

2.18. Cúmulos de Galaxias, Radiogalaxias y Cuasares.

2.18.1. Introducción:

Los primeros pasos en la astronomía extragaláctica los dio Edwin Hubble entre 1925 y 1929. La idea de Hubble era que en gran escala el universo es homogéneo. Esta idea quedó consagrada en lo que se llama el **principio cosmológico**: el universo es el mismo en todo lugar y en toda dirección (el universo es homogéneo e isotrópico). Sin embargo el mismo Hubble no pudo pasar por alto el hecho que las galaxias no aparecen uniformemente distribuidas en el espacio sino que se encuentran agrupadas en lo que se denomina “**cúmulos de galaxias**”.

2.18.2. Cúmulos de Galaxias:

Las agrupaciones de galaxias comprenden desde unas pocas docenas de galaxias en cuyo caso se los denomina “**grupos de galaxias**” hasta grandes cúmulos con cientos o miles de ejemplares. La Vía Láctea, junto con la galaxia de Andrómeda (M31) pertenecen a un pequeño grupo que se lo a dado en llamar “**el Grupo Local**”, compuesto por unas 50 galaxias hasta una distancia de un Megaparsec de la Vía Láctea (un millón de parsec equivalente a 3,3 millones de años-luz). El Grupo Local está dominado por M31 y la Vía Láctea.



Galaxy Cluster Abell 370
(VLT UT1 + FORS1)

Cúmulo de galaxias Abell 370. Este cúmulo presenta dos galaxias brillantes, una cerca del centro de la imagen y la otra hacia abajo; inmediatamente por debajo de la segunda se puede apreciar un bello arco gravitacional.

Nuestro Grupo Local está en los suburbios de un gran cúmulo de galaxias que se ve proyectado en el cielo hacia la constelación de Virgo, por lo cual se lo llama **“Cúmulo de Virgo”**. Está compuesto por más dos mil galaxias, incluyendo elípticas, espirales, irregulares y elípticas enanas. El cúmulo de Virgo se sitúa a 60 millones de años-luz de la Vía Láctea, algo menos de 20 megaparsecs. Hay en el Universo miles de cúmulos de galaxias, algunos mucho más ricos que el cúmulo de Virgo. Uno de los grandes cúmulos de galaxias es el cúmulo de Coma con unas 5.000 galaxias y en cuyo centro hay un par de galaxias elípticas dominantes.



Cúmulo de galaxias CL2244-02. Aquí puede apreciarse un arco gravitacional de gran longitud. Este fenómeno, predicho por Einstein, es un objeto que está detrás del cúmulo, cuya luz es desviada por el campo gravitacional del cúmulo adoptando la forma de un arco.

IR Colour Composite of Galaxy Cluster CL2244-02 with Gravitational Arcs
(VLT UT1 + ISAAC)

ESO PR Photo 46d/98 (26 November 1998)

© European Southern Observatory



Uno de los grandes descubrimientos de la astronomía de rayos-X fue en los años setenta del siglo pasado descubrir que los cúmulos de galaxias emiten en rayos-X lo que indica la presencia en ello de gas difuso a temperaturas superiores a 1 millón de grados Kelvin. Una fracción de la masa del cúmulo de galaxias se encuentra efectivamente en la forma de gas difuso. Las galaxias en un cúmulo interactúan entre ellas y con el gas del cúmulo lo que hace que las galaxias actuales del universo tengan características diferenciadas según el ambiente en el cual viven: las galaxias de pequeños grupos son ligeramente distintas que las de grandes cúmulos. Por ejemplo la fracción de galaxias espirales es mayor en los cúmulos más pequeños y es muy baja en las partes centrales de los grandes cúmulos.

2.18.3. Radiogalaxias:

Tal como mencionamos en el punto 2.17 en los primeros pasos de la radioastronomía se descubrieron radiofuentes que fueron identificadas con objetos extragalácticos. Entre los primeros destacan la identificación hecha por **Walter Baade** y **Rudolph Minkowski** de la radiofuente Cygnus-A con una pequeña galaxia en la constelación de Cygnus. Posteriormente se intentó y se logró detectar en ondas de radio a la galaxia de Andrómeda, M31. Comparativamente Cygnus A emite mucho más

de mil veces más energía en ondas de radio que la galaxia de Andrómeda. Por ello objetos como Cygnus A se los llamó “**radiogalaxias**”. Una radiogalaxia emite una fracción importante de su presupuesto energético en ondas de radio. Una galaxia normal, como la de Andrómeda o la Vía Láctea emiten sólo una muy pequeña fracción de su presupuesto energético en ondas de radio.

Centauro A, Perseus A se unieron a Cygnus A abriendo el estudio de estas galaxias, morfológicamente peculiares, que emiten mucha energía en ondas de radio. Casi todas ellas se cree resultarían de un choque entre dos galaxias normales.

2.18.4. Cuasares:

Grande fue el asombro cuando en 1960 los astrónomos de Monte Palomar **Allan Sandage** y **Thomas Matthews** identificaron la contrapartida óptica de la radiofuente 3C48 como una estrella azul. Las radiofuentes o estaban asociadas a nebulosas, como la nebulosa del cangrejo, el remanente de la supernova observada por los chinos en el año 1054, o estaban asociadas con galaxias peculiares. Sin embargo 3C48 parecía una estrella rara, muy azul y con anchas líneas de emisión que nadie entendía en detalle.

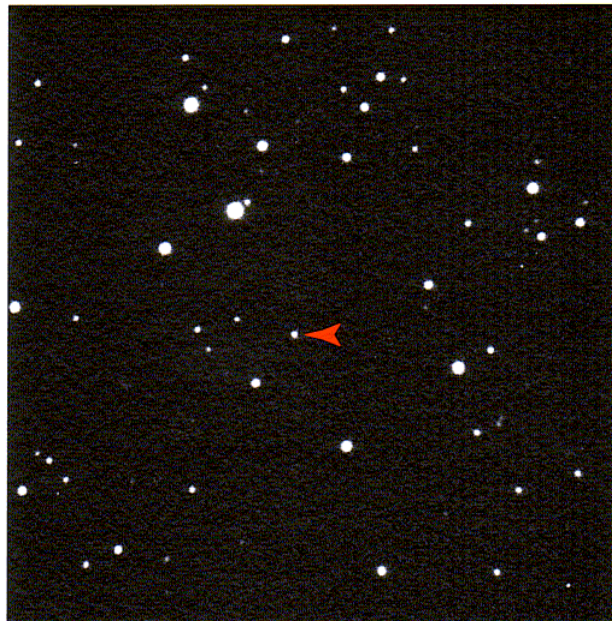


Figure 27-2 R I V U X G

The Quasar 3C 48 For several years astronomers erroneously believed that this object (shown by the arrow) in the constellation Triangulum was simply a peculiar nearby star that happened to emit radio waves. Actually, the redshift of this starlike object is so great ($z=0.367$) that, according to the Hubble law, it must be approximately 1300 Mpc (4 billion ly) away. The “3C” in this object’s designation refers to the *Third Cambridge Catalogue*, a compendium of radio sources. (Alex G. Smith, Rosemary Hill Observatory, University of Florida)

En 1962 se descubrió la contrapartida de la radiofuente 3C273. Mediante ocultaciones lunares Cyril Hazard, Mackey y Shimmins, descubrieron una estrella azul con un pequeño “jet” como la contrapartida óptica de 3C273. Nuevamente el espectro de esa “estrella” mostraba líneas de emisión que no podían ser identificadas y era muy azul.

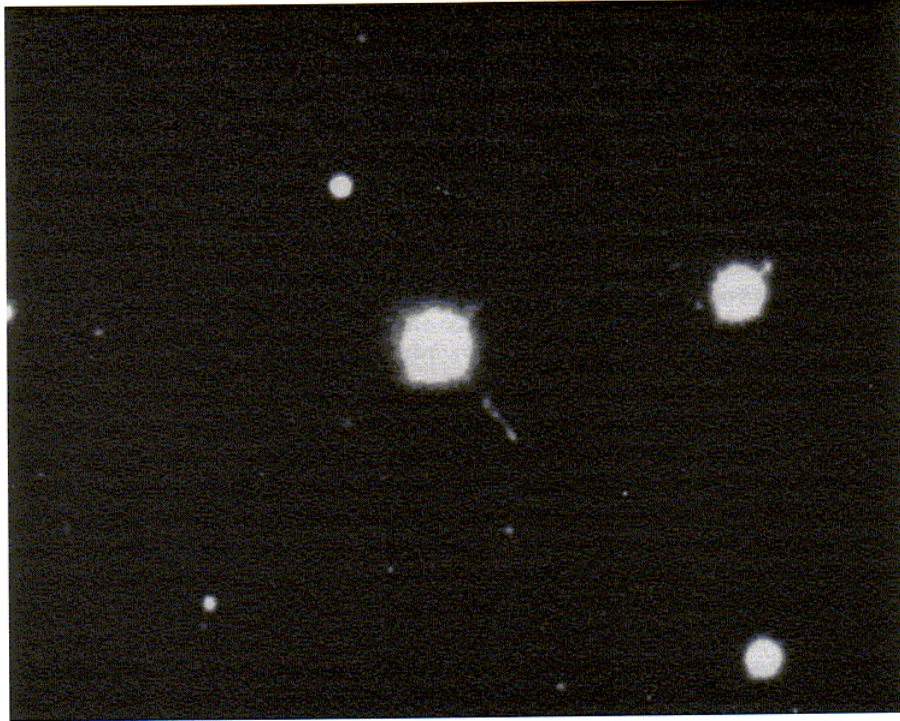


Figure 7.4. 3C273, in Virgo, is the brightest quasar in the sky, and is a strong radio source. This Kitt Peak National Observatory 4-m telescope photograph shows the visible part of this thirteenth magnitude object, including the prominent jet. We see only the point-like active nucleus, which dramatically outshines the stars in the underlying 'host' galaxy. This quasar may radiate 100 times more light than the brightest ordinary galaxy, and its jet may measure 150,000 light years in length. (Photograph reproduced courtesy of NOAO/Kitt Peak National Observatory.)

El misterio inicial fue aclarado por el astrónomo **Maarten Schmidt** (1929-) en 1963, astrónomo holandés que trabajaba en el Observatorio de Monte Palomar. Schmidt se encontraba escribiendo un reporte de sus observaciones el 5 de Febrero de 1963 cuando se dio cuenta que varias de las líneas de 3C273 corresponden a las líneas de la serie de Balmer desplazadas hacia el rojo en un 16%. Esto corresponde a una velocidad de recesión de 45.000 km/seg. Se trata de un objeto relativamente brillante (magnitud 12) que se encuentra a una gran distancia de la Vía Láctea si se supone que su velocidad de recesión está dada por la ley de Hubble.

Inmediatamente los astrónomos **Jesse Greenstein** (1909-2002) y **Thomas A. Matthews** reexaminaron el espectro de 3C48 y se dieron cuenta que tenía un corrimiento al rojo $z = 0,367$ que corresponde a una velocidad de recesión de casi $1/3$ de la velocidad de la luz. 3C273 estaría situado a unos 3 mil millones de años-luz y 3C48 estaría al doble de distancia unos 6 mil millones de años-luz.

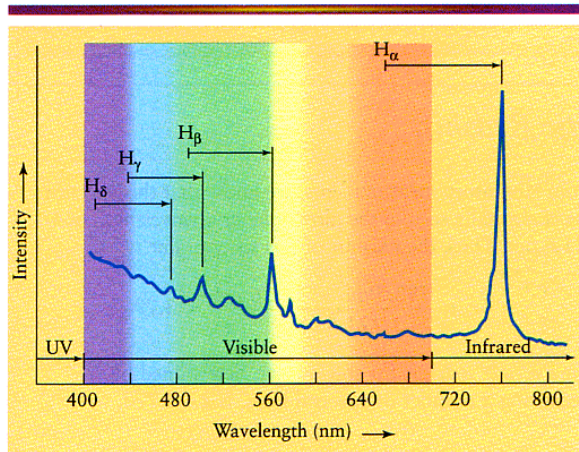


Figure 27-3

The Spectrum of 3C 273 This graph shows the spectrum of the quasar 3C 273 in visible light and in the near infrared. The spectrum is dominated by four bright emission lines of hydrogen (see [Section 5-8](#)). The arrows indicate how far these spectral lines are redshifted from their normal wavelengths. For example, the wavelength of H_β is shifted from 486 nm (blue-green) to 563 nm (yellow).

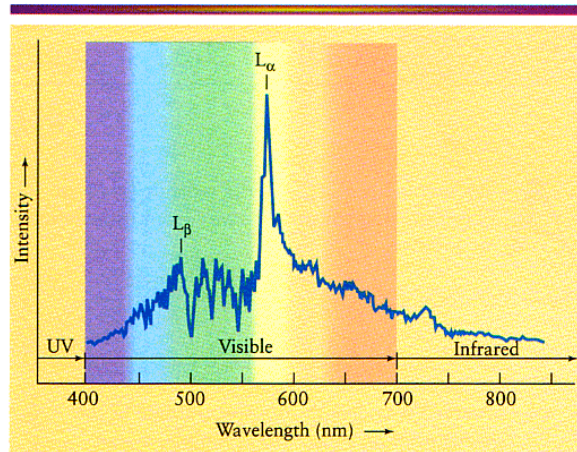


Figure 27-4

The Spectrum of a High-Redshift Quasar This quasar, known as PKS 2000-030, has a redshift $z=3.773$. This is so large that the Lyman spectral lines L_α and L_β of hydrogen, which are normally at ultraviolet wavelengths, have been shifted into the visible part of the spectrum. Note that there are many deep absorption lines to the left of the L_α emission line (that is, at shorter wavelengths). These lines, collectively called the "Lyman-alpha forest," are due to remote gas clouds along our line of sight to the quasar. Hydrogen atoms in these clouds absorb L_α photons from the quasar; because these clouds are nearer to us than the quasar and hence have smaller redshifts, their absorption lines are less redshifted than the quasar's L_α emission line.



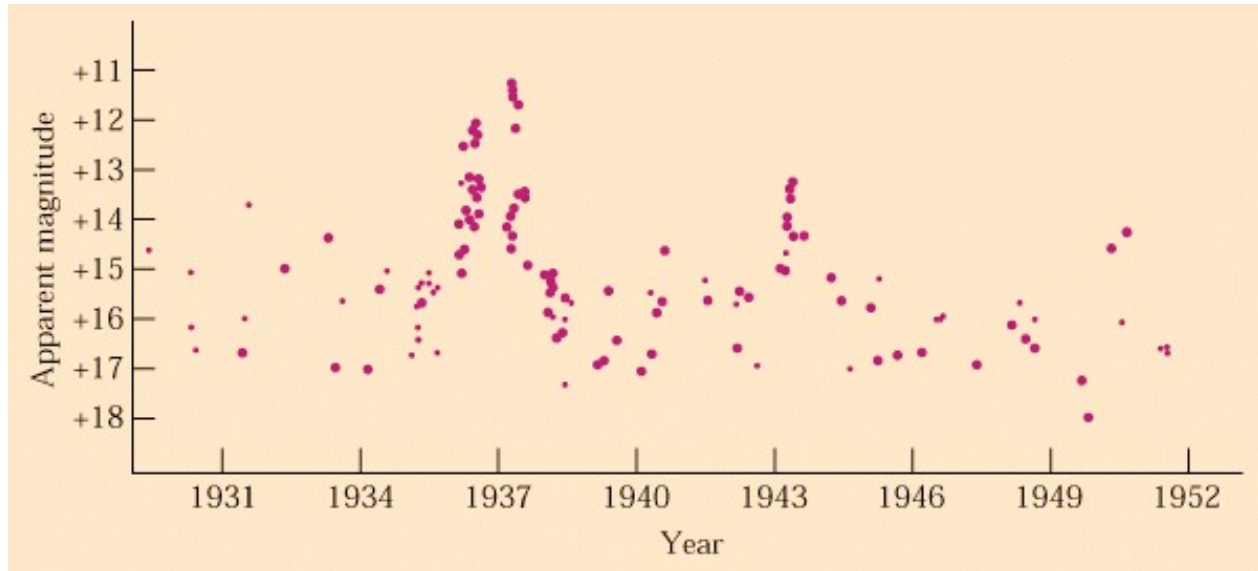
Because of their strong radio emission and starlike

Estos objetos fueron llamados en inglés "Quasi-Stellar Radio Sources" y se los abreviada como QSS. Posteriormente varios astrónomos, entre ellos Sandage, Lyuten y Haro de dedicaron a buscar objetos azules, con "excesos" ultravioleta. Entre dicho objetos se encontraron varios que poseen características espectrales idénticas a los cuasares y se los llamó "Quasi-Stellar Objects" y se los abreviaba como QSO. La inmensa mayoría de los QSO no eran fuentes de radio. Búsquedas posteriores han demostrado que sólo alrededor de un 10% de los QSO son QSS. Al poco andar fue propuesto el nombre "Quasar" para representar a los QSS y QSOs. En castellano cuásar o cuasar ha sido el nombre con que en definitiva han llegado a conocerse estos objetos.

Se trata de objetos tremendamente luminosos: sus luminosidades pueden llegar a ser hasta mil veces mayores que la luminosidad de las galaxias gigantes. Por ello los cuasares son objetos que se los puede detectar a distancias muy grandes. En los años sesenta y setenta se descubrieron cuasares con corrimiento al rojo entre 2 y 3. Luego distintas búsquedas han encontrado cuasares en corrimientos al rojo 4, 5 y 6. Hoy el cuasar más distante es uno encontrado en el proyecto SLOAN y tiene un $z = 6.4$.

Buscando objetos azules y midiendo cuán azules eran los cuasares se les detectó variabilidad en el óptico. El misterio se aumentó al ver que las variaciones de la luz de un cuasar pueden ocurrir en tiempos de unos pocos días o semanas. Por razones físicas fundamentales un objeto que varía en un tiempo τ no puede tener un tamaño mayor que la distancia que recorre la luz en dicho tiempo τ y por ende si un

cuasar varía en una semana su tamaño físico debe ser menor que una semana-luz. Ahí tenemos objetos que brillan como mil galaxias pero que tienen un tamaño de semanas-luz (o menos) contra cien mil años-luz. Esto es, un cuasar tiene un tamaño lineal de a lo menos un millón de veces menor que una galaxia (por ende un volumen una 10^{18} veces menor) y radia cien o mil veces más. ¿Qué clase de objeto puede hacer esto?



Variaciones del brillo de 3C279. Estos datos se obtuvieron a partir de la colección de placas del observatorio de Harvard. El cuasar tuvo un abrigantamiento notable en 1937 y otro menor en 1943.

En 1969 el astrofísico inglés **Donald Lynden-Bell** (1935-) propuso que en el centro de un cuasar debe haber un objeto muy pequeño y muy masivo en la forma de hoyo negro o a punto de convertirse en un hoyo negro. La masa involucrada es superior a 10 millones de masas solares. En 1971 Lynden-Bell y **Martin Rees** (1942-) propusieron que un hoyo negro en centro de un cuasar debe estar rodeado de un disco de acreción que debería ser muy brillante en el infrarrojo. **Frank Low** de Arizona encontró que un gran porcentaje de los cuasares son muy brillantes en el infrarrojo. La sugerencia de Lynden-Bell sigue a la de **Yakov B. Zel'dovich** (1914-1987) y **Dmitriyevich Novikov** (1935-) de 1964 donde se sugiere tempranamente que un hoyo negro puede estar involucrado en el caso de un cuasar.

Los cuasares son los núcleos de galaxias que emiten una gran cantidad de energía en un pequeño volumen. Se trataría de un hoyo negro súper masivo, entre cien y mil millones de masas solares al cual le está “cayendo” materia a razón de unas pocas masas solares por año. La conversión de materia en energía en la vecindad de un hoyo negro puede llegar a ser muy importante (entre un 10 a un 30% de eficiencia) y por lo tanto ese hoyo negro puede radiar una cantidad gigantes de energía al espacio.

Recientemente se ha podido comprobar que todos los cuasares cercanos están embebidos en una galaxia anfitriona. Con ello el modelo general de un cuasar como un hoyo negro en el centro de una galaxia, ha ganado un gran soporte observacional.

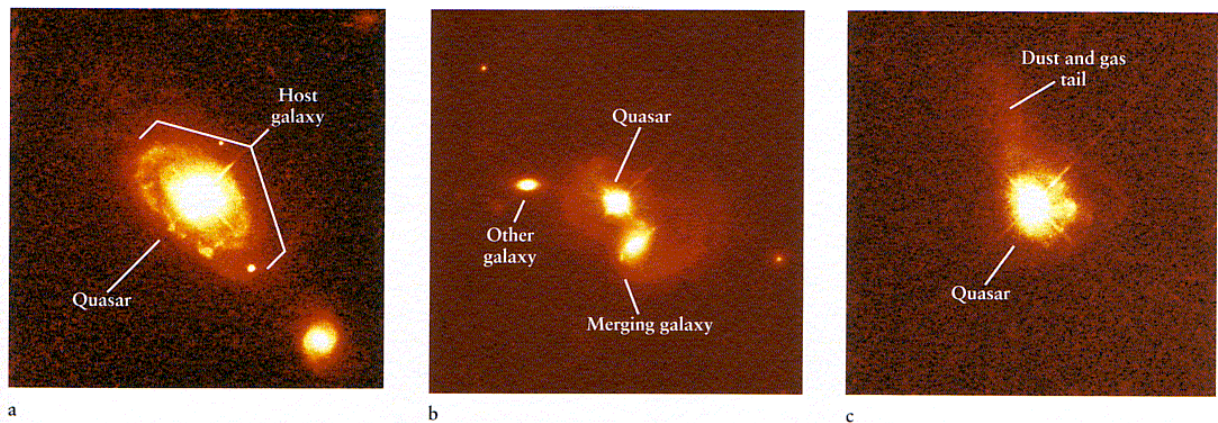


Figure 27-8 R I V U X G
Quasars and Their "Host Galaxies" (a) Quasar PG 0052+251 is located at the center of an apparently normal spiral galaxy at redshift $z=0.155$. Other quasars are found at the centers of ordinary-looking elliptical galaxies. (b) The galaxy that hosts quasar PG 1012+008 (redshift $z=0.185$) is in the process of merging with a second luminous galaxy. The wispy material surrounding the quasar may have been pulled out of the galaxies by

tidal forces (see [Figures 26-26 and 26-27](#)). The two merging galaxies are just 9500 pc (31,000 ly) apart. Another small galaxy to the left of the quasar may also be merging with the others. (c) A long tail of gas and dust extends upward in this image from quasar PG 0316-346 (redshift $z=0.260$). This tail was presumably formed when the quasar's host galaxy collided with a second galaxy that lies beyond this image. (J. Bahcall, Institute for Advanced Study; M. Disney, University of Wales; NASA)

Referencias:

William Kaufmann, "The Cosmic Frontier of General Relativity", Little, Brown, and Co., Boston, 1977.

Bradley Peterson, "Active Galactic Nuclei", Cambridge University Press, Cambridge, 1997.

Harry Shipman, "Black Holes, Quasars, and the Universe", Houghton Mifflin Co. Boston, 1976.