el parámetro de Hubble al que adoptamos como $H = 55 \text{ km/s/Mpc}$. Los resultados de aplicar (11) a los objetos del catálogo de Hewitt y Burbidge (1980) se muestran en la Figura 2; también se indican las líneas $\theta = 20'$ y las de los valores estadísticos (9) y (10) correspondientes a $\ell_0 = 15 \text{ kpc}$. Prácticamente la muestra está comprendida entre estas líneas. Estos hechos pueden interpretarse del siguiente modo: a) existe un drástico efecto de selección para objetos con $\theta > 20'$ y b) los objetos cuya separación proyectada es del orden o menor que las dimensiones de las galaxias no se detectan por estar ocultos o proyectados sobre las imágenes de las mismas. De la muestra se puede inferir un valor 'típico' para ℓ entre 250 y 350 kpc, o sea, una distancia correspondiente a 10 diámetros de galaxias 'típicas'; comparado esto con los pares físicos de galaxias, se concluye que las asociaciones de QSO's con galaxias catalogadas por Hewitt y Burbidge (1980) pueden constituir sistemas físicos. Si se toma el valor $\ell = 250 \text{ kpc}$ y el correspondiente de L de (9), con la relación (8) se predice el diagrama θ vs z . Como se observa en la Figura 3, las observaciones quedan mejor representadas que con la línea empírica estimada por Burbidge (1980).

En síntesis se concluye: 1°) la relación teórica (8) posibilita el estudio de las asociaciones QSO's - galaxias; 2°) en toda inferencia estadística, aparte de supuestos más o menos obvios, debe hacerse alguna hipótesis acerca de la dinámica de la asociación (relación entre ℓ y u); 3°) una aplicación ilustrativa para un modelo cosmológico $q_0 = +1$ indica una distancia de asociación razonable; 4°) se predice adecuadamente el diagrama observacional de Burbidge; 5°) los efectos de selección, naturales y de observación, pudieron ser evaluados en forma simple. Por último, queda la posibilidad de analizar los hechos observacionales en términos de parámetros que describan las asociaciones QSO's - galaxias con una dinámica más elaborada.

REFERENCIAS

- Arp, H. 1978, Ap.J. 220, 401
 Behr, C.; Schucking, E.; Vishveshwara, C. and Wallace, W. 1976, A.J. 81, 147.
 Burbidge, G. 1980, Objects of High Redshift, (Dordrecht: D. Reidel Publishing Co.) p 99.
 Hewitt, A. and Burbidge, G. 1980, Ap.J. Suppl. 43, 57.

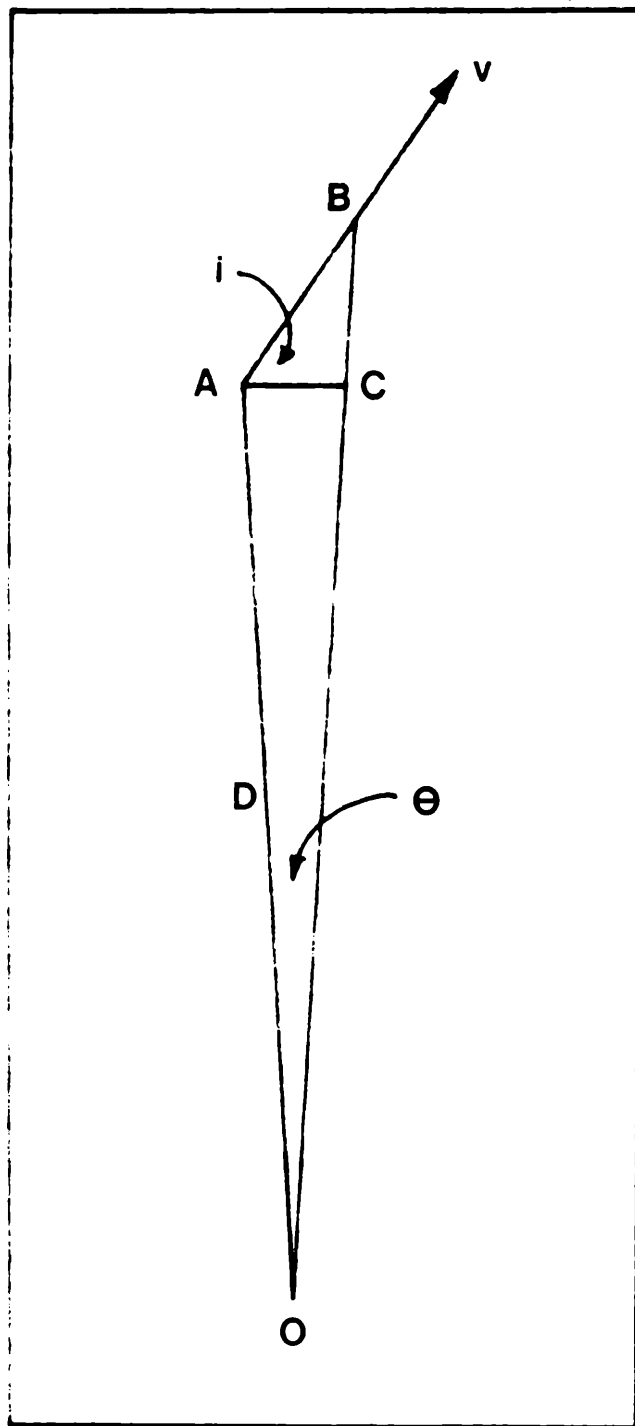


Figura 1

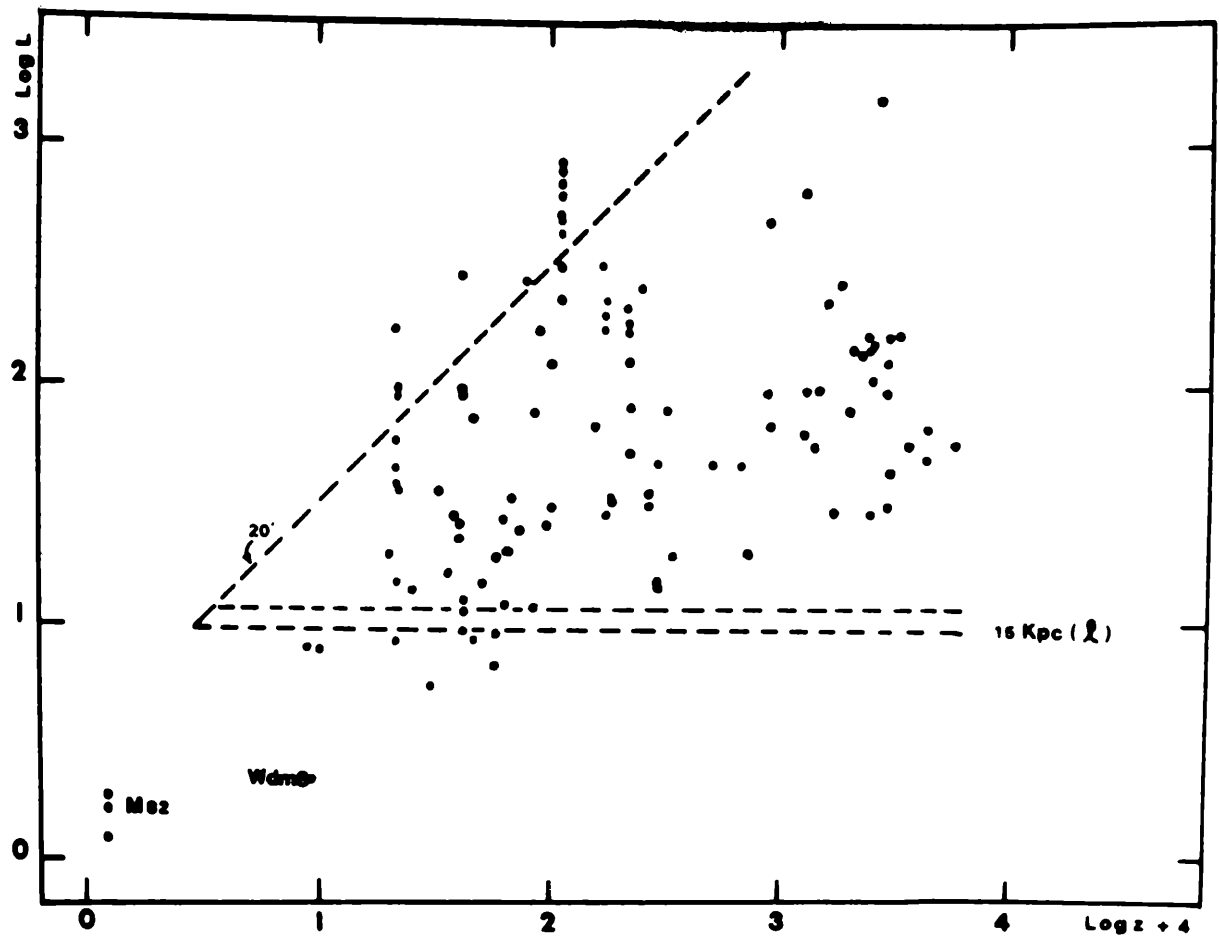


Figura 2

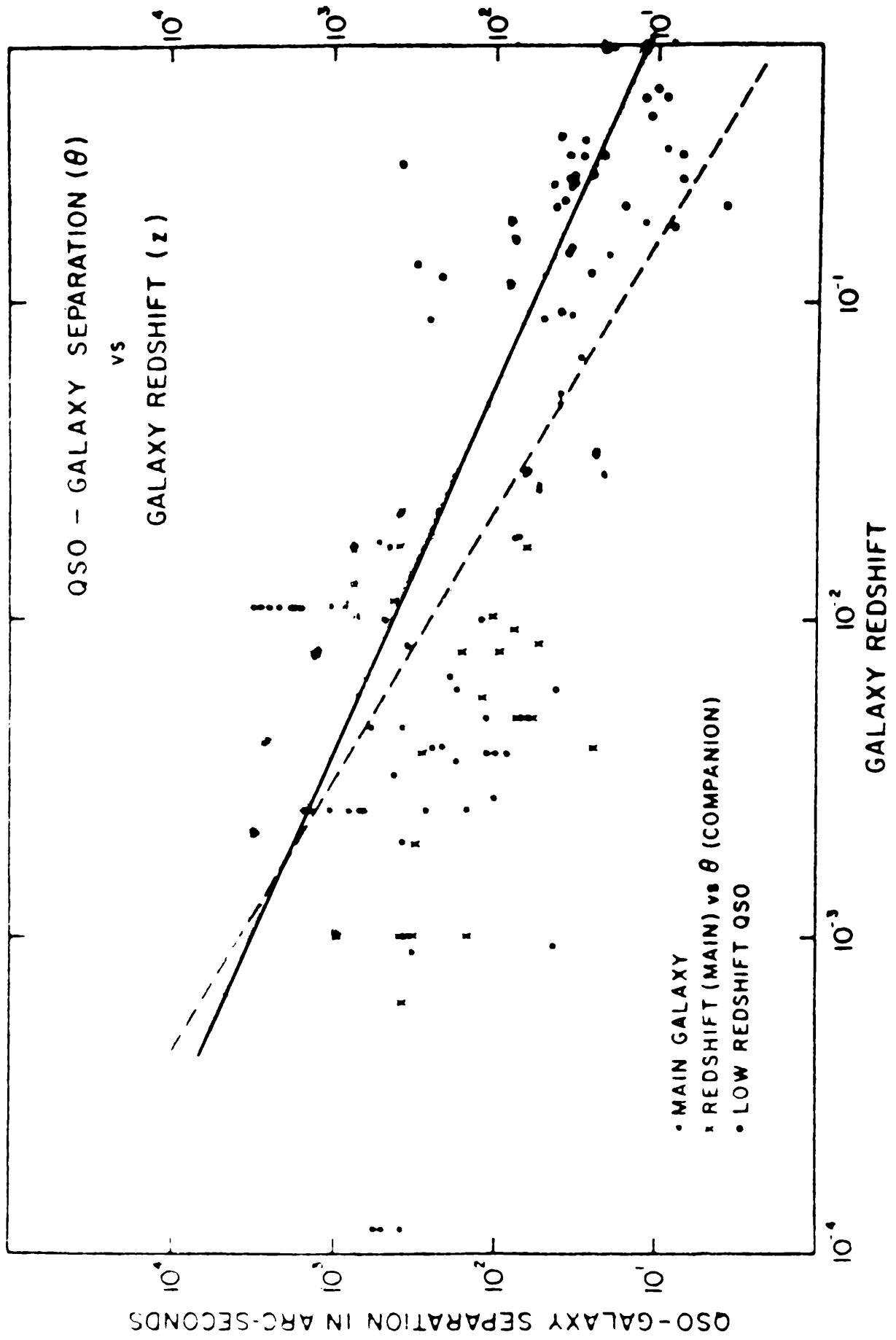


Figura 3