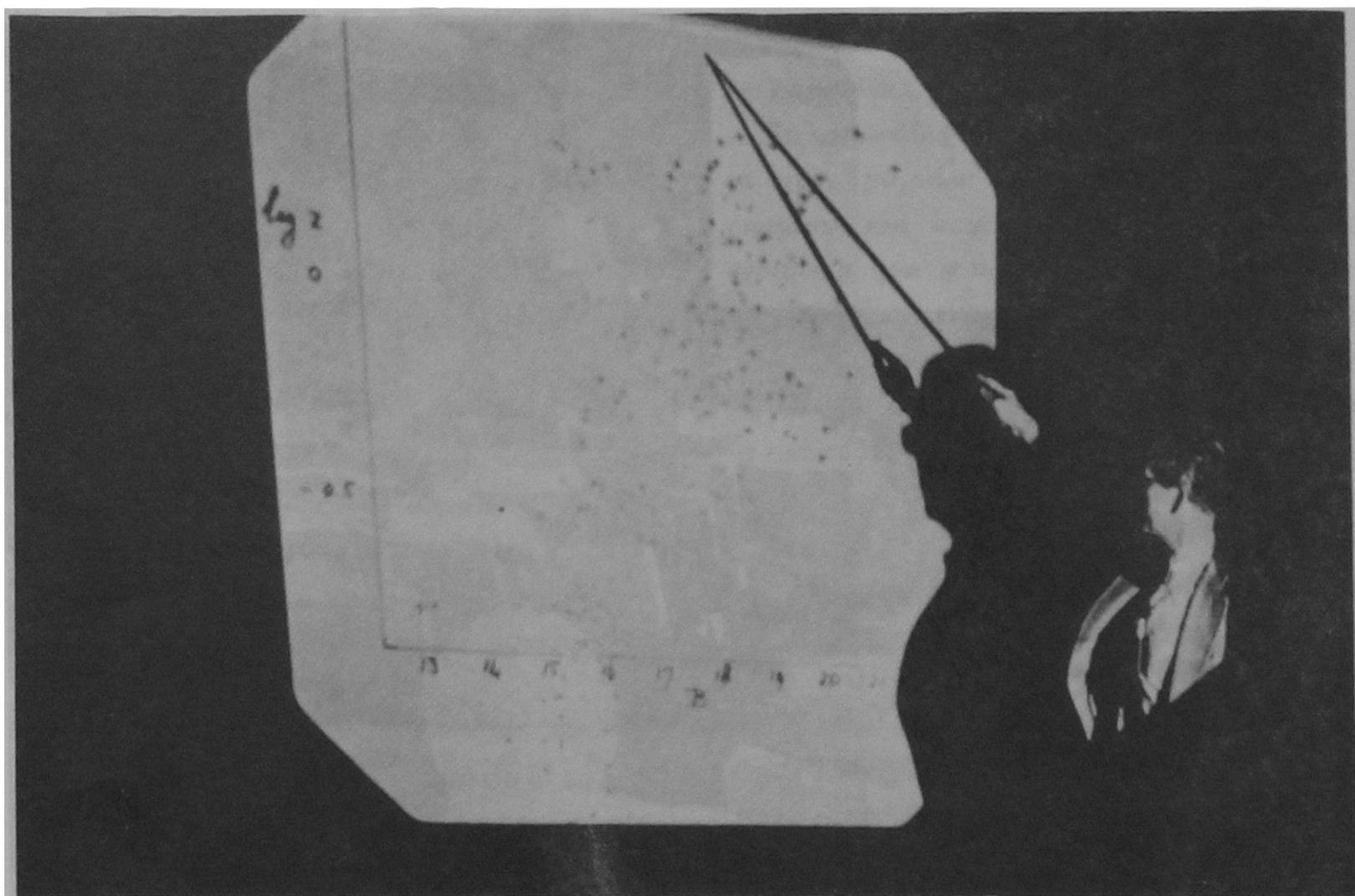


CUASARES

Una interesante Conferencia sobre los Cuasares dictó recientemente el astrónomo y descubridor de estos objetos estelares, Maarten Schmidt. A la charla asistieron destacadas autoridades de la Facultad, encabezadas por el Decano Claudio Anguita Cáceres.

En el resumen de la conferencia que publicamos a continuación, ha colaborado personalmente el Director del Departamento de Astronomía, Hugo Moreno y la investigadora Adelina Gutiérrez.



Distribución de los cuasares en el espacio según su magnitud relativa.

Cuasares

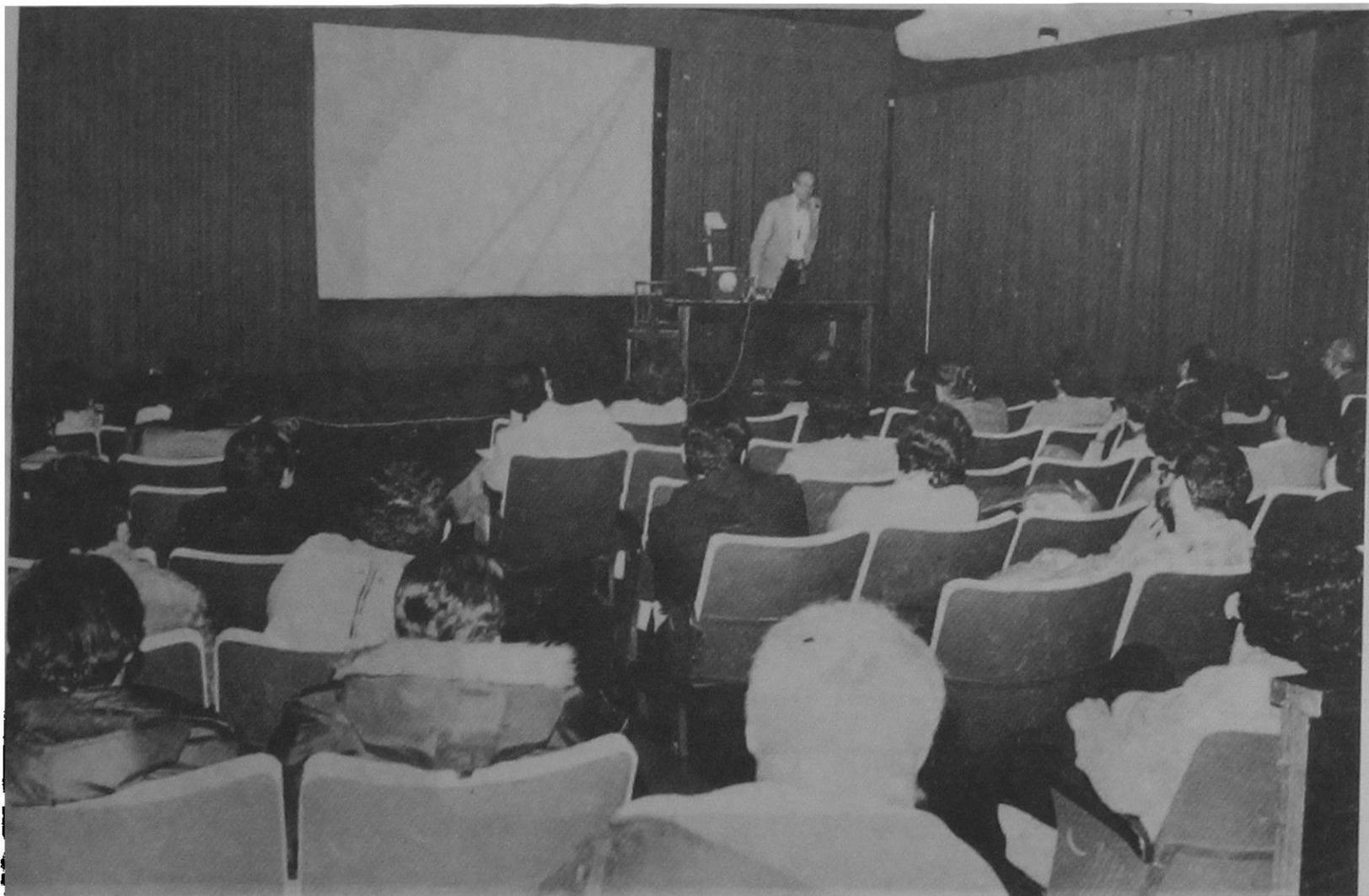
El nombre cuasar, contracción de *quasi-stellar radio source*, se aplicó inicialmente en la década del 60, sólo a las contrapartidas ópticas, de aspecto estelar, de ciertas radio-fuentes intensas, cuyos espectros ópticos exhibían un desplazamiento de sus líneas hacia el rojo, mucho mayor que el de las galaxias. No pasó mucho tiempo, sin embargo, sin que se descubriera un tipo de objetos estelares con corrimientos grandes hacia el rojo, pero que tenía poca o ninguna emisión en las longitudes de ondas radiales. Hoy día el nombre cuasar se aplica a objetos estelares con desplazamientos grandes hacia el rojo, independientemente de su radio-emisividad. Poseen otras dos características importantes: un exceso de radiación en la región ultravioleta del espectro en comparación con las estrellas normales, y una variabilidad de su luz en lapsos de meses, semanas o, aún días.

La primera identificación óptica de una

estrella débil con un objeto radial se realizó en 1960, pero fue en 1963 cuando la radio-fuente intensa 3 C273 se identificó con un objeto de aspecto estelar de magnitud 13, y el Dr. Maarten Schmidt reconoció que las líneas del espectro, que parecían imposibles de identificar, eran simplemente las líneas de la serie Balmer del hidrógeno, desplazadas hacia el rojo en un 15.8^o /o.

Varias son las posibles explicaciones de este fenómeno, característico de todos los cuasares:

- 1) Se trata de un efecto Doppler; en este caso podrían existir dos explicaciones:
 - a) los cuasares son objetos que están a enormes distancias de nosotros, y la velocidad implicada por el corrimiento al rojo se debe a la expansión del Universo; esta es la hipótesis cosmológica;
 - b) se trata de objetos cercanos a nosotros, posiblemente incluso miembros de



Dr. Maarten Schamidt dicta una conferencia sobre Cuasares.

nuestra galaxia, expulsados de nuestras cercanías por alguna explosión o evento catastrófico de tipo local; ésta se conoce con el nombre de hipótesis local;

- 2) El corrimiento al rojo es un efecto gravitacional, y
- 3) Como última explicación, si no aceptamos ninguna de las anteriores, debido a las dificultades que implican, podemos poner un signo de interrogación, indicando que se trata de un fenómeno de causas aún desconocidas.

Efecto gravitacional

Al respecto dijo el Dr. Maarten Schmidt que los físicos de Caltech inmediatamente me indicaron que se trataba de un efecto gravitacional, ya que era algo completamente inesperado encontrar para una estrella un desplazamiento al rojo, que, interpretado como efecto Doppler, era equivalente a un 15% de la velocidad de la luz c (en algunos cuasares descubiertos posteriormente se ha llegado a $0.8 c$). El corrimiento al rojo gravitacional se debe a que cuando un fotón deja una fuente luminosa debe vencer la atracción gravitacional, y con esto pierde parte de su energía $h\nu$, y como h es constante, esto implica que la frecuencia ν disminuye; y la longitud de onda, λ que es c/ν aumenta. Es decir, se obtiene un desplazamiento de las líneas espectrales que simulan un efecto Doppler. La luz que llega a nosotros desde el sol, nuestra propia estrella, sufre un efecto gravitacional que simula un efecto Doppler equivalente a 0.6 kilómetros por segundo.

Esta explicación fue largamente discutida por Greenstein y por mí, señaló el conferencista. Pero resulta que es esencialmente imposible y, sin entrar en más detalles al respecto, diré que actualmente nadie cree en la explicación del corrimiento al rojo gravitacional.

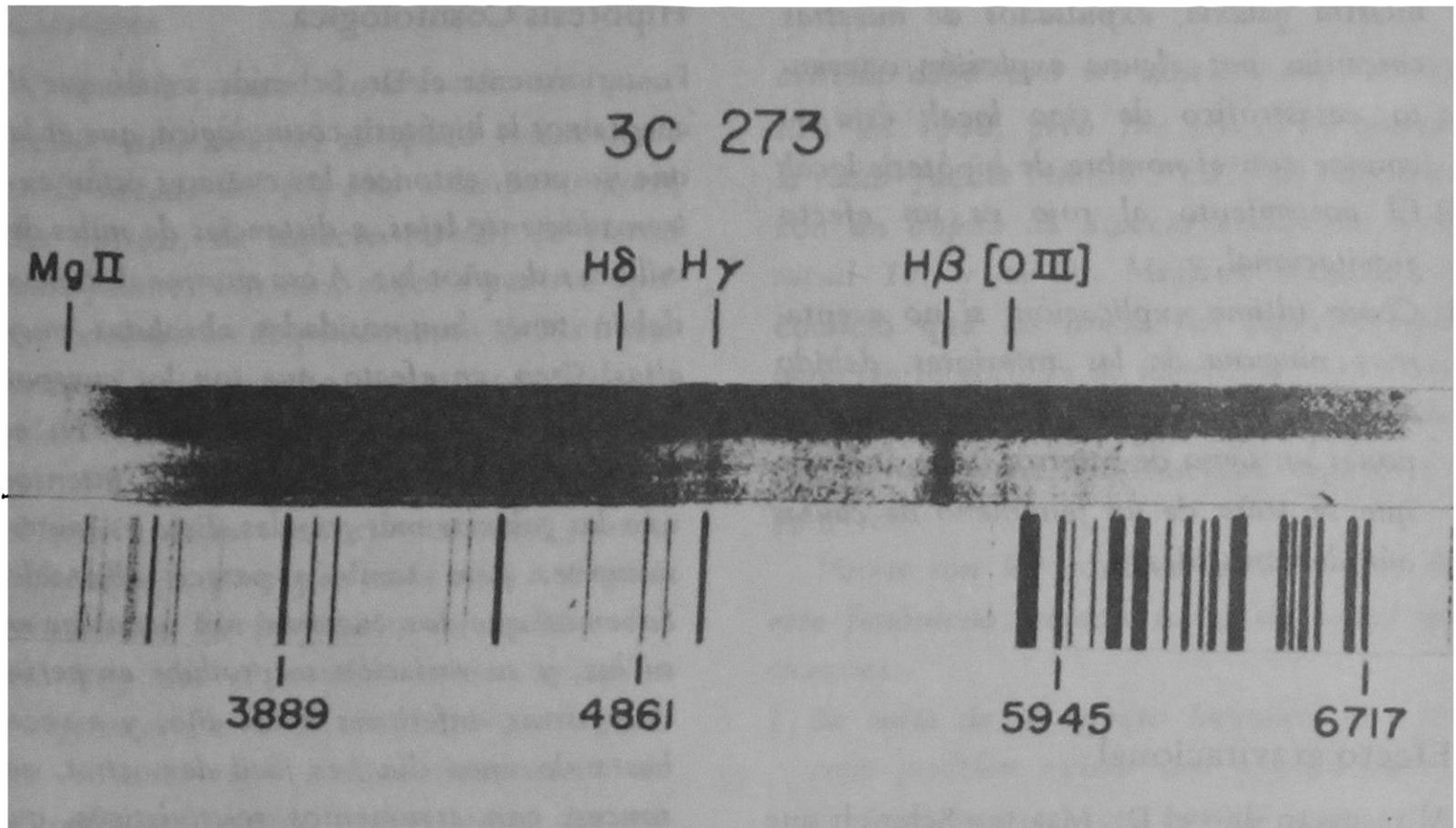
Hipótesis Cosmológica

Posteriormente el Dr. Schmidt, señaló que si aceptamos la hipótesis cosmológica, que es la que yo creo, entonces los cuasares están extremadamente lejos, a distancias de miles de millones de años luz. A esa enorme distancia deben tener luminosidades absolutas muy altas. Creo, en efecto, que son los cuerpos radiantes más intensos que existen en el Universo, cientos de veces más intensos que las galaxias más grandes. Esto es impresionante, pero también parece objetable. Sabemos que los cuasares son variables en su luz, y su variación se produce en períodos cortos, inferiores a un año, y a veces hasta de unos días; es fácil demostrar, entonces, con argumentos relativísticos, que su tamaño no puede ser mayor que un año luz en circunstancias que las galaxias más grandes que conocemos tienen un diámetro de cien mil años luz o más.

Nos encontramos entonces con un objeto llamado cuasar, que es cien veces más luminoso y al mismo tiempo cien mil veces más pequeño que las galaxias más brillantes conocidas.

En estos días — manifestó el Dr. Schmidt — es muy popular la hipótesis de que los cuasares son hoyos negros. Esta hipótesis establece que a medida que la materia cae en espiral dentro del hoyo negro, pierde parte de su masa en reposo, que se transforma en energía por la relación Mc^2 , y es radiada hacia fuera.

Alrededor de 1966, mi colega Arps comenzó a descubrir fotográficamente objetos (por ejemplo una galaxia y un cuasar) que parecían estar asociados en el cielo, pero que al mismo tiempo tenían corrimientos al rojo muy diferentes. Esta es la evidencia más contradictoria para las personas que creen, como yo, en la hipótesis cosmológica, ya que ésta implica que el corrimiento al rojo es proporcional a la distancia y que, por lo tanto, no puede haber dos objetos que están a la misma



distancia (ya que están asociados) y que tengan diferentes corrimientos al rojo. Sin embargo, considero que la evidencia de que la hipótesis cosmológica es la correcta, es actualmente tan fuerte, que creo que toda evidencia de asociación de este tipo de objetos en el espacio es simplemente un accidente. La estadística de este tipo de conexiones nunca ha sido investigada a fondo.

Otros problemas

El destacado astrónomo señaló que al estudiar los cuasares con radio-interferómetros intercontinentales surgen otros problemas. Este equipo consta de dos antenas, colocadas en continentes distintos, con una separación de seis o siete mil kilómetros. Se comprueba que al estudiar los cuasares a través de estos instrumentos se registran variaciones, que se pueden explicar en algunos casos mediante dos componentes, que se separan una de la otra en el plano del

cielo, con una velocidad que es posible determinar, ya que se conoce la distancia a partir del corrimiento al rojo; la velocidad de separación resulta ser hasta diez veces la velocidad de la luz. Esto es muy incómodo – seguro el Dr. Schmidt – ya que estamos acostumbrados a la idea que no hay nada que pueda tener una velocidad mayor que la velocidad de la luz.

Hay que tener muy claro, entonces, que aun cuando se acepte que el corrimiento al rojo es cosmológico y que los cuasares están a miles de millones años luz de distancia, quedan de todas maneras muchos problemas sin explicación.

Distribución de los cuasares en el espacio

Posteriormente, al Dr. Maarten Schmidt, señaló que, durante los últimos diez años su interés ha estado dirigido al estudio de la distribución de los cuasares en el espacio y que a este punto dedicaría el resto de la conferencia. Comenzó con una pregunta:

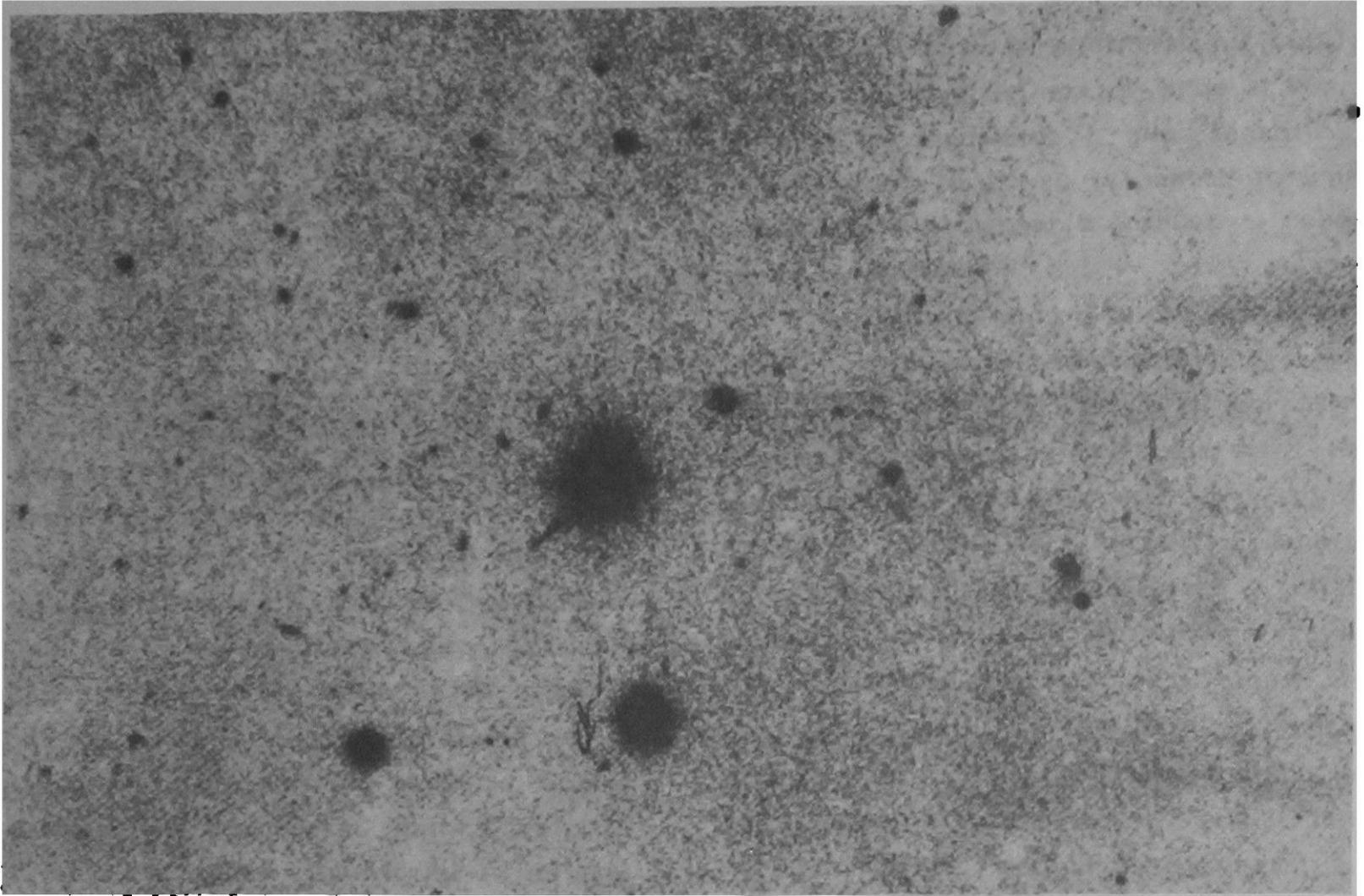
¿Como se determina la distribución de los cuasares en el espacio? Inició su respuesta recordando que a comienzos de siglo se hicieron recuentos de estrellas cuyos resultados se analizaron mediante la estadística estelar. Esto — dijo — implica un gran trabajo debido a la gran cantidad de estrellas, y dependiendo del límite de brillo hasta donde se quiere llegar. Se destacan en estas investigaciones los nombres de Kapteyn y Van Rhijn. Ellos creían que estaban estudiando el universo como un todo, e incluso uno de ellos anunció su teoría, que hoy se conoce como el Universo de Kapteyn (y que sólo se refiere a una parte local de nuestra galaxia). Recordó el conferencista que también los radioastrónomos hicieron recuentos de radio-fuentes, destacándose el nombre de Martin Ryle. Discutiendo varios catálogos de radio-fuentes — dijo — se llegó con éxito a la conclusión que muchas de ellas estaban a distancias muy grandes y que habían efectos evolucionarios en el universo, que tienen que ver con el número de radio-galaxias relacionadas con los cuasares como función de la distancia.

Aproximadamente de la misma manera se estudia la distribución de los cuasares, para ello se necesita, por lo tanto, conocer la densidad superficial de los cuasares en función de la latitud; o sea, cuántos hay por grado cuadrado en una latitud dada, desde la magnitud estelar 13 o 14, hasta la magnitud 20 o 21.

La investigación — continuó señalando Maarten Schmidt — se hizo buscando objetos con exceso ultravioleta y mediante el análisis del espectro. Desgraciadamente la información espectral estaba al principio muy incompleta, pero se encontró que en una cierta zona del cielo de 40 grados cuadrados de superficie, y hasta la magnitud 18, había medio cuasar por grado cuadrado. Lo que quedaba por hacer — dijo — era extender estos recuentos a otras regiones

del cielo, como lo hicieron Kapteyn y otros estadísticos estelares.

Sería muy interesante llegar a magnitudes más débiles, pero siempre se corre el peligro que el recuento no se complete. Por esa razón — explicó el Dr. Schmidt — se prefirió llegar hasta magnitudes algo más brillantes y estar seguros que, hasta ese brillo, no se escapaba ningún cuasar. Un estudiante mío, Mr Green — añadió — hizo un análisis en una extensa región del cielo, cubriendo en forma completa hasta la magnitud 16. La búsqueda de Green abarca 10000 grados cuadrados, que es aproximadamente, la cuarta parte de la esfera celeste, e hizo 280 exposiciones, tomando fotografías de 280 campos estelares. En cada campo — explicó Maarten Schmidt — hizo dos exposiciones, una en el ultravioleta y otra en el azul, con un leve desplazamiento entre ellas. Se sabe que los cuasares son más brillantes en el ultravioleta que en el azul. Por consiguiente, las dos exposiciones mencionadas se tomaron de modo que todos los cuasares conocidos se vieran más brillantes en la imagen ultravioleta que en la azul. De esta manera, todo otro objeto cuya imagen ultravioleta sea más brillante que la imagen azul puede ser un cuasar, aunque no lo sea necesariamente. Esto se decide estudiando el espectro, analizando las líneas que en él aparecen y su corrimiento al rojo. La estadística es la siguiente: hay 280 campos; en ellos se examinaron del orden de seis millones de estrellas, y del análisis resultaron aproximadamente tres mil objetos con exceso ultravioleta, que podían ser cuasares. Luego se tomó el espectro de estos tres mil candidatos, lo que demandó un trabajo extraordinario. El estudio dio el siguiente resultado: alrededor de 800 objetos son estrellas sub-enanas de tipo G; hay aproximadamente mil doscientas enanas blancas, algunos centenares de sub-enanas O y B, y también algunos cuasares. Sabíamos que había muy pocos cuasares en el grupo y



terminamos encontrando alrededor de 100, de ellos, alrededor de 20 eran conocidos y 80 eran nuevos. Señaló posteriormente el conferencista, que los resultados presentados son preliminares. Destacó que se encuentra que el número de cuasares aumenta con la magnitud, o sea abundan más los más débiles lo que es sorprendente. El aumento en número para el rango de magnitud (una disminución de un factor 2.5 en brillo) corresponde a un factor de aproximadamente 8.5.

Es fácil apreciar — señaló el Dr. Schmidt — que este resultado es incompatible con la hipótesis local de los cuasares, ya que se puede demostrar que esto significaría que nos encontramos en un punto en que la densidad de estos objetos es mínima, y sería muy extraño encontrarnos en un lugar singular del universo. Pero mediante la hipótesis cosmológica podemos explicar los hechos observados asumiendo que el número de cuasares aumenta con la distancia a nosotros. Este aumento tiene que ser muy fuerte; para explicar por qué el número de cuasares aumenta en un factor 8.5 por cada magni-

tud, debemos suponer que con un corrimiento al rojo $\Delta\lambda/\lambda$ igual a 2, su densidad espacial debe aumentar en un factor de 100 mil. Esto nuevamente parece indicar — dijo — que nos encontramos en un punto de densidad mínima.

Pero en la hipótesis cosmológica — afirmó el Dr. Schmidt — esto tiene una explicación: si aceptamos que los cuasares están a enormes distancias de nosotros, cinco o diez mil millones de años luz, entonces la luz ha demorado cinco o diez mil años, una buena parte de la edad del universo, en llegar hasta nosotros; y por lo tanto, estamos mirando hacia atrás en el tiempo, a una época temprana del universo. Esto significa que la existencia de un mayor número de cuasares a mayor distancia corresponde, en realidad, a la existencia de un mayor número de cuasares en la era temprana del universo. Esto no es sorprendente, ya que los cuasares emiten tanta energía que se estima que su vida media debe ser muy corta, del orden de 10 a 100 millones de años. Según mis resultados — señaló — el tiempo de decaimiento de los cuasares es

1/18 de la edad el universo, es decir, que en ese tiempo de aproximadamente mil millones de años, disminuyen en un factor e.

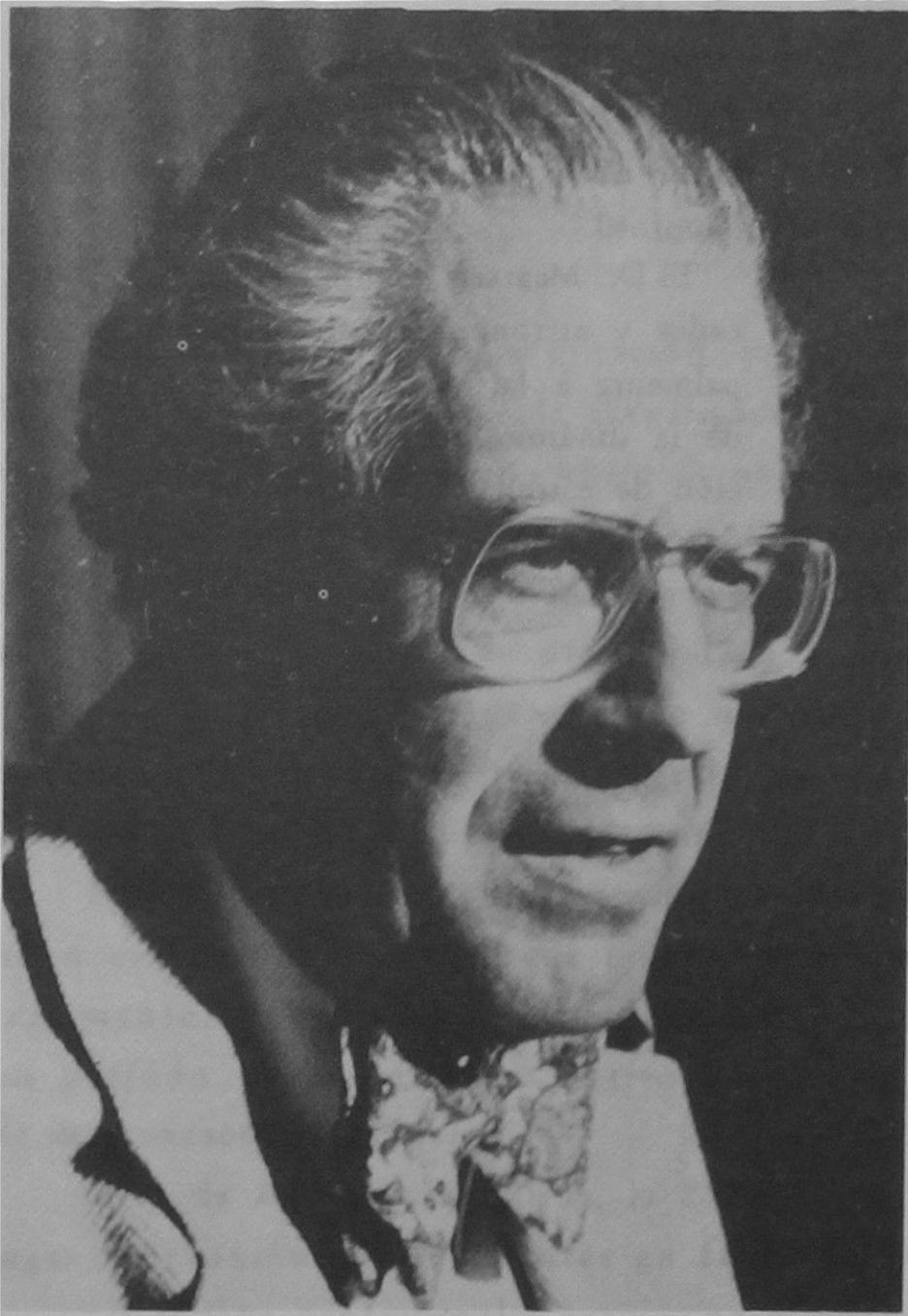
Cuasares: Radio – Fuentes

El astrónomo Maarten Schmidt señaló que solamente una pequeña parte de los cuasares, en un 1º/o o algo así, son radio fuentes intensas.

El análisis estadístico de este tipo de cuasares demuestra que la disminución de su densidad espacial con el tiempo es mucho más lenta que la de los cuasares ópticos, y si además consideramos que actualmente son muchísimos menos, se llega a la con-

clusión que en las etapas iniciales del universo su número era extremadamente pequeño comparado con el número de cuasares ópticos. Aún no se tiene explicación para este fenómeno – dijo.

Por otra parte, el conocer cómo aumenta la densidad de los cuasares con la distancia o lo que es lo mismo, con el corrimiento al rojo, nos permitiría predecir cuántos cuasares debe haber para un corrimiento al rojo dado, por ejemplo del orden de 4 a 5; si éstos no se encuentran, habrá que aceptar el hecho, largamente sospechado, de que puede existir un límite superior para el corrimiento al rojo de los cuasares – afirmó el Dr. Schmidt, quien terminó diciendo: la solución de todos estos problemas constituye uno de los principales desafíos de la astronomía del presente.



Maarten Schmidt, astrónomo destacado, descubridor de los objetos estelares, Cuasares.

Maarten Schmidt

Nació en Groningen, Holanda el 28 de Diciembre de 1929. Obtuvo el Bachiller en Ciencias (B.Sc.), en la Universidad de Groningen en 1949, luego el Doctorado (Ph.D.) en la Universidad de Leiden (Holanda) en 1956 y el Doctorado en Ciencias (Sc.D.) en la Universidad de Yale (EE.UU) en 1966. Se inició como Oficial Científico del Observatorio de Leiden en 1953, continuando hasta 1959. Entre 1956 y 1958 fue Postdoctoral Carnegie Fellow y a partir de 1959 es Miembro de Facultad del California Institute of Technology (EE.UU). En 1964 fue nombrado Profesor de Astronomía y entre 1972 y 1973, Oficial Ejecutivo de Astronomía. Desde 1973 a 1978 fue Chairman de la División de Física, Matemáticas y Astronomía. Hay que destacar también que desde 1959 fue miembro del personal cientí-



fico de los Observatorios Hale, siendo nombrado Director de estos Observatorios en 1978. Los Observatorios Hale están integrados por los Observatorios de Mount Wilson y Palomar de los EE.UU. y por el Observatorio de Las Campanas en Chile.

Es miembro de las siguientes sociedades científicas: American Academy of Arts and Sciences, American Astronomical Society (ambas de EE.UU.), Royal Astronomical Society (Inglaterra) e International Astrono-

mical Union.

En 1964 fue co-ganador del premio California Scientist of the Year y del premio Helen B. Warner. En 1968 obtuvo el premio Rumford.

El Dr. Maarten Schmidt, distinguido educador y astrónomo, se ha dedicado principalmente a la investigación en problemas de la dinámica de nuestra galaxia, formación de estrellas, radio galaxias y cuasares. Sus publicaciones son numerosísimas.