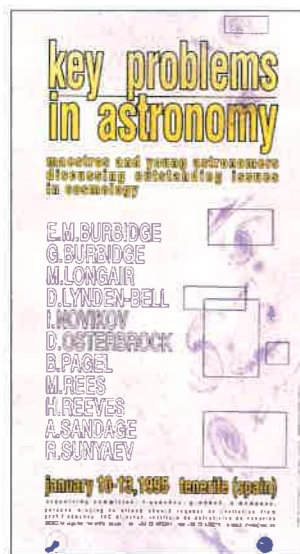


**IMÁGENES DEL ENCUENTRO/VIEWS OF THE MEETING  
"KEY PROBLEMS IN ASTRONOMY"**

Dentro/Inside



Fuera/Outside



**¡NOVEDAD!**

La editorial Cambridge University Press editará un libro con el desarrollo de este Encuentro y sus discusiones. Asimismo podrá adquirirse a través del IAC la colección de vídeos de las sesiones científicas (*Persona de contacto: Monica Murphy; mem@iac.es*)

**NEW!**

Cambridge University Press will be publishing a special volume containing all the invited lectures and debates at the meeting. A collection of video tapes with recordings of the scientific sessions may also be purchased upon request to the IAC. (*please contact Monica Murphy; mem@iac.es*)



**INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE CANARIAS (IAC)**

**INSTITUTO DE ASTROFÍSICA (La Laguna, TENERIFE)**  
C/ Vía Láctea, s/n  
E38200 LA LAGUNA (TENERIFE), ESPAÑA  
Teléfono: 34 - (9) 22/ 605200  
Fax: 34 - (9) 22/ 605210  
E-mail: cpv@iac.es  
WWW Home Page: <http://www.ll.iac.es/home.html>  
Ftp: iac.es

**Oficina de Transferencia de Tecnología (OTRI)**  
Teléfono: 34 - (9) 22/ 605219  
E-mail: etd@iac.es

**Oficina Técnica para la Protección del Cielo (OTPC)**  
Teléfono: 34 - (9) 22/ 605365  
E-mail: fdc@iac.es

**OBSERVATORIO DEL TEIDE (TENERIFE)**  
Teléfono: 34 - (9) 22/ 329100  
Fax: 34 - (9) 22/ 329117  
Télex: 91434 OBTE E  
E-mail: teide@iac.es

**OBSERVATORIO DEL ROQUE DE LOS MUCHACHOS (LA PALMA)**  
Apartado de Correos 303  
E38700 SANTA CRUZ DE LA PALMA  
Teléfono: 34 - (9) 22/ 405500  
Fax: 34 - (9) 22/ 405501  
Télex: 92639 OBRM E

**Oficina de S/C de La Palma**  
Teléfono: 34 - (9) 22/ 411552



FUNDACION BBV

**ESPECIAL/  
SPECIAL ISSUE  
1995**

Allan R. Sandage

Geoffrey Burbidge

Donald Lynden-Bell

E. Margaret Burbidge

Donald E. Osterbrock

Malcolm S. Longair

Igor D. Novikov

Martin J. Rees

Bernard E.J. Pagel

Hubert Reeves

Rashid A. Sunyaev



**KEY PROBLEMS IN ASTRONOMY**

("Problemas clave en Astronomía")

Puerto de la Cruz (Tenerife)

10-13 / 1 / 1995

Organizado por el IAC y la Fundación BBV  
Organized by the IAC and the Fundación BBV



*Profesores invitados y organizadores del Encuentro "Key Problems in Astronomy".  
Invited speakers and organizers of the meeting on "Key Problems in Astronomy".*

**La Astrofísica del siglo XXI  
Astrophysics in the 21st Century**

Once de los grandes maestros de la Astrofísica de nuestros días trataron en Tenerife de predecir el futuro de la Cosmología. Partiendo de lo que aún no conocemos y tras cuatro días de reunión, identificaron los proyectos clave que, a su juicio, deberían emprender las próximas generaciones. En esta edición especial de *IAC Noticias*, nos confiesan además cuál de esos proyectos de investigación elegirían para sí mismos, si tuvieran que iniciar de nuevo su carrera o su tesis en Astrofísica.

*Eleven of the greatest maestros in Astrophysics of our time attempted to predict the future of Cosmology during a meeting held in Tenerife. Starting from what is still unknown to us, after four days at work they succeeded in identifying key projects which, in their view, should be tackled by future generations. In this special issue of the IAC Noticias they even confess which of these research projects they would choose to pursue themselves, were they about to start their career or Ph.D. in Astrophysics.*

SUMARIO/SUMMARY

Los 11 astrónomos invitados respondieron a las dos preguntas que reproducimos a continuación. Las respuestas a las mismas dan contenido a este especial.

PREGUNTAS:

1. Si fuera a comenzar ahora su tesis doctoral o su carrera como astrónomo, ¿cuál de los problemas clave de los del tipo que se debate aquí decidiría estudiar?  
 2: A tenor de lo que se está planteando en las reuniones, parece que los astrónomos realmente necesitan utilizar telescopios grandes, como la nueva generación de instrumentos de 8 metros o mayores. Supongo que estará al corriente de la iniciativa del IAC para la construcción de un gran telescopio en el Observatorio del Roque de los Muchachos. ¿Podría usted hacer algún comentario sobre cómo y en qué medida pueden estos instrumentos contribuir a mayores avances en la Astrofísica?

NOTA: cuestiones formuladas en enero de 1995.

The eleven guest astronomers answered the two questions reproduced below. Their responses are contained in this special issue.

QUESTIONS:

1: If you were about to start your Ph.D. or your career as an astronomer, which of the "key problems" of the kind we are discussing here would you decide to tackle?  
 2: It transpired from the meetings that astronomers really need to use large telescopes, the new generation of instruments of 8 meters or more. I suppose you are aware of the IAC's initiative to undertake construction of a large telescope for the Roque de los Muchachos Observatory. We would like to hear what you have to say about this sort of telescope in regard to how and to what extent can they contribute to further advances in Astrophysics.

NB: questions posed in January 1995.

COMITÉ ORGANIZADOR/  
ORGANIZING COMMITTEE:

Prof. Guido Münch  
 Prof. Francisco Sánchez  
 Dr. Antonio Mampaso

SECRETARÍA/SECRETARIAT:  
 Monica Murphy

3/ Reunión en Tenerife de prestigiosos maestros de la Astrofísica con jóvenes investigadores  
 Outstanding experts in Astrophysics gather in Tenerife with young researchers

4 y 5/ A hundred "Key Problems" for 21st century Astronomy  
 Un centenar de problemas clave para la Astronomía del siglo XXI

6-7/ The expanding Universe  
 El Universo en expansión  
 ALLAN R. SANDAGE

Observatorios de la Institución Carnegie de Washington en California (EEUU)

8-9/ The physics of galaxies  
 La física de las galaxias  
 GEOFFREY BURBIDGE

Centro de Astrofísica y Ciencia Espacial de la Universidad de California, en La Jolla (EEUU)

10-11/ The nature of dark matter  
 La naturaleza de la materia oscura  
 DONALD LYNDEN-BELL

Instituto de Astronomía de la Universidad de Cambridge (Reino Unido)

12-13/ The association of quasars with galaxies  
 La asociación de cuásares con galaxias  
 E. MARGARET BURBIDGE

Centro de Astrofísica y Ciencia Espacial de la Universidad de California, en La Jolla (EEUU)

14-15/ Active galactic nuclei  
 Núcleos activos de galaxias  
 DONALD E. OSTERBROCK

Observatorio de Lick en Santa Cruz, California (Estados Unidos)

16-17/ The evolution of galaxies  
 La evolución de las galaxias  
 MALCOLM S. LONGAIR

Laboratorio Cavendish de la Universidad de Cambridge (Reino Unido)

18-19/ The origin of the Universe  
 El origen del Universo  
 IGOR D. NOVIKOV

Centro de Astrofísica Teórica, Copenhague (Dinamarca)

20-21/ The very early Universe  
 El universo muy temprano  
 MARTIN J. REES

Instituto de Astronomía de la Universidad de Cambridge (Reino Unido)

22-23/ Chemical composition  
 La composición química  
 BERNARD E.J. PAGEL

Instituto Nórdico de Física Teórica NORDITA, Copenhague (Dinamarca)

24-25/ The geography of the Universe  
 La geografía del Universo  
 HUBERT REEVES

Centro de Estudios Nucleares CEN, Saclay, París (Francia)

26-27/ Physics in extreme conditions  
 La física en condiciones extremas  
 RASHID A. SUNYAEV

Instituto de Investigación Espacial de la Academia de Ciencias de Moscú (Rusia)

KEY PROBLEMS IN ASTRONOMY  
 Conferencias / Invited Talks

A.R. SANDAGE:  
 "Astronomical problems for the next three decades" (Problemas astronómicos para las próximas tres décadas)

G. BURBIDGE:  
 "Cosmological tests which may distinguish between the Classical Big Bang and the Quasi-Steady State Model" (Tests cosmológicos para distinguir entre el Big Bang clásico y el Modelo del Estado Quasi-Estacionario)

D. LYNDEN-BELL:  
 "Omega, dark matter and galactic history" (Omega, la materia oscura y la historia galáctica)

E.M. BURBIDGE:  
 "Observations of the Spectra of QSOs which are critical for Cosmology" (Observaciones de espectros de cuásares que son críticas en Cosmología)

D.E. OSTERBROCK:  
 "Nature, structure, refueling and evolution of Active Galactic Nuclei" (Naturaleza, estructura, fuente de energía y evolución de los Núcleos Activos de Galaxias)

M.S. LONGAIR:  
 "The high energy radiation of Active Galactic Nuclei" (La radiación de alta energía de los Núcleos Activos de Galaxias)

I.D. NOVIKOV:  
 "Physics and Astrophysics of Black Holes" (Física y Astrofísica de los Agujeros Negros)

M.J. REES:  
 "The structure of the Universe and its origin" (La estructura del Universo y su origen)

B.E.J. PAGEL:  
 "Cosmic Abundances" (Abundancias cósmicas)

H. REEVES:  
 "Clues to the early development of Galaxies" (Claves para el desarrollo temprano de las galaxias)

R. A. SUNYAEV:  
 "The observational appearances of accreting Black Holes in X-Ray Binaries" (Características observacionales de agujeros negros con acreción en binarias de rayos X)

INSTITUTO DE ASTROFISICA  
 DE CANARIAS (IAC)

Director: Francisco Sánchez  
 Jefe del Gabinete de Dirección: Alfonso Ruigómez

Edición, redacción y confección: Carmen del Puerto y Begoña López Betancor  
 Transcripción y traducción inglés-español: Begoña López Betancor  
 Traducción español-inglés: Monica Murphy  
 Asesoramiento científico: Antonio Mampaso  
 Distribución: Ana Quevedo  
 Fotografías de conferenciantes: Miguel Briganti

Depósito Legal: TF-335/87  
 ISSN: 0213/893X

Organizada por el IAC y la Fundación BBV

REUNIÓN EN TENERIFE DE PRESTIGIOSOS  
 MAESTROS DE LA ASTROFÍSICA CON  
 JÓVENES INVESTIGADORES

En un Encuentro bajo el lema «Key Problems in Astronomy» (Problemas clave en Astronomía), organizado por el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) y la Fundación BBV, once de los más prestigiosos astrofísicos de todo el mundo se reunieron en el Puerto de la Cruz (Tenerife) con jóvenes investigadores españoles y de diferentes partes del mundo, entre el 10 y el 13 de enero de 1995.

Revisando los paradigmas cosmológicos

«Los avances en la Física normalmente tienen lugar paso a paso», señala Guido Münch, Premio Príncipe de Asturias que presidió el Comité Organizador. «Cada uno de ellos es el resultado de la revisión continua de los paradigmas científicos pre-establecidos. De vez en cuando, sin embargo, se producen avances revolucionarios motivados por nuevas observaciones, experimentos o teorías, que obligan a cambiar esos paradigmas, proporcionando perspectivas totalmente nuevas del mundo físico. Estos grandes avances surgen con frecuencia del estudio de problemas aparentemente intrascendentes que, una vez bien comprendidos, proporcionan una nueva vía para el conocimiento del Universo. Desde luego no podemos adivinar -continúa Guido Münch- qué paradigmas astronómicos van a sustituir a los actuales, pero pensamos que sería muy útil revisar a fondo nuestra ciencia en busca de estos problemas clave, y eso es lo que pedimos a nuestros invitados».

Organized by the IAC and the BBV Foundation

OUTSTANDING EXPERTS IN ASTROPHYSICS  
 GATHER IN TENERIFE WITH YOUNG  
 RESEARCHERS

During an encounter under the topic "Key Problems in Astronomy", organized by the Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) and the Fundación BBV, eleven of the most prestigious astrophysicists worldwide gathered in Puerto de la Cruz (Tenerife), January 10th - 13th, together with young researchers from Spain and other parts of the world.

Reviewing cosmological paradigms

"Advances in Physics usually take place step by step", were the words of Guido Münch, Prince of Asturias Award for Scientific and Technological Research and Chairman of the Organizing Committee of the conference. "Each step is the result of continuous testing of pre-established scientific paradigms. From time to time, however, revolutionary advances take place, heralded by new observations, experiments or theories which force us to change those paradigms, providing totally new perspectives of the physical world. These great advances frequently arise when examining problems that appear to be innocuous but which, once well understood, open a new path for understanding the Universe. We certainly cannot guess - continues Guido Münch- which astronomical paradigms are likely to take the place of current ones, but we believe it will prove extremely useful to revise our science thoroughly in the search for those key problems, and this is precisely what we have asked our guests to do".

"LOS GRANDES  
 AVANCES SURGEN  
 CON FRECUENCIA  
 DEL ESTUDIO DE  
 PROBLEMAS  
 APARENTEMENTE  
 INTRASCENDENTES  
 QUE, UNA VEZ BIEN  
 COMPRENDIDOS,  
 PROPORCIONAN LA  
 CLAVE PARA ABRIR  
 NUEVAS VENTANAS AL  
 CONOCIMIENTO DEL  
 UNIVERSO".

"GREAT ADVANCES  
 MAY ARISE WHEN  
 EXAMINING PROBLEMS  
 THAT APPEAR TO BE  
 INSIGNIFICANT BUT  
 WHICH, ONCE WELL  
 UNDERSTOOD, OPEN A  
 NEW PATH FOR  
 UNDERSTANDING THE  
 UNIVERSE".

## A HUNDRED "KEY PROBLEMS" FOR 21st CENTURY ASTRONOMY

The meeting on "Key Problems in Astronomy" was brought to a close in Puerto de la Cruz with Malcolm Longair's concluding remarks and a few words of farewell by Donald Osterbrock, the most veteran of the invited speakers and Chair of the final session. The conference has provided a forum to identify and examine the most important issues which are to be tackled by Astrophysics - especially Cosmology - on the verge of the 21st century.

### 23 "KEY PROBLEMS", ACCORDING TO SANDAGE

#### Understanding the Hubble Sequence

- 1.- Is the sequence due to evolution or initial conditions?
- 2.- Parameters that do and do not vary along it.
- 3.- Cause of the sequence width
- 4.- Is spiral structure totally kinematic?
- 5.- Is the initial star formation rate (SFR) the principal driver?
- 6.- Cosmogony of the density-morphology relation
- 7.- Role of "mergers"
- 8.- Origin and age of the dust

#### Stellar evolution and the Galaxy

- 9.- Age, kinematics & chemical distribution functions of all the galactic components.
- 10.- The cosmogony of the distributions
- 11.- The sequence of events (appearance of the early Galaxy)
- 12.- Age-metallicity relation at different Galactic positions
- 13.- The mass function from stars to rocks. Rocks between the stars?
- 14.- Star counts to map the halo and the thick disk

#### The Universe: Practical cosmology

- 15.- Is the expansion real?
  - 15a.- Tolman  $SB \propto (1+z)^4$  test
  - 15b.- Time dilation with SNe:  $t(z) = t(0)(1+z)$
  - 15c.- MWB Temperature:  $T(z) = T(0)(1+z)$
- 16.- Evolution in the look-back time (primeval galaxies)
- 17.- The distance scale
  - 17a.- Calibration of all indicators
  - 17b.- The bias problems of all indicators
  - 17c.- Why some methods are wrong
- 18.-  $q(0)$
- 19.- Explain the excess  $N(m)$  counts
- 20.- Nature of the dark matter: omega
- 21.- Are there significant velocity deviations from the pure expansion?
- 22.- The IGM (gas, dust and rocks between the galaxies?)
- 23.- Formation time for large-scale structure

According to Malcolm Longair, nearly a hundred key problems were raised throughout the meeting, amongst which are the 23 issues presented by Allan Sandage on the first day of the meeting (see attached list). "The intriguing aspect of the story is how we are dealing with a vast interlocking jig-saw, in which each piece can strongly influence every other part of the puzzle".

The meeting also heard about "exotic astronomy", as Malcolm Longair called it. Under this heading are the hypothetical "time-machines", defended by Igor Novikov, as well as unorthodox interpretations of the quasar-galaxy associations and non-cosmological redshifts put forward by Geoffrey Burbidge, a firm supporter of the quasi-steady state of the universe (an alternative to the Big Bang theory).

The so-called key problems were grouped under three general fields of investigation: galaxies (including our own), extragalactic astrophysics (including high energy astrophysics) and cosmology. The first comprises problems related with the overall properties of the Universe: size, age and content (chemical composition in particular, which Bernard Pagel lectured on). Astronomers attempt to measure parameters such as size and age - necessary to determine the Hubble constant - within a margin of error of 10% and not 30% as is the case at present. Dark matter is another of the key enigmas. Hubert Reeves said that "it is the object most sought after by astronomers at the end of the 20th century, very much in the same way as

19th century astronomers searched for ether".

The second set of problems addressed at the meeting refers to the properties - namely morphology and origin of the energy source - of active galactic nuclei (AGN). These range from more nearby galaxies to distant quasars (the latter were analysed by Margaret Burbidge). According to astronomers, AGN constitute true milestones for reconstructing the history of the Universe.

The third group of topics under discussion concerns black holes, both the primordial objects (whose existence remains highly speculative) and those found in stellar systems and the centres of galaxies, as advocated by Martin Rees and Donald Lynden-Bell. The attendees at the meeting were virtually unanimous in their support of the existence of stellar black holes and that the system V404, in the constellation of the Swan (discovered by an IAC researcher using the William Herschel Telescope), is still one of the best black hole candidates, as Rashid Sunyaev pointed out during the meeting.

Finally, Malcolm Longair emphasized the chief importance of making new telescopes operational for observing in the entire electromagnetic spectrum and added that large telescopes exceeding 8 metres will become standard tools in the future. "The era of large optical-infrared telescopes has begun" he said, underlining the decisive need of supporting very strongly the project for a large telescope in the Canary Islands.

## UN CENTENAR DE «PROBLEMAS CLAVE» PARA LA ASTRONOMÍA DEL SIGLO XXI

Con las conclusiones presentadas por Malcolm Longair y unas breves palabras de despedida de Donald Osterbrock, como veterano del grupo y presidente de la última sesión, se clausuraba la reunión «Key problems in Astronomy» (Problemas clave en Astronomía) del Puerto de la Cruz. En esta reunión se identificaron y estudiaron los problemas más importantes con los que se enfrentan hoy en día, en el umbral del siglo XXI, la Astrofísica y, en especial, la Cosmología.

En resumen y según el informe de Malcolm Longair, a lo largo de estas sesiones se plantearon casi un centenar de «problemas clave», entre los que se encontraban las 23 cuestiones sugeridas el primer día de reunión por Allan Sandage (ver relación adjunta). «Estamos estudiando un vasto e intrincado rompecabezas - señaló Longair - en el que cada pieza puede influir fuertemente en las demás.»

También tuvo cabida en esta reunión lo que Malcolm Longair denominó «astronomía exótica». Bajo esta clasificación se encontrarían las hipotéticas «máquinas del tiempo», defendidas por Igor Novikov, así como las interpretaciones heterodoxas de las asociaciones cuásares-galaxias y los corrimientos al rojo no cosmológicos que planteó Geoffrey Burbidge, un firme defensor del modelo del Estado Cuasi-Estacionario del Universo (alternativa opuesta a la teoría del Big Bang).

Estos llamados «key problems» se agrupan en tres grandes campos de investigación: Galaxias (incluida la nuestra), Astrofísica extragaláctica (junto a la Astrofísica de alta energía) y Cosmología. El primero comprende problemas relacionados con las propiedades globales del Universo: su tamaño, edad y contenido (en especial, la composición química, de la que habló en esta reunión Bernard Pagel). En torno al tamaño y a la edad, parámetros que determinan la llamada «constante de Hubble», los astrónomos intentan medirlos con un margen de error del 10%, y no del 30%, como sucede en la actualidad. La materia oscura es otro de los enigmas «clave». Hubert Reeves dijo que constituía «el objeto de búsqueda de los

astrónomos de finales del siglo XX del mismo modo que los astrónomos del siglo XIX buscaban el éter.»

El segundo grupo de problemas planteados por los participantes se refiere a las propiedades (morfología y origen de la fuente de energía) de los núcleos de las galaxias activas (AGN en sus siglas en inglés). Éstos engloban tanto a las galaxias más cercanas como a los cuásares más alejados (analizados estos últimos por Margaret Burbidge). Según los astrónomos, los AGN constituyen auténticas «balizas» para reconstruir la historia del Universo.

El tercer bloque de discusión fueron los agujeros negros, tanto los primordiales (cuya existencia es aún muy especulativa), como los que se encuentran en sistemas estelares y en los núcleos de galaxias, tal y como proponen Martin Rees y Donald Lynden-Bell. Se destacó la «convicción casi del 100%» de la existencia de agujeros negros de tipo estelar y de que el sistema V404, de la Constelación del Cisne (descubierto por un investigador del IAC con el telescopio «William Herschel»), sigue siendo uno de los mejores candidatos a agujero negro, tal y como señaló en esta reunión Rashid Sunyaev.

Por último, Malcolm Longair destacó la importancia «clave» de disponer de nuevos telescopios para observar en todas las bandas del espectro electromagnético y añadió que los grandes telescopios de más de 8 metros serán en el futuro las herramientas de trabajo habituales. «Entramos - dijo - en la era de los grandes telescopios ópticos-infrarrojos», razón por la que señaló la necesidad de apoyar fuertemente el proyecto de un telescopio de estas características para Canarias.

### 23 "PROBLEMAS CLAVE", SEGÚN SANDAGE

#### Entender la Secuencia de Hubble (SH)

- 1.- ¿Es debida a la evolución o a las condiciones iniciales?
- 2.- Parámetros que varían y que no varían a lo largo de la SH
- 3.- Origen de la anchura de la SH
- 4.- ¿Es la estructura espiral completamente cinemática?
- 5.- ¿Es la tasa de formación estelar inicial el principal causante?
- 6.- Cosmogonía de la relación densidad-morfología
- 7.- Papel de los "mergers" (fusiones de galaxias)
- 8.- Origen y edad de los granos de polvo

#### Evolución estelar y la Galaxia

- 9.- Edad, cinemática y abundancias químicas de todos los componentes galácticos.
- 10.- Cosmogonía de sus distribuciones.
- 11.- La secuencia de sucesos (aparición de la Galaxia temprana)
- 12.- Relación edad-metalicidad en diferentes posiciones galácticas
- 13.- La función de masa desde estrellas a rocas. ¿Hay rocas entre las estrellas?
- 14.- Conteos estelares: mapas del halo y disco grueso

#### El Universo. Cosmología práctica

- 15.- ¿Es real la expansión?
  - 15a.- El test de Tolman. Brillo superficial dependiente de  $(1+z)^4$
  - 15b.- Retraso temporal con supernovas  $t(z) = t(0)(1+z)$
  - 15c.- Temperatura del fondo de microondas  $T(z) = T(0)(1+z)$
- 16.- Evolución en tiempos pasados (galaxias primigenias)
- 17.- La escala de distancias
  - 17a.- Calibración de todos los indicadores
  - 17b.- Problemas de sesgo de todos los indicadores
  - 17c.- ¿Por qué algunos métodos son erróneos?
- 18.-  $q(0)$
- 19.- Explicar el exceso en conteos  $N(m)$
- 20.- Naturaleza de la materia oscura: Omega
- 21.- ¿Hay desviaciones significativas de velocidad, aparte de la pura expansión cosmológica?
- 22.- El medio intergaláctico (¿gas, polvo y rocas entre las galaxias?)
- 23.- Tiempo de formación de la estructura a gran escala

## ALLAN R. SANDAGE

The Observatories of the Carnegie Institution of Washington  
USA

## The expanding Universe

## PROFILE

ALLAN R. SANDAGE was born in Iowa (USA) on 18 June 1926. He received his B.S. in Physics at the University of Illinois, and his Ph.D. in Astronomy at Caltech 1953.

He is at present and since 1952 Staff Member of The Observatories of the Carnegie Institution of Washington (formerly Mount Wilson and Palomar Observatories, later Hale Observatories). He is besides Research Associate at the Space Telescope Science Institute since 1987.

He has also lectured at the universities of Cambridge, Harvard, Princeton and Johns Hopkins, as well as in the Australian National University, among others.

He started his research work together with the great astronomer Walter Baade and with "the father of the observational cosmology" Edwin P. Hubble.

For more than 40 years, Sandage has been at the forefront of observational cosmology. One of his first achievements was a practical method for determining the age of stellar systems. He found the age of stars in globular clusters to be at least 10 billion years.

Allan Sandage is known worldwide for his derivation of a distance scale in the Universe. He has also devoted much work to the determination of the Hubble constant, which is of great importance for the scale and age of the Universe.

Sandage is member of the most prestigious international scientific institutions; he has received a number of awards for his long research career, among them the Helen B. Warner Prize, American Astronomical Society (1958); the Gold Medal of the Royal Astronomical Society (1967); the National Medal of Science (1971) and the Crafoord Prize, Swedish Academy of Science (1991).

In 1964 he published the Hubble Atlas of Galaxies, in 1988 the Atlas of Galaxies Useful for Measuring the Cosmological Distance Scale and, in 1994, the Carnegie Atlas of Galaxies.



Allan Sandage

«It would be terribly important to have direct prove that the Universe actually expands. We don't see over a time interval the changes in the distances to galaxies as they are moving out, because that is too long term to see in a few years. But there are three tests that can be made for the reality of the expansion, and the most powerful of those tests is the following: if the galaxies are actually moving away from us, then if you have two identical galaxies, one stationary and one moving, the surface brightness of the one that is moving - if the redshift really means motion - is decreased, made fainter, by the fourth power (and that is a huge power) of one plus the redshift. So, I would mount an observational programme that could be done right now. There is nothing that is stopping the experimental test. It is not simple, because galaxies are not "plane sheets of paper" without a gradient of their intensity distribution, but there are ways to overcome that. I would mount a programme to test the surface brightness decay as  $(1+z)^4$ . Your students can do that right now with the telescopes on this fantastic site. I would hope that that might be a project that the people in your Institute could start right now. It is the Tolman test to the  $(1+z)^4$  decay in a real expansion. Suppose that the expansion is not there, and the redshift is due to some strange phenomena we don't know, and new physics would be involved, and the decrease is only to the first power of  $(1+z)$ ... But the difference between the first power and the fourth power is enormous, even at redshifts of  $z = 0.4$ , and that is absolutely possible to measure right now. So that is the problem I would tackle if I were about to start my Ph.D.; I would like to do it right now!»

## Just a photon flux

«What has been discovered in the last ten years is: that when you go faint enough you are looking so far in time and into the early universe that you can begin to test, really to see, the evolution of the Universe in an earlier stage. In my generation we guessed in some way that evolution had occurred, but by going to large redshifts you can actually see the difference. You see the progress in the last two or three years of the Keck Telescope, which has four times the light gathering power of 5 metre telescopes, and problems that could not have been done because of the lack of photons,... Problem after problem is being tackled in Hawaii with the Keck, you just need a photon flux. Some of those problems are, for example: you need very high resolution spectra for the Lyman- $\alpha$  forest. What is the Lyman- $\alpha$  forest? It is a great mystery. Are the Lyman- $\alpha$  hydrogen clouds primeval galaxies? That was never suspected before, undifferentiated matter. We have only begun to work on that, and with four metre telescopes you just don't have enough light to spread out in the resolution of the spectrograph that you need in order to solve many problems. So, your 8 metre telescope is going to open up an enormous number of problems about the early universe.»

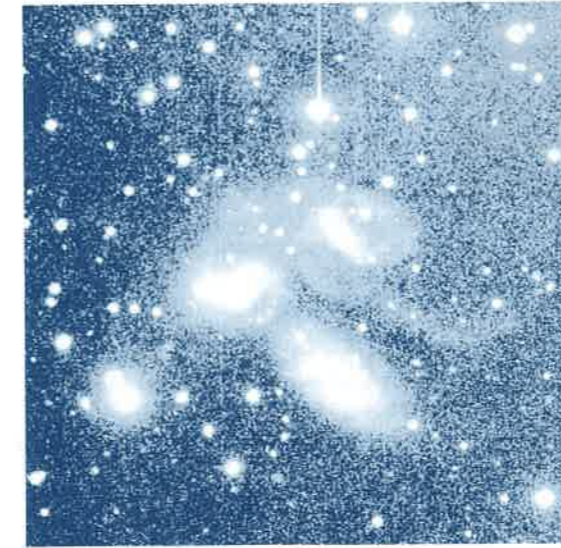
## ALLAN R. SANDAGE

Los Observatorios de la Institución Carnegie de Washington  
EEUU

## El Universo en expansión

## PERFIL

«Sería extremadamente importante encontrar pruebas directas de que el Universo está realmente en expansión. En un corto intervalo de tiempo no apreciamos los cambios en las distancias a las galaxias a medida que éstas se alejan, porque es algo demasiado a largo plazo como para apreciarlo en unos pocos años. Pero hay tres formas de comprobar la realidad de la expansión, y la más convincente sería la siguiente: si las galaxias se alejan en realidad de nosotros, y consideramos dos galaxias idénticas, una de ellas estacionaria y la otra en movimiento, el brillo superficial de la que se mueve - si el corrimiento al rojo realmente indica movimiento - entonces disminuye en un factor  $(1+z)^4$  (y 4 es un exponente enorme). Así que yo iniciaría este programa observacional, que podría hacerse ahora mismo. No hay nada que impida la realización del experimento; pero es algo complicado, porque las galaxias no son como "hojas de papel planas", sin gradientes de intensidad a través de ellas. Haría el experimento de comprobar la reducción en el brillo superficial proporcional a  $(1+z)^4$ . Los estudiantes del IAC pueden intentarlo actualmente con los telescopios que tienen en este maravilloso emplazamiento con el que cuentan. Ése sería un proyecto en el que los científicos del IAC podrían empezar a trabajar ya, el test de Tolman de la reducción del brillo superficial en el factor  $(1+z)^4$ . Si no hubiera expansión, y el corrimiento al rojo se debiera a algún fenómeno desconocido, con nuevas leyes físicas, entonces la reducción sería sólo en un factor de  $(1+z)$ . Pero la diferencia entre la primera y la cuarta potencia es enorme, incluso a corrimientos al rojo de  $z = 0.4$ , y actualmente esto puede medirse perfectamente. Éste sería mi tema de trabajo si fuera a empezar ahora mi doctorado; de hecho, me gustaría empezar ahora mismo.»

Quinteto de Stephan/Stephan's Quintet  
(J.J.Fuensalida/IAC-80. OT,IAC)

«En los últimos años se ha descubierto que, a medida que observamos objetos más débiles, retrocedemos tanto en el tiempo, hacia el universo temprano, que podemos comprobar, ver realmente, la evolución del Universo en una época más temprana. En mi generación adivinábamos en cierto modo que se había producido esa evolución pero, yendo a grandes corrimientos al rojo se puede ver en realidad la diferencia. Fíjense, por ejemplo, en los grandes avances realizados en los últimos dos o tres años con el telescopio Keck, que tiene cuatro veces más capacidad de recolectar luz que un telescopio de cinco metros. Todos y cada uno de los problemas que antes no podían estudiarse por falta de fotones han sido abordados en Hawai con este telescopio. Todo lo que hace falta es un flujo de fotones adecuado. Uno de estos problemas es que se necesitan espectros de alta resolución del "Lyman- $\alpha$  forest". ¿Qué es el "Lyman- $\alpha$  forest"? Se trata de un gran misterio, ¿son galaxias primigenias las nubes de hidrógeno Lyman- $\alpha$ ? Es algo que nunca se sospechó, materia no diferenciada. Estamos empezando a trabajar en este tema. Con un telescopio de 4 metros no se obtiene la luz suficiente para conseguir la resolución espectral necesaria para resolver muchos problemas. Así que su telescopio de 8 metros abrirá muchas puertas al estudio del universo temprano.»

ALLAN R. SANDAGE nació en Iowa (EEUU), el 18 de junio de 1926.

Estudió Física en la Universidad de Illinois y se doctoró en Astronomía en 1953 por el Instituto de Tecnología de California.

Actualmente y desde 1952 es miembro de los Observatorios de la Institución Carnegie de Washington (antes Observatorios de Monte Wilson y Monte Palomar, después Observatorios de Hale), además de Investigador Asociado del Instituto Científico del Telescopio Espacial Hubble desde 1987.

También ha sido Profesor invitado en las Universidades de Cambridge, Harvard, Princeton y Johns Hopkins, así como en la Universidad Nacional de Australia, entre otras.

Comenzó su labor investigadora con el gran astrónomo Walter Baade y con «el padre de la cosmología observacional», Edwin P. Hubble.

Durante más de cuarenta años, Sandage ha estado a la cabeza de la cosmología observacional. Uno de sus primeros logros fue la elaboración de un método práctico para determinar la edad de los sistemas estelares, según el cual la edad de las estrellas en cúmulos globulares era de al menos 10.000 millones de años.

Es mundialmente conocido por su derivación de la escala de distancias en el Universo. Además, ha dedicado gran parte de su trabajo a determinar la constante de Hubble, de gran importancia para la escala y la edad del Universo.

Miembro de las más prestigiosas instituciones científicas internacionales, su dilatada labor investigadora le ha merecido numerosos reconocimientos, entre los que destacan el Premio Helen B. Warner de la Sociedad Americana de Astronomía (1958), la Medalla de Oro de la Real Sociedad de Astronomía (1967), la Medalla Nacional de la Ciencia (1971) y el Premio Crafoord de la Real Academia de Ciencias Sueca (1991).

En 1964, publicó el Atlas Hubble de Galaxias, en 1988, el Atlas de Galaxias útiles para medir la Escala de Distancia Cosmológica y, en 1994, el Atlas Carnegie de Galaxias.

## GEOFFREY BURBIDGE

Center for Astrophysics and Space Science, University of California at La Jolla  
USA

## The physics of galaxies



Geoffrey Burbidge

## PROFILE

GEOFFREY BURBIDGE was born in Chipping Norton, England, United Kingdom. He obtained his B.Sc. (with Special Honours) in Physics at the University of Bristol, and his Ph.D. in Theoretical Physics at the University College, London. In 1955 he was offered a position for astronomical research at Mount Wilson Observatory (Pasadena, California) of the Carnegie Institution. He has been Director of the Kitt Peak Observatory. Together with his wife, Margaret Burbidge, William Fowler and Fred Hoyle, he published a paper in 1957 in the Review of Modern Physics, explaining the origins of the elements in the interior of stars. The paper was signed in alphabetical order by "Burbidge, Burbidge, Fowler and Hoyle". For this reason astronomers know it today by the initials "B<sup>2</sup>FH". He belongs at present to the Center for Astrophysics and Space Science, University of California at La Jolla (USA). He is a member of the best known international scientific societies, among them the Royal Society of London, the Royal Astronomical Society and the American Astronomical Society, which awarded him with the Warner Prize in 1959. Geoffrey Burbidge and his collaborators Fred Hoyle and Jayant Narlikar are strong upholders of the Quasi-Steady State Theory as an alternative to the Big Bang Theory.

"This is a very difficult question to answer, because most of us started off in very different ways. I was a theoretical physicist and had no knowledge of astronomy when I first got into the stuff. But now, with the experience that I have, I think the most important question that I would try to answer is to understand the physics of galaxies of stars. We understand a large amount about individual stars, how they were made and why they shine and things of that kind. But when we come to large numbers of stars moving, held together by gravitational forces, we understand much less. We don't really understand why they are there and we don't understand how they will evolve in time, so the answer to your first question is that if I were starting again I would look at the physics of galaxies, meaning all the phases of their evolution."

## The larger, the better

"I think that it is a marvellous thing what you are doing. We need very large telescopes for tackling with practically all the problems of modern astronomy. I was for many years the director of the National Optical Observatory of the United States, the Kitt Peak National Observatory. We gave observing time for all qualified astronomers in the United States, so I saw what a wide range of problems can be solved with large reflecting telescopes, and also with smaller telescopes. While there are many more telescopes now in good climate, in Chile, in the southwestern part of the United States, in the Canary Islands and in Hawaii, there are still far more problems than we can tackle with these telescopes.

If you have a large reflector in a good climate, you are able to do almost all the things that are required. The larger the telescope, the better. You will have an 8 metre telescope, in California and in Hawaii there are now 10 metre telescopes working and there is also going to be an even larger telescope that the Europeans are building in Chile. With an 8 metre telescope you can do a tremendous amount of first class work. When you get to very large sizes, the actual size is not as important. I believe this is just a marvellous thing which can make you all feel very proud of, I think it is remarkable too that you have been able to persuade your Government to provide the funds to do this. You have been able to achieve more in a short period of time than many countries were able to in the past. It is bound to be a marvellous telescope and, judging from the young astronomers I have met here, you are going to do very well."

## GEOFFREY BURBIDGE

Centro de Astrofísica y Ciencia Espacial de la Universidad de California, La Jolla  
EEUU

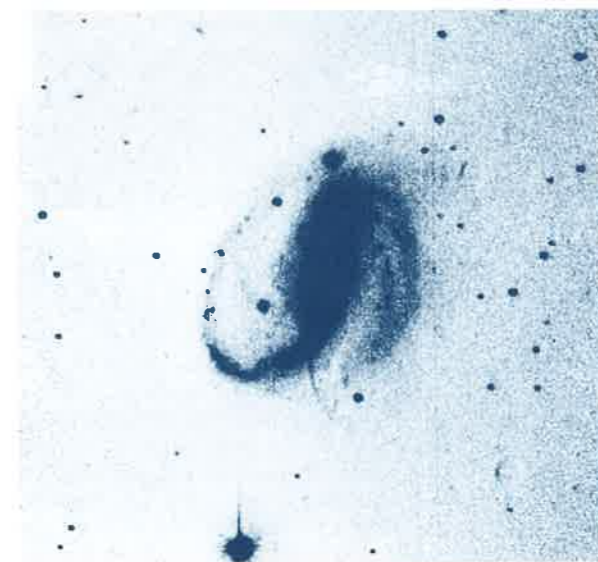
## La física de las galaxias

«Es difícil responder a esta pregunta, porque la mayoría de nosotros empezó de formas distintas. Yo era físico teórico y no tenía ni idea de astronomía cuando empecé. Pero ahora, con la experiencia adquirida, creo que la cuestión más importante que trataría de resolver sería la de conocer la física de las galaxias. Sabemos mucho acerca de las estrellas aisladamente, cómo se formaron y por qué brillan, cosas así. Pero cuando se trata de un gran número de estrellas en movimiento, unidas por fuerzas gravitatorias, nuestros conocimientos son mucho menores. No sabemos en realidad por qué existen ni tampoco sabemos cuál será su evolución con el tiempo. Así que la respuesta a esta primera pregunta es que, si yo fuera a empezar de nuevo, estudiaría la física de las galaxias, en cada una de las fases de su evolución.»

## Cuanto mayor, mejor

«Creo que es algo estupendo lo que están haciendo ustedes. Necesitamos telescopios de gran tamaño para abordar prácticamente todos los problemas de la astronomía moderna. Durante muchos años fui director del Observatorio Óptico Nacional de los Estados Unidos, el Observatorio de Kitt Peak. Allí obtuvieron tiempo de observación todos los astrónomos acreditados de los Estados Unidos, así que tuve ocasión de comprobar el amplio abanico de problemas que pueden resolverse con telescopios reflectores de gran tamaño, y también con telescopios más pequeños. Aunque hay cada vez más telescopios localizados en buenos sitios como Chile, el sur de los Estados Unidos, las Islas Canarias y Hawai, existen aún muchos más problemas astrofísicos que deben resolverse con estos telescopios.

Si tenemos un reflector grande en un buen emplazamiento podemos hacer casi todo lo necesario con él; cuanto mayor sea el telescopio, mejor. Ustedes van a tener un telescopio de 8 metros. En Hawai y en California tienen ya telescopios de 10 metros en funcionamiento, y en Chile los europeos están construyendo uno aún mayor. Con un telescopio de 8 metros podrán realizar una ingente cantidad de trabajo de primera clase. Cuando se pasa a grandes telescopios, el tamaño en sí deja de ser tan importante. Creo que va a ser algo estupendo, de lo que se sentirán orgullosos, y que es importante también que hayan logrado convencer a su Gobierno para que aporte los fondos necesarios para el proyecto. Ustedes han conseguido más en un período corto de tiempo que muchos países en épocas pasadas. Está destinado a ser un telescopio maravilloso y, a juzgar por los jóvenes astrónomos que he conocido aquí, van ustedes a tener mucho éxito.»

Galaxia espiral NGC 7479 / Spiral galaxy NGC 7479  
(J.J.Fuensalida/IAC-80. OT,IAC)

## PERFIL

GEOFFREY BURBIDGE nació en Chipping Norton, Inglaterra (Reino Unido). Estudió Física en la Universidad de Bristol, donde se licenció con una Mención Especial. Se doctoró en Física Teórica por el University College de Londres.

En 1955 obtuvo un puesto de investigación astronómica en la Institución Carnegie, para trabajar en el Observatorio de Monte Wilson, en Pasadena (California).

Ha sido Director del Observatorio Nacional norteamericano de Kitt Peak. Junto con su esposa, Margaret Burbidge, William Fowler y Fred Hoyle, publicó un trabajo que apareció en 1957 en la revista Review of Modern Physics, en el que se explican los orígenes de los elementos químicos en el interior de las estrellas. El trabajo fue firmado por orden alfabético "Burbidge, Burbidge, Fowler y Hoyle", razón por la que los astrónomos lo conocen hoy por las iniciales "B<sup>2</sup>FH".

Actualmente pertenece al Centro de Astrofísica y Ciencia Espacial de la Universidad de California en La Jolla (EEUU).

Es miembro de las más prestigiosas sociedades científicas internacionales, entre ellas la Real Sociedad de Londres, la Real Sociedad Astronómica y la Sociedad Astronómica Americana. Esta última le concedió en 1959 el Premio Warner como reconocimiento a su trabajo.

Geoffrey Burbidge y sus colaboradores Fred Hoyle y Jayant Narlikar son firmes defensores del modelo del Estado Cuasi-Estacionario del Universo como alternativa a la teoría del Big Bang.

**DONALD LYNDEN-BELL**

Institute of Astronomy, Cambridge  
UNITED KINGDOM

**The nature of dark matter**

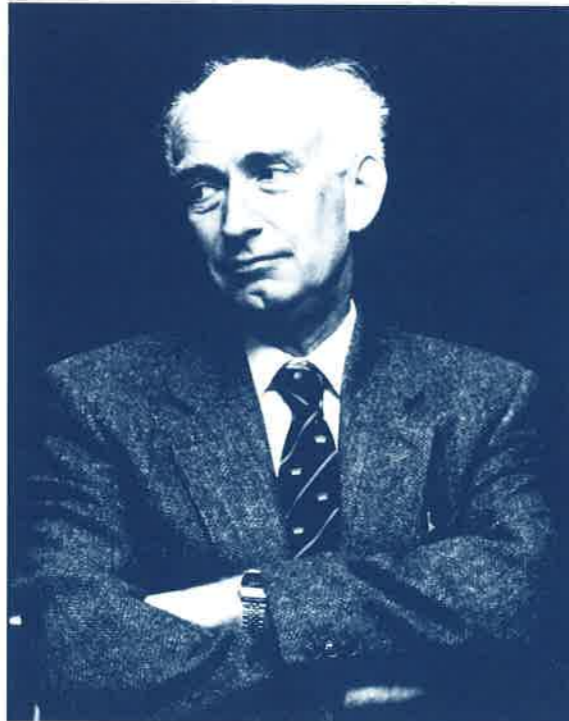
**PROFILE**

DONALD LYNDEN-BELL was born on 5 April 1935.

In 1957 he received his B.Sc. in Mathematics and Natural Sciences from the University of Cambridge, and his Ph.D. in Theoretical Astronomy in 1960. He has ever since been Director of the Institute of Astronomy, Cambridge, in two occasions, as well as a researcher at the Royal Greenwich Observatory (1965-72), the California Institute of Technology (1969-70) and the University of Sussex (1970-72).

His contribution to astronomy has been acknowledged through a number of distinctions, such as the Schwarzschild Medal of the Astronomische Gesellschaft, the Eddington Medal and the Gold Medal of the Royal Astronomical Society, as well as the Brouwer Prize from the American Astronomical Society. He was also President of the Cambridge Philosophical Society (1983-85) and of the Royal Astronomical Society (1985-87).

Donald Lynden-Bell was part of the so called group of the "Seven Samurai" who suggested the existence of the "Great Attractor", a huge matter concentration located probably in the Hydra-Centaurus region, at a distance of some 280 million years-light. The "Great Attractor", if ever its nature could be determined, would be one of the first pieces of evidence for the formation of structures larger than galaxy clusters. Together with Martin Rees, he was the first in suggesting the possible existence of supergiant black holes in the centre of galaxies.



Donald Lynden-Bell

**Specializing telescopes**

"All Astronomy only grows with its instruments. I am a great believer in the fact that technology is driven often by the military and that, nevertheless, it is important for technology advance, and the advances in Astronomy follow the advances in technology. There have been big advances in the ways in which big telescopes can be made, and as a result of that the best astronomers will go to the best equipment, one way or another. I think it is very important to have very large telescopes in Astronomy. I believe that telescopes should not be made as multipurpose instruments, that are good at everything and exceptional at nothing. They should be made really exceptional at one or two things, then you can change time on them by time on other telescopes that are exceptional at other things. I think it is much more important to specialize your telescope to something that will be quite unique, rather than making another 8 metre telescope when there are maybe other three or four already. It seems to me very important that one makes a telescope that is unique and that is the best worldwide in what it is really good at."

"I think if I was asked to write a Ph.D. now it would be very dependent on what equipment was available to me. If it was just my brain (that is roughly what I have at present), then I think I would choose the nature of the dark matter. And I think that the way I would tackle that problem of the nature of dark matter -which we currently believe is what most of the Universe is made of, and it is invisible and can only be detected by its gravity- would be to look at the big clusters of galaxies, and those for which we have several different ways of determining how much dark matter there is in them. In the best ones we have very recently discovered arcs around the centres of the clusters, and these arcs are the images of very distant galaxies. They tell us new information which other people have not explored yet, about the gravity of the cluster. Then we have the internal movements inside the cluster of the different galaxies. They are not away of helping us to weigh the amount of matter in the cluster. And finally there are X-ray observations from X-ray satellites, and I would try and seek clusters for which all these data was available, so that one could check and countercheck and get a really good set of data together to analyze. And I think if only a few clusters were analyzed very thoroughly, it would be much more important than analyzing say twenty or thirty clusters at a rather light way level. The study of these two or three clusters would be a very good way to start attacking on this problem."

**DONALD LYNDEN-BELL**

Instituto de Astronomía de la Universidad de Cambridge  
REINO UNIDO

**La naturaleza de la materia oscura**

**PERFIL**

«Creo que si me pidieran que empezara una tesis doctoral ahora, dependería mucho del equipo instrumental con el que contara. Si contase sólo con mi cerebro (que es poco más o menos con lo que cuento por ahora) entonces escogería estudiar la naturaleza de la materia oscura. Actualmente creemos que la materia oscura es lo que compone la mayor parte del Universo y que es invisible, pudiendo detectarse sólo a través de sus efectos gravitatorios. La forma en que abordaría este problema sería observando los grandes cúmulos de galaxias, sobre todo aquéllos para los que tenemos diversas formas de determinar la cantidad de materia oscura que contienen. En los mejores casos hemos descubierto recientemente arcos en torno a los centros de los cúmulos, que son imágenes de galaxias muy distantes. Estos arcos nos dan información nueva acerca de la gravedad del cúmulo que otros investigadores no han estudiado aún. Además, están los movimientos internos de las distintas galaxias en el cúmulo, que pueden ayudarnos a calcular la cantidad de materia contenida en el cúmulo. Por último, tenemos las observaciones en rayos X realizadas con satélites. Yo trataría de buscar cúmulos para los que contásemos con todos estos datos, de manera que pudiéramos comprobarlos, contrastarlos y reunir un buen conjunto de datos para analizar. Pienso que sería mucho más importante estudiar en detalle un pequeño grupo de cúmulos que estudiar superficialmente veinte o treinta cúmulos. El estudio de estos dos o tres cúmulos sería una buena forma de abordar el problema.»

**Telescopios especializados**

«La Astronomía sólo avanza con sus instrumentos. Yo soy de los que creen que son los avances militares quienes dirigen, a menudo, la tecnología, y esto, no obstante, es importante para el desarrollo tecnológico; y que los avances en Astronomía van a expensas del desarrollo tecnológico. Se han producido grandes progresos en la forma de construir telescopios de gran tamaño; el resultado es que los mejores astrónomos acudirán, de una u otra forma, a donde se encuentran los mejores instrumentos. Creo que en Astronomía es muy importante contar con grandes telescopios, pero que éstos no deben construirse como instrumentos multiuso, que son buenos para todo pero excepcionales en nada. Deberían construirse de tal manera que fueran excepcionales para una o dos cosas, pudiendo intercambiar tiempo de observación con otros que fueran excepcionales en otras cosas. Creo que es mucho más importante especializar cada telescopio en algo que sea único, antes que construir otro telescopio de 8 metros cuando ya hay otros tres o cuatro contruidos. Me parece muy importante que se construya un telescopio que sea único y que sea el mejor telescopio del mundo en su especialidad.»



Imagen del HST de una lente gravitatoria en el cúmulo de galaxias AC114/  
HST image of a gravitational lens in the galaxy cluster AC114  
(R. Ellis/Durham Univ./NASA)

DONALD LYNDEN-BELL nació el 5 de abril de 1935.

En 1957 se licenció en Matemáticas y Física Teórica por la Universidad de Cambridge, en la que se doctoró en Astronomía Teórica (1960). Desde entonces ha sido Director del Instituto de Astronomía de Cambridge en dos ocasiones y ha estado vinculado al Royal Greenwich Observatory (1965-72), al Instituto Tecnológico de California (1969-70) y a la Universidad de Sussex (1970-72), entre otras instituciones.

Su contribución a la Astronomía ha sido reconocida con distinciones como la Medalla Schwarzschild de la Astronomische Gesellschaft, la Medalla Eddington y la Medalla de Oro de la Real Sociedad Astronómica del Reino Unido o el Premio Buzzer de la Sociedad Astronómica Americana.

También presidió la Sociedad Filosófica de Cambridge entre 1983 y 1985 y la Real Sociedad Astronómica entre 1985 y 1987. Donald Lynden-Bell fue uno de los apodados «Siete Samurais» que descubrieron el «Gran Atractor», una gran concentración de materia, probablemente en la región de Hydra Centauro, a una distancia de 280 millones de años luz. De confirmarse su naturaleza, el Gran Atractor sería una de las primeras evidencias de que existe formación de estructuras de escalas superiores a los supercúmulos. Fue también, junto con Martin Rees, uno de los primeros astrónomos en postular la posible existencia de agujeros negros supergigantes en el centro de las galaxias.

E. MARGARET BURBIDGE

Center for Astrophysics and Space Sciences, University of California at La Jolla  
USA

The association of quasars  
with galaxies

PROFILE

ELEANOR MARGARET BURBIDGE was born in 1925 in Davenport, Cheshire (United Kingdom). She received her B.Sc. and her Ph.D. from the University of London and was later Director of the Observatory of this university. When in 1955 her husband, Geoffrey Burbidge, was offered a research position at the Mount Wilson Observatory of Carnegie Institution, Margaret Burbidge had to accept a secondary research position at Caltech, since by that time women were not allowed access to any head positions in Mount Wilson. She was Professor of Astronomy at the University of California in San Diego (UCSD) and at the University of Chicago. She also held research fellowships at Yerkes Observatory and at the Enrico Fermi Institute of Nuclear Studies (University of Chicago). Margaret Burbidge was the first woman director of the Royal Greenwich Observatory, and would later be director of the Centre for Astrophysics and Space Studies at the UCSD. As an observational astronomer, she has focussed her research work on the study of the physical properties, energy sources and radiation mechanisms of quasars and active galaxies. Her research on stellar objects was the basis for the B<sup>2</sup>FH Theory (for the Burbidges, William A. Fowler and Sir Fred Hoyle), which explains in a revolutionary way the origin of elements. Margaret Burbidge was President of the American Astronomical Society and the American Association for the Advancement of Science (AAAS). She has received a large number of awards; among others, she received together with her husband the Warner Prize in Astronomy in 1959 and the Albert Einstein World Award of Science Medal in 1988.



Margaret Burbidge

"If I were to start again, I might do it in the opposite direction I did the first time, I'd start with quasars first of all. As I have been conscious of the problem on whether there is a relationship, a possible association of quasars with galaxies, I would spend a lot of observational effort on that. Then I think I might go back through to the problem of star formation, which is very interesting and about which we really know little at the moment. Now, along the way, as an observational astronomer, I would move out of working in the ultraviolet and optical regions of the electromagnetic spectrum, and I would move into other ranges: the infrared and the X-ray. It is true that when one is working on what I am now, in quasars, one needs to familiarize oneself in working in the infrared region. But the far ultraviolet and X-ray are also interesting regions which, at the moment, I have no training in working on. So, those are things that I would tackle, assuming that I had through my undergraduate education a familiarity in optical and near ultraviolet spectroscopy."

High resolution

"I think I would also get into the field of adaptive optics, that is to say, getting the highest-resolution spatial imaging that one can achieve with the largest telescopes, removing totally the effects of the atmospheric disturbance on very large ground-based telescopes, and achieve the ultimate resolution of which a large telescope is capable of. Since I am interested as well in spectroscopy in all wavelength regions, and this goes along with ultimate resolution in imaging, I would get into that field and I would want to look at the most distant galaxies that one can detect, and see what one could learn about their morphology and their radiation. So, I don't know whether in a second incarnation, starting as a new Ph.D. student, my abilities would match up to that rather ambitious programme, but that is what I would like to do."

Great for Astronomy

"The construction of an 8 metre telescope on the island of La Palma would affect the future of astronomy in a very positive way. It would be great for astronomy worldwide when this telescope is constructed. There is a 10 metre telescope whose development I have been watching since it was put into operation, on Mauna Kea, Hawaii. This class of telescopes -8 metre, 10 metre, and then moving on to larger telescopes- in excellent sites would be used to its full capacity and, since there are so many good instrumental people connected with the operation of these telescopes, I can see that it will become even more famous than the observatory is right now. It will become prominent in worldwide astronomy so that everybody will want a chance to come and use this telescope, I think."

E. MARGARET BURBIDGE

Centro de Astrofísica y Ciencia Espacial de la Universidad de California, La Jolla  
EEUU

La asociación de cuásares  
con galaxias

PERFIL

«Si tuviera que empezar de nuevo, lo haría en sentido contrario a como inicié mi carrera. Partiría de los cuásares. Ya que me ha preocupado el problema de si existe una posible asociación entre cuásares y galaxias, le dedicaría a esto un gran esfuerzo observacional. Luego creo que retomaría el problema de la formación estelar, que es muy interesante y sobre el que sabemos muy poco. De paso, como astrónoma observacional, dejaría de trabajar en el ultravioleta y el óptico para irme a otros rangos del espectro electromagnético, como el infrarrojo y los rayos X. Es cierto que cuando se trabaja en lo que yo estoy haciendo actualmente, en el campo de los cuásares, hay que estar familiarizado con el infrarrojo. Pero el ultravioleta lejano y los rayos X son también regiones interesantes en las que, por el momento, no tengo la formación necesaria para investigar. Ese es el tipo de trabajo que haría si fuera a empezar de nuevo, teniendo en cuenta que recibí una buena formación universitaria en espectroscopia óptica y del ultravioleta cercano.»

Alta resolución

«Creo que me adentraría también en el campo de la óptica adaptativa, es decir, la obtención de las imágenes de más alta resolución posible con grandes telescopios, eliminando los efectos de las perturbaciones atmosféricas, y alcanzando la mayor resolución de que es capaz un telescopio de grandes dimensiones. Dado que me interesa también la espectroscopia en todas las longitudes de onda y las imágenes de muy alta resolución, trabajaría también en ese campo y estudiaría las galaxias más distantes que se puedan detectar para ver qué se puede aprender sobre su morfología y su radiación. No sé si en una segunda reencarnación, en la que comenzase una nueva tesis doctoral, tendría la capacidad necesaria para cubrir todo ese ambicioso programa, pero eso es lo que me gustaría hacer.»



Galaxia espiral barrada NGC 7479/  
Barred spiral galaxy NGC 7479  
(J.Cepa/WHT. ORM, IAC)

Grande para la Astronomía

«La construcción de un telescopio de 8 metros en la isla de La Palma afectaría al futuro de la Astronomía de una forma muy positiva. Sería grande para la Astronomía a nivel mundial que se construyese este telescopio. He seguido el desarrollo del telescopio de 10 metros instalado en Mauna Kea, Hawai, desde que entró en operación. Los telescopios de esta clase -de 8 y 10 metros y mayores- localizados en emplazamientos excelentes aumentarían al máximo su rendimiento. Dado que hay una gran cantidad de personal de instrumentación vinculado a este tipo de telescopios, creo que el observatorio se hará incluso más famoso de lo que es actualmente. Será un sitio prominente para la astronomía a nivel mundial y todos querrán tener la oportunidad de utilizar este telescopio.»

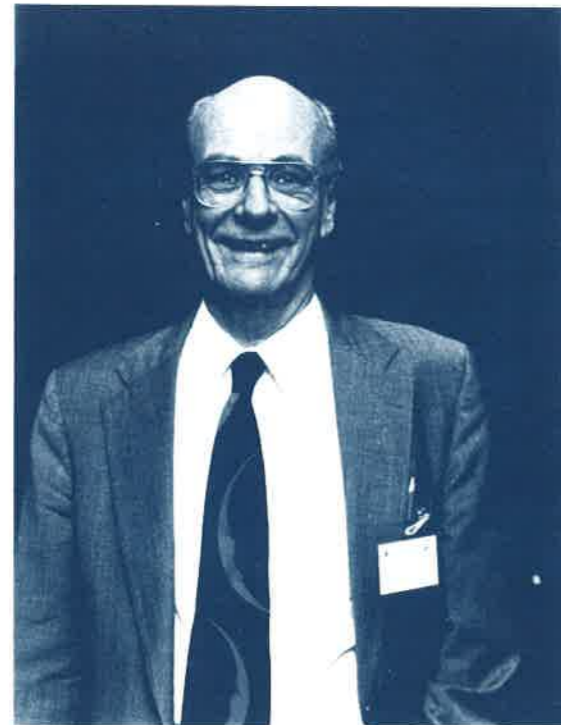
ELEANOR MARGARET BURBIDGE nació en 1925, en Davenport, Cheshire (Reino Unido). Estudió en la Universidad de Londres, por la que se licenció y obtuvo el doctorado, y de cuyo Observatorio fue directora (1950-51). Cuando en 1955, su esposo, Geoffrey Burbidge, obtuvo un puesto de investigación astronómica en la Institución Carnegie, en el Observatorio de Monte Wilson, Margaret Burbidge tuvo que aceptar un puesto de investigación de menor importancia en el Instituto de Tecnología de California, dado que las mujeres no podían por aquel entonces acceder a puestos de responsabilidad. Fue Profesora de Astronomía en la Universidad de California en San Diego (UCSD) y en la Universidad de Chicago, fue investigadora en el Observatorio de Yerkes, en el Instituto Enrico Fermi de Estudios Nucleares (Chicago). Fue la primera mujer directora del Royal Greenwich Observatory. Más tarde sería también directora del Centro de Astrofísica y Estudios Espaciales de la UCSD. Astrónoma observacional, su trabajo se ha centrado en el estudio de las propiedades físicas, las fuentes de energía y los mecanismos de radiación de los cuásares y galaxias activas. Sus estudios de espectros estelares sirvieron de base a la teoría "B<sup>2</sup>FH", que explica de forma revolucionaria el origen de los elementos y que recibió el nombre de quienes la formularon: los Burbidge, William A. Fowler y Sir Fred Hoyle. Margaret Burbidge presidió la Sociedad Astronómica Americana y la Asociación Americana para el Avance de la Ciencia (AAAS). La lista de reconocimientos a su labor es muy larga; entre otros, le fue concedido, junto a su marido, el Premio Warner de Astronomía en 1955 y la Medalla de la Ciencia del Premio Mundial Albert Einstein en 1988.

**DONALD OSTERBROCK**Lick Observatory, Santa Cruz, California  
USA**Active galactic nuclei**

"First of all, I would start over in Astronomy. And I think what I would like to study in Astronomy is the same I had studied, namely, Active Galactic Nuclei. They are the most powerful sources of energy that we know in the whole Universe, and they are also the most distant objects we can observe in the Universe. So, through them we can trace the whole history of the universe we live in. The story of Astronomy is about who we are, where we came from and where we are going, but on a cosmic scale. Every people, every civilization has been interested in their own view of the Cosmos. I think in Science

we have the answers and I think these are the most fascinating objects to start working on if I were starting over again today."

"We know that all the material in the Universe, except for the hydrogen and the helium, came from inside stars; so our bodies are made from atoms of carbon, silicon and elements like that that were produced inside stars in past generations. How do we know that the Universe started much smaller than it is? We know that it is expanding now, we don't know whether it is going to continue expanding forever or whether it is going to turn around and come back together. Whether the world and the stars and everything is about to perish in a giant flash at the end, or whether they are going on moving outward in the space. All of those I think are questions that everyone would like to know the answer to."



Donald Osterbrock

**Rarer objects**

"I think it would be very important to build an 8 m telescope here in Spain, in the Canary Islands. Spain has every great advantages in its climate and having these wonderful, high mountains, with clear skies, very stable atmosphere. Few other countries have anything like it. In this meeting (I have been here in the country for about a week) I have had the chance to talk to many young astronomers, they are certainly among the best in the world I have met. I think that the country can go very, very far. To learn about the Universe you absolutely need telescopes, and as we learn more and more you push out the boundaries of our knowledge, and we must observe even more distant objects, even rarer objects, that always means fainter objects, and it requires larger telescopes. With the large telescopes, of course, we have to use highly advanced technology to take the data, and you have it here in Spain and you are using it very well. So, I think it is a wonderful opportunity for your country."

**PROFILE**

**DONALD E. OSTERBROCK** was born in July 1924 in the USA. He received his B.Sc. in Physics (1948) and his Ph.D. in Astronomy (1952) from the University of Chicago. He has been Professor at the California Institute of Technology (1953-58), at the University of Wisconsin (1958-73) and at the University of California in Santa Cruz (1973-92), where he was appointed Professor Emeritus in 1993. He has held visiting positions at the Institute for Advanced Study at Princeton, at the University College of London, at the University of Minnesota and at the University of Sao Paulo, Brazil, among other research institutions. Donald Osterbrock was Director of the Lick Observatory, University of California in Santa Cruz (1973-81). During his career Osterbrock has received a number of awards, among them the "Catherine Wolfe Bruce Gold Medal" from the Astronomical Society of the Pacific (1991) and the "Henry Norris Russell Lectureship" from the American Astronomical Society (1991). His current research field is the study of Active Galactic Nuclei and interstellar medium. He is also studying the life and work of Mount Wilson astronomer Walter Baade and has published several scientific books about planetary and gaseous nebulae and active galactic nuclei.

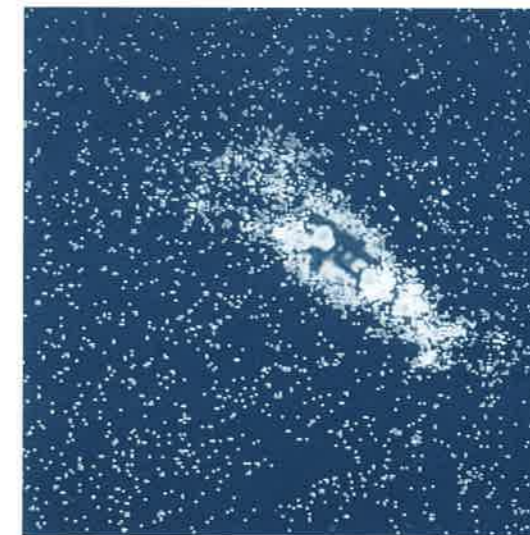
**DONALD E. OSTERBROCK**Observatorio de Lick en Santa Cruz, California  
EEUU**Núcleos activos de galaxias**

«En primer lugar, empezaría de nuevo en Astronomía. Y creo que me dedicaría a lo mismo que he estudiado, es decir, núcleos activos de galaxias. Estos objetos son las fuentes de energía más potentes que se conocen en todo el Universo, y son además los objetos más distantes que podemos observar. Así que, a través de ellos, podemos reconstruir la historia del universo en que vivimos. La historia de la Astronomía consiste en responder a preguntas como quiénes somos, de dónde venimos y hacia dónde vamos, pero a escala cósmica. Todos los pueblos y civilizaciones se han interesado por su propia visión del Cosmos. Creo que en la Ciencia tenemos las respuestas a estas cuestiones y creo que los núcleos activos de galaxias son los objetos más fascinantes con los que se puede empezar a trabajar si uno fuera a comenzar de nuevo.»

«Por otro lado, sabemos que toda la materia del Universo, excepto el hidrógeno y el helio, procede del interior de las estrellas. Así que nuestro cuerpo está hecho de átomos de carbono, silicio y otros elementos que se produjeron en el interior de las estrellas de generaciones pasadas. ¿Cómo sabemos que el Universo empezó siendo mucho más pequeño de lo que es? Sabemos que actualmente se encuentra en expansión; no sabemos si va a continuar expandiéndose indefinidamente o si va a detenerse e invertir el proceso. Si el mundo, las estrellas y todo están abocados a desaparecer en un resplandor gigantesco al final, o si van a continuar su movimiento de expansión en el espacio son preguntas cuya respuesta a todos nos gustaría conocer.»

**Objetos más raros**

«Creo que sería muy importante construir un telescopio de 8 metros en España, en las Islas Canarias. España cuenta con grandes ventajas climáticas y geográficas, al tener montañas altas, cielos muy claros y una atmósfera muy estable. Pocos países tienen algo comparable. En esta reunión (he estado aquí, cerca de una semana) he podido conversar con muchos jóvenes astrónomos que se encuentran, ciertamente, entre los mejores que he conocido en el mundo. Creo que el país puede llegar muy, muy lejos. Para poder estudiar el Universo es absolutamente necesario tener telescopios. A medida que avanzamos, vamos empujando los límites de nuestro conocimiento y debemos observar objetos cada vez más lejanos, objetos cada vez más raros, lo que significa objetos cada vez más débiles, y esto requiere telescopios de mayor tamaño. Por supuesto, con los grandes telescopios tenemos que utilizar tecnología muy avanzada para poder obtener los datos, y ustedes, aquí en España, cuentan con ella y la están utilizando muy bien. Es una oportunidad magnífica para su país.»

Galaxia activa NGC 4151/Active galaxy NGC 4151  
(E. Pérez WHT. ORM, IAC)**PERFIL**

**DONALD E. OSTERBROCK** nació en julio de 1924 en EEUU. Su formación académica se desarrolló en la Universidad de Chicago, donde se licenció en Física en 1948 y se doctoró en Astronomía cuatro años después. Ha sido profesor del Instituto Tecnológico de California (1953-58), de la Universidad de Wisconsin (1958-73) y de la Universidad de California en Santa Cruz (1973-92), que le nombró Profesor Emérito en 1993. Ha sido profesor visitante en el Instituto para el Estudio Avanzado de Princeton, en la University College de Londres, en la Universidad de Minnesota y en la Universidad de Sao Paulo (Brasil), entre otros centros de investigación. De 1973 a 1981 dirigió el Observatorio de Lick, de la Universidad de California. Entre los reconocimientos a su labor científica destacan la concesión de la Medalla de Oro "Catherine Wolfe Bruce", de la Sociedad Astronómica del Pacífico (1991), y la "Henry Norris Russell Lectureship", de la Sociedad Americana de Astronomía (1991). Actualmente su investigación se centra en núcleos activos de galaxias y en el medio interestelar. Estudia, además, la vida y obra del astrónomo de Monte Wilson Walter Baade y es autor de varios libros especializados sobre nebulosas planetarias y gaseosas y núcleos activos de galaxias.



## The evolution of galaxies

"On my own area I am particularly interested in two major topics. One of them concerns the origin of galaxies, not at the very early times, but the ways in which we can understand how they evolved over 90% of the age of the Universe. The reason that this is such an exciting topic is that the telescopes which are being built now will be able to study directly the way in which the galaxies have evolved over this period in the Universe. So I think a very exciting area of research would be to try to determine by observation how the galaxies have evolved from the time when the Universe was about a tenth of its present age until now. One of the ways by which this can be done is by using large telescopes with infrared detector arrays. When we look at the optical waveband the images are somewhat confused because of interactions between galaxies, the production of young stars. But when we look at the infrared waveband, then we see the underlying stellar populations of the galaxies. The telescopes which are here on the Observatory of Roque de los Muchachos are wonderful, they are equipped with powerful infrared arrays and I believe the studies will be very important."

### PROFILE

MALCOLM S. LONGAIR was born in Scotland (United Kingdom) in 1941. He graduated in Electronic Physics from the University of St. Andrews in 1963. He then became a research student in the Radio Astronomy Group of the Cavendish Laboratory, Cambridge, where he worked with Sir Martin Ryle up to the completion of his Ph.D. in 1967. From 1968 to 1969 he was a Royal Society Exchange Visitor to the Lebedev Institute, Moscow, of the USSR Academy of Sciences, where he worked with V.L. Ginzburg and Ya.B. Zeldovich. He has held visiting professorships at the California Institute of Technology, the Princeton Institute for Advanced Study, the Harvard-Smithsonian Astrophysical Observatory and the USSR Space Research Institute. From 1980 to 1990, he held the joint posts of Astronomer Royal for Scotland, Regius Professor of Astronomy of the University of Edinburgh and Director of its Royal Observatory. He currently works at the Cavendish Laboratory and is Jacksonian Professor of Natural Philosophy, University of Cambridge. He also heads the Gemini Board, the international project to build 8-metre telescopes in the Northern and Southern hemispheres. Malcolm Longair has received numerous awards, including the first "Britannica Award for the Dissemination of Learning and the Enrichment of Life" in 1986. He delivered the series of Royal Institution Christmas Lectures for Young People on TV on the topic "The Origins of Our Universe". His primary research interests are in the fields of high energy astrophysics and astrophysical cosmology. He has written six books and many articles on this work. His other interests include music, art, architecture and golf.



Malcolm Longair

### Active systems

"Another major area in which I am interested is the relationship of active galaxies to galaxies in general. One of the beautiful results of this meeting is that there is convincing evidence for the unification of different types of active systems into some unified schemes. So, we believe that quasars and radiogalaxies, Seyfert galaxies and other types of galaxies may be all different aspects of the same phenomenon. I think the understanding of why these galaxies behave in this way is fundamental to understanding of how supermassive black holes are formed in Active Galactic Nuclei and how they are able to power these sources. One of the big problems in this area is why it is that different types of active galaxies seem to belong to different types of galaxies, and surprisingly it is one of the big unknowns in this area; why it is that spiral galaxies seem to host one type of galactic nucleus, and another type of galaxies, elliptical galaxies, are hosts to the radio-emitting objects."

### Technological collaboration

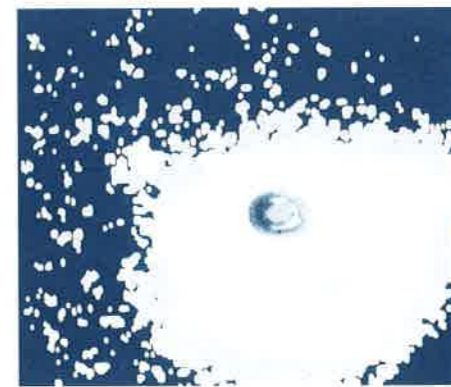
"I was very excited to hear of the plans for an 8 metre optical-infrared telescope to be built in the Canary Islands. This is a very exciting project indeed, because we are moving into the era when the front of rank instruments for astronomy in the optical-infrared waveband will be 8 to 10 metre telescopes. We know now how to build these types of telescopes, there are examples in the USA like the Keck Telescope, there will be the European VLT Telescope, and the UK, Canada, the US and Southamerican countries are collaborating in the Gemini project. All of these projects are designed to give astronomers in these countries access to the most powerful instruments for studying the Universe. I think it is very important that this superb observatory in the Canary Islands should have one of these instruments, because the quality of Science being carried out here is superb, and the excellent astronomers here need access to these types of very powerful facilities in order to carry on their researches. It is very interesting that there is a great deal of cooperation between the 8 metre telescope projects; I am involved in the Gemini project, but we have excellent collaboration with our European colleagues in the VLT project and with the Japanese astronomers working on their large telescope project. It is one of the most remarkable areas in modern astronomical technology that the groups are collaborating together very strongly in order to make sure that the best possible 8 metre telescopes are built. And I very much hope that the engineers involved in the 8 metre project will collaborate with us in designing a wonderful instrument for this outstanding site."

## La evolución de las galaxias

"Dentro de mi propia área me interesan especialmente dos grandes temas. Uno de ellos se refiere al origen de las galaxias, no en la época más temprana, sino a la forma en que podemos estudiar su evolución a lo largo del 90% de la edad del Universo. La razón del interés en este tema está en que los telescopios que se construyen actualmente podrán estudiar directamente la evolución de las galaxias en este período del Universo. Un área de investigación muy interesante sería, por tanto, la determinación observacional de la evolución de las galaxias desde la época en que el Universo tenía una décima parte de su edad actual. Una de las formas de llevarlo a cabo es mediante la utilización de grandes telescopios con detectores infrarrojos bidimensionales. Cuando observamos en la longitud de onda óptica las imágenes son confusas debido a la interacción entre galaxias, la formación de estrellas jóvenes; pero, al estudiarlas en la longitud de onda infrarroja podemos ver las poblaciones estelares subyacentes de las galaxias. Los telescopios que se encuentran en el Observatorio del Roque de los Muchachos son estupendos, están equipados con potentes detectores infrarrojos y creo que los estudios que se realicen con ellos serán importantes."

### Sistemas activos

"Otro área de interés para mí es la relación entre las galaxias activas y las galaxias en general. Uno de los resultados más interesantes de esta reunión es que hay pruebas convincentes de que diferentes tipos de sistemas activos se engloban dentro de ciertos esquemas de unificación. Creemos que los cuásares y las radiogalaxias, las galaxias Seyfert y otros tipos de galaxias pudieran ser todos ellos aspectos diferentes del mismo fenómeno. Creo que entender por qué las galaxias se comportan así es fundamental para entender la formación de los agujeros negros supermasivos en los Núcleos Activos de Galaxias y cómo pueden proporcionarles la energía. Uno de los grandes problemas que se plantean en este área es por qué distintos tipos de galaxias activas parecen pertenecer a diferentes tipos de galaxias. Sorprendentemente, este es uno de los grandes enigmas de este área; por qué las galaxias espirales parecen albergar un tipo de núcleo galáctico y otro tipo de galaxias, las galaxias elípticas, contienen objetos que emiten en radio."



Galaxia Seyfert NGC 985/  
Seyfert galaxy NGC 985  
(E. Mediavilla/JKT. ORM, IAC)

### Colaboración tecnológica

"Cuando supe de los planes de construcción de un telescopio óptico-infrarrojo de 8 metros en las Islas Canarias, la idea me pareció muy interesante. Es un proyecto muy atractivo, porque nos adentramos en la era en que los instrumentos más avanzados para observar en las longitudes de onda óptico-infrarrojo serán telescopios de la clase de 8 a 10 metros. Ahora sabemos cómo construir estos telescopios, hay ejemplos de ellos en los EEUU, como el Telescopio Keck en Hawai y el telescopio europeo VLT en construcción. Otros países como Canadá, Reino Unido, EEUU y algunos países sudamericanos colaboran en el proyecto Gemini. Estos instrumentos están diseñados para que los astrónomos de estos países tengan acceso a los instrumentos más potentes para el estudio del Universo. Pienso que es muy importante que este excelente observatorio de las Islas Canarias cuente con uno de estos instrumentos, porque la calidad de la ciencia que se hace aquí es magnífica, y los excelentes astrónomos que hay aquí necesitan acceso a instrumentos tan potentes como éstos para poder realizar sus investigaciones. Es de destacar la colaboración existente entre los diferentes proyectos de telescopios de 8 metros. Yo participo en el proyecto Gemini, y mantenemos una muy buena colaboración con nuestros colegas europeos del proyecto VLT y con los astrónomos japoneses que trabajan en el proyecto de construcción de su gran telescopio. Una de las facetas más notables en la tecnología astronómica moderna es que los grupos están colaborando para asegurar que se construyen los mejores telescopios de 8 metros posibles. Espero que los ingenieros que participan en su proyecto colaboren con nosotros en el diseño de un magnífico instrumento este excepcional emplazamiento."

### PERFIL

MALCOLM S. LONGAIR nació en Escocia (Reino Unido), en 1941. Estudió Física Electrónica en la Universidad de St. Andrews, donde se licenció en 1963. Pasó entonces a ser estudiante investigador en el Grupo de Radioastronomía del Laboratorio Cavendish, en Cambridge, donde trabajó con Sir Martin Ryle hasta concluir su tesis doctoral en 1967. Entre 1968 y 1969 fue visitante de la Real Sociedad en el Instituto Lebedev de Moscú, de la Academia Soviética de las Ciencias, donde trabajó con V.L. Ginzburg y Ya. B. Zeldovich. Ha sido profesor visitante en el Instituto Tecnológico de California, en el Instituto para el Estudio Avanzado de Princeton, en el Observatorio Astrofísico Harvard-Smithsonian y en el Instituto de Investigación Espacial de Moscú. Entre 1980 y 1990 fue Astrónomo Real de Escocia, Profesor Regio de Astronomía de la Universidad de Edimburgo y Director de su Observatorio Real. Actualmente, trabaja en el Laboratorio Cavendish y ostenta la cátedra Jacksonian de Filosofía Natural de la Universidad de Cambridge. También preside la Comisión Gemini, el proyecto internacional para la construcción de telescopios de 8 metros en los hemisferios norte y sur. Ha recibido numerosos premios, entre ellos el primer "Britannica Award for the Dissemination of Learning and the Enrichment of Life" de 1986, en reconocimiento a su labor divulgativa. También dio una serie de conferencias de Navidad televisadas, organizadas por la Real Institución Británica para la juventud bajo el título "Los Orígenes de nuestro Universo". Sus investigaciones se han centrado en el campo de la astrofísica de altas energías y de la cosmología astrofísica, temas sobre los que ha publicado 6 libros y muchos artículos. Es aficionado a la música, al arte, a la arquitectura y al golf.

## IGOR D. NOVIKOV

Theoretical Astrophysics Centre, Copenhagen  
DENMARK

## The origin of the Universe

"If I was young -and I feel myself as a young person even now- I would like to start to work on the problems which are the most challenging for Science, for the people, for astronomers. Of course, it depends on the taste and on the field in which we work. For me, the most interesting problem in Cosmology is that of the birth of the Universe itself. What could be more important, more interesting, more wonderful than the birth of our universe, of our world? We know something about that. We know that some physics, some properties of this period can have observable consequences. So, we can check our theory. It is not pure theory; this problem is related to observation in Cosmology."



Igor Novikov

## PROFILE

IGOR DIMITRIEVICH NOVIKOV was born on 10 November 1935. He studied Astronomy at the State University of Moscow, where he received his Ph.D. in 1970. Among other posts held, Novikov was Head of the Department for Relativistic Physics at the Space Research Institute of Moscow (1974-90), and the Department of Theoretical Physics at the Lebedev Institute of Physics in Moscow (1990).

He has also worked for several other institutions, such as the Institute of Astronomy, Cambridge (United Kingdom), the University of Copenhagen, NORDITA (Denmark), the University of Kyoto (Japan), Caltech (USA) and the International School for Advanced Studies of Trieste (Italy).

He is currently Director of the Theoretical Astrophysics Centre, Copenhagen (Denmark). Igor Novikov is an expert in Cosmology and Gravitational Physics. He chaired the Commission for Cosmology of the International Astronomical Union (1976-79).

He has published a number of works on Relativity, Black Holes and the Evolution of the Universe, among them Black holes and the Universe.

## Gravitational waves

"There are interesting problems in Relativistic Astrophysics. In this field I think the most interesting is the problem of gravitational waves. That is the future of Astronomy. I can remember the tremendous beginning of Radioastronomy or Gamma-ray Astronomy. Now we are near the beginning of Neutrino Astronomy; and we understand that new possibilities discovered new types of approaches to the problems. When we discuss the problem of gravitational waves it means that it will open before us the possibility of looking at the centres of galaxies, at the situation where objects are very close to each other, and the only way for us to investigate them is the study of their gravitational radiations."

## New tools

"Many years ago, when I learned about the new Hubble Space Telescope, I thought it would be absolutely tremendous, because practically all important problems would be solved with the help of this telescope. And we

all know about the enormous success of this observatory, the HST. But there are new problems which arised partly as a result of the work of the HST, and partly because of the development of astronomy. We need new instruments, new tools, for the solution of these new problems, and one of these possibilities is the construction of very large telescopes. I understand now that it is absolutely inevitable to have very large telescopes on the surface of the Earth, not only in space, because in this way we can collect an extremely great amount of light from very weak objects, also reaching better angular resolutions. With these telescopes it will also be possible to investigate Cepheids, for example, in very distant galaxies, and investigate the central regions of galaxies to understand relativistic processes in the vicinity of supermassive black holes. These are only a couple of examples of the new problems to be solved by larger telescopes. So, I believe it is a great advantage for astronomy that Spanish colleagues start to do this great job concerning the 8 metre telescope."

## IGOR D. NOVIKOV

Centro de Astrofísica Teórica, Copenhagen  
DINAMARCA

## El origen del Universo

«Si fuera un astrónomo joven -y me siento una persona joven incluso ahora- me gustaría empezar trabajando en los problemas que suponen un mayor reto para la ciencia, para la gente, para los astrónomos. Desde luego, esto depende de cada uno y del campo en el que se trabaje. Para mí, el problema más interesante en Cosmología es la cuestión del propio origen del Universo. ¿Qué puede ser más importante, más interesante, más maravilloso que el origen de nuestro universo, de nuestro mundo? Sabemos ya algo de este tema. Sabemos que algunas leyes físicas, algunas propiedades de esa época, tienen consecuencias observacionales. Por lo tanto podemos comprobar nuestras teorías. El problema no es ya pura teoría, sino que está relacionado con la observación en cosmología.»

## Ondas gravitatorias

«Hay problemas muy interesantes en la Astrofísica relativista. En este campo me parece que el problema más interesante es el de las ondas gravitatorias. Ahí está el futuro de la Astronomía. Recuerdo los comienzos de la Radioastronomía y la Astronomía de rayos gamma. Ahora nos aproximamos a la astronomía de neutrinos; sabemos que las nuevas posibilidades trajeron consigo nuevas perspectivas. Cuando tratamos el problema de las ondas gravitatorias se abre ante nosotros la posibilidad de observar el centro de las galaxias, de acceder a zonas en que los objetos están muy cercanos los unos a los otros y la única forma que tenemos de estudiarlos es a partir de sus radiaciones gravitatorias.»

## Nuevas herramientas

«Hace muchos años, cuando oí hablar del Telescopio Espacial Hubble, pensé que iba a ser algo absolutamente maravilloso, porque con su ayuda podrían resolverse prácticamente todos los problemas importantes. Y todos conocemos el éxito de este observatorio, el HST. Pero se plantearon nuevos interrogantes, en parte como consecuencia del funcionamiento del HST y en parte debido al propio desarrollo de la Astronomía. Necesitamos instrumentos nuevos, nuevas herramientas para solucionar estos nuevos problemas, y una de las posibilidades es la construcción de telescopios de grandes dimensiones. Ahora entiendo que es absolutamente inevitable contar con telescopios terrestres muy grandes, no sólo telescopios espaciales, porque con ellos podemos captar enormes cantidades de luz procedente de objetos muy débiles alcanzando también una mayor resolución angular. Con estos telescopios se podrán estudiar por ejemplo Cefeidas en galaxias muy distantes, y observar las regiones centrales de galaxias para estudiar procesos relativistas en la vecindad de agujeros negros supermasivos. Estos son sólo unos pocos ejemplos de los problemas que podrán resolverse con telescopios más grandes. Así que creo que es una gran oportunidad para la Astronomía que los colegas españoles sigan adelante con el proyecto emprendido de la construcción de un telescopio de 8 metros.»



Simulación del Universo poco después de la Gran Explosión /  
Simulation of the Universe shortly after the Big Bang  
(C. Gutiérrez. IAC)

## PERFIL

IGOR DIMITRIEVICH NOVIKOV nació el 10 de noviembre de 1935. Estudió Astronomía en la Universidad Estatal de Moscú, donde se doctoró en 1970. Fue director del Departamento de Astrofísica Relativista del Instituto de Investigaciones Espaciales de Moscú entre 1974 y 1990, y del Dpto. de Astrofísica Teórica del Instituto de Física Lebedev, también en Moscú, en 1990.

Su actividad académica se extiende a otras instituciones, como el Instituto de Astronomía de Cambridge (Reino Unido), la Universidad de Copenhagen, el Instituto Nórdico de Física Teórica (NORDITA, Dinamarca), la Universidad de Kyoto (Japón), el Instituto Tecnológico de California (EEUU) y la Escuela Internacional de Estudios Avanzados de Trieste (Italia).

Actualmente es Director del Centro de Astrofísica Teórica de Copenhagen (Dinamarca). Astrofísico experto en Cosmología y Física Gravitacional, Novikov fue Presidente de la Comisión de Cosmología de la Unión Astronómica Internacional entre 1976 y 1979.

Cuenta en su haber con numerosas publicaciones sobre Relatividad, Agujeros Negros y Evolución del Universo, entre ellos Black holes and the Universe.

## The very early Universe

"I am interested in two aspects of this. One is the very-early universe: how were the conditions set-up which allowed our universe to become so big and yet develop the structures and be governed by the laws which allow so much complexity to develop, and also how, in the later universe, did these objects actually develop. The first of these subjects, the very-early universe, used to be a purely theoretical topic. But what has been very exciting over the last few years is that observations are able to probe directly the very-early universe, because the structures we see around us, the clusters and superclusters, are imprinted in the very early stages, and also, when we look at the microwave background radiation over the sky, which has been observed of course here in Tenerife, we see fluctuations that are imprinted by the precursors of these clusters. So, the studies of the very-early universe are now not just theoretical, but they are observational. That is one of my favourite topics.



Martin Rees

### Detailed spectra

"4 metre class telescopes have existed for 10, 20 or 30 years, and over that period their efficiency has increased enormously, because it has been possible to use more sensitive detectors, to replace photographic plates. It is possible to use optical fibres to make a lot of observations simultaneously. But now that they have got up to 80% of their efficiency there is not much scope for further improvement: going from 80% to 100% isn't going to gain very much. Therefore, it is obvious that the next generation of observations does require a new generation of bigger telescopes. That is why we are going to depend very much on these 8 metre class telescopes in the future. We depend on the telescopes for gathering more light from faint objects and being able therefore to take spectra of objects at great distances. The problems I am most interested in using them for are looking for galaxies that are just in the process of forming, and also looking in the spectra of quasars at what are called the quasar absorption lines, that is, absorption due to gas all the way between us and the quasar. This gas is important, because it is the gas which is going to turn into galaxies. If we look at a very distant quasar, the light started on its journey when the Universe was a tenth of its present age, therefore we see along the lines of sight a sort of history of how the galaxy formation proceeded. By studying the way this light is absorbed by gas at different redshifts we can really see the whole history of galaxy formation. And this depends on having sufficiently sensitive instruments, sufficiently large collecting areas in our telescopes to really be able to take a detailed spectra, in enough detail to show all these hundreds of hundreds of clouds along every line of sight. So, I believe that by looking at distant quasars with these new telescopes we will not only understand the quasars themselves better, but will also get a valuable new probe of what is happening all along the line of sight and therefore what is happening to the gas during the epoch when it changes from being diffuse material to being incorporated in galaxies."

### The first galaxies

The second topic I choose would be to understand the early stages of galaxy formation, to understand when in cosmic history the first galaxies formed and when, after that, the centres of the first galaxies turned into quasars. This is something that happened, we believe, when the Universe was about a tenth of its present age, about a billion years old. At that stage, we believe, the first galaxies formed and the gas and the dust turned into stars. I would be very excited to understand how this happened by doing very careful computer simulations and also by making observations of the most distant objects we can see."

### PROFILE

Sir MARTIN JOHN REES was born in 1942. He received his B.Sc. in Mathematics (1963) and his Ph.D in Astrophysics (1967) from the University of Cambridge.

He considers himself as fortunate for having started his research activities just at the time when quasars and the cosmic background radiation were discovered.

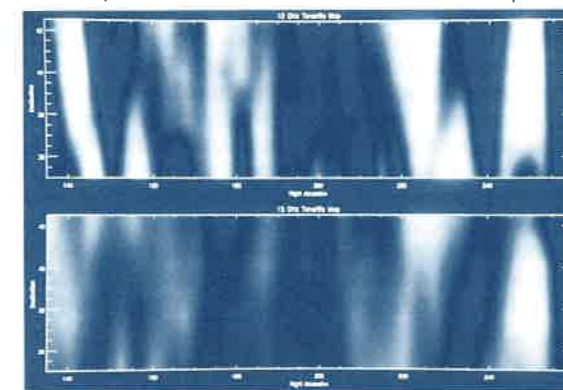
He stayed at the USA as a postgraduate student for some time, and later became visiting professor at the University of Harvard (1972) and the Institute for Advanced Study at Princeton (1982).

Martin Rees was a Professor at Sussex University. Later, in 1973, he went to Cambridge, where he has stayed ever since, collaborating as a visiting professor at various universities in several occasions. He has been Plumian Professor of Astronomy and Director of the Cambridge Institute of Astronomy. At present he is Royal Society Research Professor at the University of Cambridge and President of the British Association for the Advancement of Science.

Sir Martin Rees and other theoreticians held that a primordial density fluctuation was the origin of small galaxies that later organized in clusters and superclusters, not the other way around as held by an opposing theory. Together with Lynden-Bell, he was the first in suggesting the possible existence of supergiant black holes in the centre of galaxies. Today he collaborates with a number of colleagues and students, focussing his interest on the formation of galaxies and high energy astrophysics.

## El universo muy temprano

«Me interesan especialmente dos aspectos. Uno es el universo muy temprano: cómo se establecieron las condiciones que permitieron al Universo alcanzar un tamaño tan grande y, pese a ello, desarrollar las estructuras que observamos y estar gobernado por leyes que permitieron la aparición de tanta complejidad, y también cómo, en el universo más tardío, se desarrollaron estos objetos. El primero de estos temas, el del universo muy temprano, era hasta hace poco puramente teórico. Lo más apasionante de los últimos años es que las observaciones permiten estudiar de forma directa el universo muy temprano, porque las estructuras que vemos a nuestro alrededor, los cúmulos y supercúmulos, se originaron en las fases iniciales. Cuando miramos la radiación de fondo cósmico en el cielo (y esto ha sido observado desde Tenerife), apreciamos fluctuaciones que han quedado impresas por los precursores de estos cúmulos. Actualmente, el estudio del universo muy temprano no es, por tanto, sólo teórico, sino también observacional. Este es uno de mis temas favoritos.»



Cosmosomas: resultados del Experimento de Tenerife  
Cosmosomas: results of the Tenerife Experiment  
(R.Rebolo et al./OT, IAC)

### Las primeras galaxias

«El segundo tema que escogería sería el estudio de las fases iniciales de la formación de las galaxias, conocer en qué momento de la historia cósmica tuvo lugar su formación y cuándo, posteriormente, los centros de las primeras galaxias se transformaron en cuásares. Esto es algo que sucedió, creemos, cuando el Universo tenía aproximadamente una décima parte de su edad actual, es decir, unos mil millones de años. Es en esa fase cuando, pensamos, se formaron las primeras galaxias y el gas y el polvo dieron lugar a las primeras estrellas. Sería de enorme interés para mí conocer este proceso a través de simulaciones por ordenador muy detalladas, y también haciendo observaciones de los objetos más distantes que podemos ver.»

### Espectros detallados

«Los telescopios de la clase 4 metros existen desde hace 10, 20 ó 30 años, período en el cual su eficiencia ha ido en aumento por la introducción de detectores más sensibles, que han sustituido a las placas fotográficas. La utilización de fibras ópticas permite realizar numerosas observaciones simultáneamente. Ahora que estos telescopios han alcanzado el 80% de su eficiencia, no queda ya mucho margen para otras mejoras, sólo pasar del 80 al 100%. Por lo tanto, es obvio que la siguiente generación de observaciones requiere una nueva generación de telescopios mayores, y este es el motivo por el cual en el futuro dependeremos mucho de estos nuevos telescopios de la clase 8 metros. Necesitamos estos telescopios para captar más luz de objetos más débiles y poder así obtener espectros de objetos a mayores distancias. El problema que más me interesa estudiar con estos telescopios consiste en buscar galaxias que se encuentran justamente en proceso de formación; buscar en los espectros de los cuásares lo que se conoce como líneas de absorción de los cuásares, absorción que es debida a la presencia de gas entre el cuásar y nosotros. Este gas es importante, porque es a partir de este material de donde se formarán las galaxias. Si miramos a un cuásar muy distante, la luz que recibimos comenzó su viaje cuando la edad del Universo era una décima parte de su edad actual, por lo que vemos, a lo largo de las líneas de visión, la historia de la formación de las galaxias. Estudiando la absorción de esta luz por el gas a diferentes corrimientos al rojo vemos realmente toda la historia de la formación de las galaxias. Y todo ello depende de poder contar con instrumentos lo suficientemente sensibles, con superficies de captación de luz en los telescopios lo suficientemente grandes como para poder tomar espectros muy detallados, tanto que podamos detectar todos esos cientos y cientos de nubes a lo largo de cada línea de visión. Creo que, observando cuásares distantes con estos nuevos telescopios no sólo podremos comprender mejor la propia naturaleza de los cuásares, sino que obtendremos nueva y valiosa información de lo que sucede a lo largo de la línea de visión y, por tanto, lo que le sucede al gas en la época en que pasa de ser materia difusa a estar incorporado a las galaxias.»

### PERFIL

Sir MARTIN JOHN REES nació en 1942. Estudió en la Universidad de Cambridge (Reino Unido), donde se licenció en Matemáticas (1963) y obtuvo el doctorado en Astrofísica (1967). Se considera afortunado por haber comenzado sus investigaciones en aquella época, pues por entonces se descubrieron los cuásares y la radiación de fondo de microondas.

Como estudiante de posgrado permaneció en los Estados Unidos durante algún tiempo; posteriormente ha sido Profesor Visitante en la Universidad de Harvard (1972) y en el Instituto para el Estudio Avanzado de Princeton (1982). En 1973, tras ocupar un puesto de catedrático en la Universidad de Sussex, se trasladó a Cambridge, donde ha permanecido desde entonces.

«Plumian Professor of Astronomy» y Director del Instituto de Astronomía de la Universidad de Cambridge, es actualmente Profesor de Investigación de la Real Sociedad en esta universidad y preside la Asociación Británica para el Avance de la Ciencia.

Martin Rees y otros teóricos sostiene que una fluctuación primordial de densidad dio lugar, primeramente, a pequeñas galaxias que después se organizaron en cúmulos y supercúmulos, y no al revés, como defiende la teoría contraria. Fue también uno de los primeros, junto con Lynden-Bell, que postularon la posible existencia de agujeros negros supergigantes en el centro de las galaxias. Hoy sigue colaborando con numerosos colegas y estudiantes, centrando su interés principalmente en la formación de galaxias y en la astrofísica de alta energía.

## BERNARD E.J. PAGEL

NORDITA, Copenhagen  
DENMARK

## Chemical composition

«I think that the project that I would be most interested in starting on at this time would be the investigation of these intergalactic clouds that cause absorption lines in front of background quasars and background galaxies. One can push one's way out of nearby galaxies where there is gas that can be detected by absorption lines, then out through to ever-increasing redshifts up to the redshift of the furthest quasar that is bright enough to be observed with sufficient spectroscopic resolution. There are so many things that one can study from this kind of work! One can study the relationship between clouds that presumably later come together to form galaxies; one can study the dynamics, the temperature and, particularly interesting for me, the chemical composition. Two things particularly are being done at the moment: one is to try to look for deuterium, which is a very interesting element from the point of view of primordial nucleosynthesis from the Big Bang if detected at high redshifts. The result is a number close to the primordial deuterium abundance, whereas locally, on the Earth and in the Solar System, the deuterium is probably somewhat less abundant than it was originally, because deuterium tends to be destroyed as a result of the interstellar gas being recycled through stars and sent back into the interstellar medium. The other thing that one can study is the abundances of elements that are synthesized in stars, iron, sodium and, especially, zinc, that has the advantage that all the zinc is present in the gas, whereas some of the other metals are locked into dust grains and you don't see their complete abundance. We can relate the abundance of zinc, which is related to the abundance of the other metals, to the redshift and to the other properties of the different clouds.»



Bernard Pagel

the temperature of the stars that cause the ionization on those distant systems. The study of absorption lines in high redshift interstellar clouds can be done much better with a larger telescope. In fact, there is a rather big gain going up from the 4 metre telescope to the 8 metre telescope, and the reason for this is just that the number of quasars from which one can receive enough light to get spectra with a high signal-to-noise ratio, with a high spectroscopic resolution, increases very rapidly as you go fainter. So, the bigger the telescope, the more quasars you are able to look at by a large factor, and therefore you can sample a much bigger collection of different sorts of intergalactic clouds. Furthermore, in order to get to larger redshifts, except for certain exceptional galaxies, one definitely needs a larger telescope. And this could give us a large amount of information about the ordinary population of galaxies at considerably larger redshifts, and hence at considerably larger distances than we have available now. This relates to very important questions such as what epoch of the Universe did galaxies form, how far away can galaxies be and still be recognizable as galaxies; perhaps even tell us something about the structure of the Universe.»

## PROFILE

BERNARD EPHRAIM JULIUS PAGEL was born in Berlin on 4 January 1930.

He received his B.Sc. in Physics (1950) and his Ph.D. (1955) from the University of Cambridge, after a few years at the University of Michigan (USA).

He has lectured at the universities of Sussex and Pretoria, and held research positions at the Royal Greenwich Observatory, Sacramento Peak Observatory (New Mexico) and NORDITA (Copenhagen, Denmark), where he is Professor of Astrophysics since 1990.

He was Vicepresident of the Royal Astronomical Society, that awarded him with the Gold Medal in 1990. He has been also a member of the editorial board for several scientific journals: Observatory Magazine (RGO), Monthly Notices of the RAS, Vistas in Astronomy and Astrophysical Letters.

His first research works focussed on the comparison between the theories of stellar and solar atmospheres and spectroscopic observations. The results obtained lead to his increasing interest in the cosmic abundances and their relation to the theories of nucleosynthesis, cosmology and the chemical evolution of galaxies.

Since 1977 he studies the emission lines of HII regions and slightly active nuclei of nearby galaxies. The purpose of this research activities is to study the abundances of common elements (He, N, O) in the interstellar medium and their large scale gradients in different types of galaxies, so as to understand the excitation mechanisms in HII regions and galactic nuclei.

## BERNARD E.J. PAGEL

NORDITA, Copenhagen  
DINAMARCA

## La composición química

«Creo que el proyecto que más me interesaría si fuese a empezar ahora sería la investigación de esas nubes intergalácticas que causan líneas de absorción delante de los cuásares y galaxias de fondo. Podemos avanzar partiendo de las galaxias cercanas, en las que hay gas que puede detectarse a través de sus líneas de absorción; para seguir a corrimientos al rojo cada vez mayores hasta alcanzar el cuásar más lejano que sea lo bastante brillante como para poder observarlo con la suficiente resolución espectral. ¡Hay tantas cosas que se podrían estudiar de ello! Se podría estudiar la relación entre las nubes que, previsiblemente, se fundirán más tarde para dar lugar a galaxias; se puede estudiar su dinámica, su temperatura y, lo que es especialmente interesante para mí, su composición química. Actualmente se están realizando dos estudios en particular: uno consiste en la búsqueda de deuterio, que es un elemento muy interesante desde el punto de vista de la nucleosíntesis primordial del Big Bang si se detecta a altos corrimientos al rojo. El resultado es un valor cercano a la abundancia de deuterio primordial, mientras que, a nivel local, en la Tierra y en el Sistema Solar, el deuterio es probablemente algo menos abundante de lo que era al principio, porque el deuterio se destruye como consecuencia del reciclado del gas interestelar a través de las estrellas, para volver luego al medio interestelar. El otro tema que puede estudiarse es la abundancia de elementos sintetizados en las estrellas como el hierro, el sodio y, especialmente, el zinc, que tiene la ventaja de que todo el que existe está presente en el gas, mientras que algunos de los otros metales están condensados en granos de polvo sin que pueda medirse su abundancia total. Podemos relacionar la abundancia del zinc (a su vez relacionable con la abundancia de los otros metales) con el corrimiento al rojo y con otras propiedades de las diferentes nubes.»

## Objetos más débiles

«Las ventajas de los grandes telescopios están empezando a demostrarse a través de los resultados obtenidos con el telescopio Keck, en Hawai. Con un telescopio de 8 metros pueden estudiarse, por ejemplo, galaxias espirales en el cúmulo de Coma, que es un cúmulo denso de galaxias con un entorno distinto a cualquier otro accesible a los instrumentos con los que observamos actualmente. Sería muy interesante estudiar la composición química y la temperatura de las estrellas que causan la ionización en sistemas tan lejanos. El estudio de las líneas de absorción en nubes interestelares de alto corrimiento al rojo puede realizarse mucho mejor con un telescopio mayor. De hecho, hay una mejoría considerable al pasar de un telescopio de 4 metros a uno de 8 metros. La razón es simplemente que el número de cuásares de los que se puede recibir suficiente luz para obtener espectros de alta relación señal-ruido, con alta resolución espectral, aumenta rápidamente a medida que podemos detectar objetos más débiles. Por tanto, a mayor tamaño del telescopio, mucho mayor es el número de cuásares que se pueden observar, con lo que se puede tener una colección mucho mayor de clases diferentes de nubes intergalácticas. Además, para ir a mayores corrimientos al rojo, salvo para determinadas galaxias excepcionales, se requieren sin duda telescopios mayores. Todo esto podría dar gran cantidad de información sobre la población de galaxias normales a corrimientos al rojo considerablemente mayores y, por tanto, a distancias considerablemente mayores de las que podemos alcanzar actualmente. Esto está relacionado con cuestiones tan importantes como en qué época del Universo se formaron las galaxias; a qué distancias pueden encontrarse galaxias y ser todavía reconocibles como tales, y quizá incluso darnos información acerca de la estructura del Universo.»

Nebulosa del Velo / Veil Nebula  
(IAC-RGO. D. Malin et al./INT.ORM)

## PERFIL

BERNARD EPHRAIM JULIUS PAGEL nació en Berlín, el 4 de enero de 1930.

En 1950 se licenció en Física por la Universidad de Cambridge, donde se doctoró en 1955, después de pasar dos años en la Universidad de Michigan (EEUU).

Ha estado vinculado a las universidades de Sussex y Pretoria, al Royal Greenwich Observatory, al Observatorio de Sacramento Peak en Nuevo México y al Instituto Nórdico de Física Teórica (NORDITA), de Copenhague (Dinamarca), donde ocupa la cátedra de Astrofísica desde 1990.

Fue Vicepresidente de la Real Sociedad de Astronomía británica, que le concedió la Medalla de Oro en 1990.

Ha formado parte del equipo editorial de varias revistas científicas: Observatory Magazine (RGO), Monthly Notices of the RAS, Vistas in Astronomy y Astrophysical Letters.

Sus primeros trabajos se centraron en la comparación de las teorías sobre las atmósferas solar y estelar con las observaciones espectroscópicas. El resultado le llevó a interesarse en la interpretación de las abundancias cósmicas y su relación con las teorías de la nucleosíntesis, la cosmología y la evolución química de las galaxias.

Desde 1977 se ha centrado en el estudio de las líneas de emisión de regiones HII y los núcleos levemente activos de galaxias cercanas. El objeto de estas investigaciones es el estudio de las abundancias de elementos como el He, el N y el O en el medio interestelar y sus gradientes a gran escala, en diferentes tipos de galaxias, para poder conocer los mecanismos de excitación en las regiones HII y en los núcleos galácticos.

HUBERT REEVES

Centre d'Études Nucléaires (CEN), Saclay, Paris  
FRANCE

The geography of the Universe

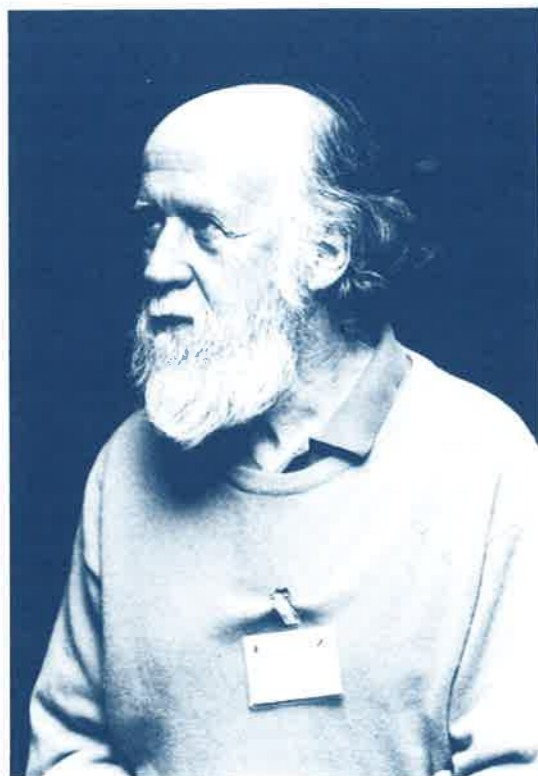
"One of the most interesting fields of research in cosmology today is the study of the large scale structure of the Universe. We live in a very large universe and we have first to make the geography of the Universe, like when people started to make the geography of the Earth. And it turns out that the geography that we know of the Universe, namely the distributions of galaxies and so on, is very small. It is like if we studied the geography of the Earth and we only knew about the Canary Islands and nothing about the rest of the planet. So, we have to learn more about how our universe is made. This is a programme that has been going on for many years. There is still a lot of work to be done on that, and the interpretation of this geography of the Universe is one of the most important

tales information that we could find about structure of the Universe, its past history and so forth. That certainly would be a very important subject for me."

Gamma rays

"Another important field of research would be gamma-ray lines. We have now detectors capable of detecting gamma rays coming from the stars, and we know that gamma-ray line astronomy is in a sense similar to usual astronomy with atomic lines, but it is a new field and there is a lot that we can learn by detecting this gamma-ray lines. This has already started and is going on, and there is a lot of information that would come out of these gamma-ray lines. So, these are certainly two subjects that I would tackle if I was a young astronomer."

"When you start doing something you never know what you are to find, and if you knew you would probably do something else. So the fact that we are opening a new window means that we have to be prepared to find something entirely new, perhaps even a new paradigm, we don't know."



Hubert Reeves

Galaxies further and further away

"About the construction of an 8 metre telescope here in the Canaries, there are of course similar projects in other countries, there is a project in Southamerica, in Chile; there is another one in Hawaii, the Gemini project. The question of adding another one here I think is most important, because telescopes are very needed, and this need is according to the idea of studying the structure of the Universe, for instance. It is an important way by which we can study objects, galaxies, which are further and further away. So, I would encourage very strongly the building of such a telescope here in the Canary Islands, because it is a way to have a very fruitful future for young astronomers. I think it is a very worthwhile project."

PROFILE

HUBERT REEVES was born in Montreal, Canada, in 1932. He graduated in Physics (University of Montreal) in 1953, and obtained his Ph.D. on Nuclear Astrophysics at the University of Cornell (USA) in 1960 (thesis director E.E. Salpeter).

He has been Professor at the Universities of Montreal, Columbia, California at Berkeley; Paris VII, Toulouse and the Free University of Brussels.

Since 1965 he has been Research Director of the Centre Nationale de la Recherche Scientifique (Paris) and Scientific Advisor at the Commissariat à l'Energie Atomique (Saclay, France). He is also Professor at the Department of Physics at the University of Montreal since 1989. The French Republic has awarded him with the distinctions of Chevalier de l'Ordre du Merite (1976) and Chevalier de la Legion d'Honneur (1986).

He is a member of the Academie Canadienne-Française, and of the Société Royale du Canada. Among other important awards, Reeves has received the Prix de La Fondation de France (1982), Prix de La Société Française de Physique (1985), the Grand Prix de la Francophonie of the Academie Française (1989) and the Prix de l'Academie Lutece de Paris (1992).

Reeves is an expert on Cosmology, on Nuclear Astrophysics, on the origin of chemical elements and on the origin of the Solar System. He also delivers public conferences on the history of the Universe and on the present ecological crisis. He has published several scientific books and some works for the popularization of science, such as Patience dans l'azur (Atoms of Silence) and L'heure de s'enivrer (The hour of our delight), besides several films of popular science for the French TV.

HUBERT REEVES

Centro de Estudios Nucleares (CEN), Saclay, París  
FRANCIA

La geografía del Universo

«Una de las áreas de investigación más interesantes actualmente en Cosmología es el estudio de la estructura del Universo a gran escala. Vivimos en un universo inmenso y debemos, en primer lugar, trazar la geografía del Universo, igual que cuando comenzó a hacerse la geografía de la Tierra. Pero resulta que la geografía que conocemos del Universo, es decir, la distribución de las galaxias y demás, es muy limitada. Es como si estudiásemos la geografía de la Tierra conociendo sólo las Islas Canarias y nada del resto del planeta. Por tanto, debemos conocer mejor la configuración de nuestro universo. En este programa se lleva investigando ya muchos años, pero aún queda mucho trabajo por hacer. La interpretación de esta geografía del Universo es una de las áreas que más información nos proporcionan acerca de la estructura del Universo, su historia pasada, etc. Éste sería para mí un campo de estudio muy importante.»

Rayos gamma

«Otro importante campo de investigación sería el estudio de las líneas en rayos gamma. Actualmente tenemos detectores capaces de medir rayos gamma procedentes de las estrellas, y sabemos que la astronomía de rayos gamma es, en cierto sentido, similar a la astronomía habitual de líneas atómicas; pero se trata de un nuevo campo del que se puede aprender mucho. El trabajo en esta área ya se ha iniciado y se sigue avanzando, pues de las líneas de emisión de rayos gamma se puede obtener gran cantidad de información. Así que éstos son dos temas en los que yo trabajaría si fuese un astrónomo joven.»

«En realidad, cuando se empieza a hacer algo no se sabe con qué se va uno a encontrar, y si lo supiéramos quizá haríamos otra cosa. El hecho de que estemos abriendo una nueva ventana implica que debemos estar dispuestos a encontrar algo completamente nuevo y, quizá, incluso un nuevo paradigma. Nunca se sabe.»

Galaxias cada vez más lejanas

«En relación con la construcción de un telescopio de 8 metros aquí, en las Islas Canarias, por supuesto hay proyectos similares en otros países: hay uno en Sudamérica, en Chile; otro en Hawaii, el proyecto Gemini. Construir otro aquí creo que es de suma importancia, porque los telescopios son muy necesarios, y esta necesidad está en relación con la idea del estudio de la estructura del Universo, por ejemplo. Es una forma de estudiar galaxias cada vez más lejanas. De modo que animo fuertemente a la construcción de un telescopio de esta clase en las Islas Canarias, porque es una forma de asegurar un futuro fructífero para los jóvenes astrónomos. Creo que el proyecto realmente merece la pena.»



Cúmulo de Virgo / Virgo Cluster  
(D. Malin/ATT.AAO)

PERFIL

HUBERT REEVES nació en Montreal (Canadá), en 1932. Estudió en la Universidad de Montreal, donde se licenció en Física en 1953, y en la Universidad de Cornell (EEUU), donde se doctoró en Astrofísica Nuclear en 1960, bajo la dirección de E.E. Salpeter.

Ha desarrollado su actividad académica en las universidades de Montreal, Columbia, California en Berkeley, París VII, Toulouse y Universidad Libre de Bruselas. Desde 1965 es Director de Investigaciones del Centro Nacional de Investigación Científica (París) y Consejero del Centro de Energía Atómica de Saclay (Francia), así como Catedrático del Departamento de Física de la Universidad de Montreal desde 1989.

La República Francesa lo nombró, en 1976, Caballero de la Orden del Mérito y, en 1986, Caballero de la Legión de Honor. Es miembro de la Academia Franco-Canadiense y de la Real Sociedad de Canadá. Entre sus galardones también se encuentran el Premio de la Fundación de Francia (1982), el Premio de la Sociedad Francesa de Física (1985), el Gran Premio de la Francophonie otorgado por la Academia Francesa (1989) y el Premio de la Academia Lutece de París (1992).

Experto en Cosmología, en Astrofísica Nuclear, en el origen de los elementos químicos y en el origen del Sistema Solar, Reeves también imparte conferencias sobre la historia del Universo y sobre la actual crisis ecológica. Es autor de varios libros especializados y de numerosas obras de divulgación, entre ellas Patience dans l'azur

(Paciencia en el azul del cielo) y L'heure de s'enivrer (La hora de embriagarse: ¿tiene sentido el Universo?), además de varias series de divulgación científica para la televisión francesa.

RASHID A. SUNYAEV

Space Research Institute, Academy of Sciences, Moscow  
RUSSIA

Physics in extreme conditions

PROFILE

RASHID ALIEVICH SUNYAEV was born in Tashkent (Uzbekistan), in 1943. He graduated from the Moscow Physical-Technical Institute in Physics in 1966, and was a student of Academician Ya. B. Zeldovich at the Moscow Institute of Applied Mathematics of the USSR Academy of Sciences. In 1968 he got his degree equivalent to the Ph.D. in Astrophysics from the Moscow University and, in 1973, he got the degree of "Doctor in Sciences", which permitted the application for the position of Full Professor.

Sunyaev has been Visiting Professor at different American universities and at the Max-Planck Institute for Astrophysics. He is currently Full Professor of Astrophysics at the Moscow Physical-Technical Institute and Head of the High Energy Astrophysics Department of the Space Research Institute, Moscow. Besides he is the Scientific Head of two International Orbital X-Ray Observatories: GRANAT and MIR-KVANT, he also heads the SPECTRUM-X-GAMMA International Orbital Observatory Project, to be launched in 1996, and leads the Russian participation in ESA INTEGRAL mission. Sunyaev is Editor-in-chief of the (Soviet) Astronomy Letters and an Honorary Member of a number of institutions, such as the American Astronomical Society, which awarded him the Bruno Rossi Prize in 1989; the European Astronomical Society, where he held the position of Vice-President from 1990 to 1993; and the Royal Astronomical Society, that recently awarded him with the Gold Medal. His main scientific results were obtained in the fields of Relativistic Astrophysics and Cosmology. Among them there are the standard theory of the disk accretion onto black holes and "the Sunyaev-Zeldovich effect", which permits the measurement of the absolute distance to the rich clusters of galaxies with hot intergalactic gas, and which is related to the measurement of the Hubble constant.



Rashid Sunyaev

"It is thirty years since I started working with my professor Yakov Zeldovich. I thought a lot about the question you asked me, and I have come to the conclusion that even if I began again in Astronomy, I would choose the same problem I work on, namely, the interaction of matter and radiation in extreme astrophysical conditions. I think that Cosmology and High Energy Astrophysics are the best places where we can really investigate Physics and how the laws of Physics are working under extreme circumstances, in conditions where we have enormously strong gravitational fields, enormously strong fields of radiation, extremely high or low temperatures, all this is of great interest today. I believe also that we are living in a great time, it seems that we can solve many problems of the study of our Universe and even of its future. I was very happy to see that here, on the island of Tenerife, the group of Dr. Rafael Rebolo is observing what is the footprint of the history of the universe on the microwave sky. This has been extremely important because these footprints have been practically in the same place of the sky for billions of years."

Extragalactic Astronomy and Cosmology

"It is very interesting to see how Astronomy is evolving, and today practically in all countries people recognize that large instruments, 8 or 10 metre class instruments, can give enormous information for astrophysicists. And, as you see, people, almost simultaneously in the USA, Japan and Europe are planning to build huge 8 metre telescopes. Spain is in very good conditions, in much better conditions than Russia, for instance, because in Russia we do not have practically astronomical sites of the same quality as the site that Spain has here in the Canary Islands. So, I believe that the decision of Spanish astronomers and your government to support the construction of an 8 metre telescope here in the Canaries is a very clever and wise decision. Such telescopes can give us enormous information about our universe in the recent past, from the present moment to the time when the Universe was practically ten times younger than today. Also, such a telescope equipped with infrared detectors can permit us to observe sources which are hidden in the molecular clouds in the regions of star formation. But I believe that extragalactic astronomy and cosmology is really the main task for such telescopes. There is also a very big wish in Russia among optical astronomers working in some international projects to get time for observations on 8 metre class telescopes."

RASHID A. SUNYAEV

Instituto de Investigación Espacial de la Academia de Ciencias de Moscú  
RUSSIA

La Física en condiciones extremas

PERFIL

RASHID ALIEVICH SUNYAEV nació en 1943, en Tashkent (Uzbekistán). Tras licenciarse en Física en 1966, en el Instituto Físico-Técnico de Moscú, fue alumno y colaborador del académico Ya. B. Zeldovich en el Instituto de Matemáticas Aplicadas de la Academia de Ciencias Soviética. En 1968 obtuvo el grado equivalente al doctorado en Astrofísica por la Universidad de Moscú y, en 1974, el grado de Doctor en Ciencias, que le facultó para el acceso a cátedra. Profesor invitado en diferentes universidades norteamericanas y en el Instituto Max-Planck de Astrofísica, actualmente es catedrático de Astrofísica del Instituto Físico-Técnico de Moscú y dirige el Departamento de Astrofísica de Altas Energías del Instituto de Investigación Espacial también de Moscú. Responsable científico de dos observatorios internacionales de rayos X -GRANAT y MIR-KVANT-, es además director del Proyecto Internacional para el Observatorio Orbital SPECTRUM-X-GAMMA, que será lanzado en 1996, y lidera la participación rusa en la Misión INTEGRAL de la Agencia Europea del Espacio. Sunyaev es editor de la revista soviética Astronomy Letters y miembro honorario de las principales sociedades astronómicas del mundo, como la Sociedad Astronómica Americana, que le concedió su Premio Bruno Rossi en 1989, la Sociedad Astronómica Europea, de la que fue Vicepresidente de 1990 a 1993, y la Real Sociedad Astronómica británica, que recientemente le ha concedido su Medalla de Oro. Sus resultados científicos más importantes pertenecen al campo de la Astrofísica Relativista y de la Cosmología. Entre ellos destacan la teoría estándar del disco de acreción en los agujeros negros y "el efecto Sunyaev-Zeldovich", que permite medir la distancia absoluta a los cúmulos ricos de galaxias con gas intergaláctico caliente y que está relacionado con la medida de la constante de Hubble.

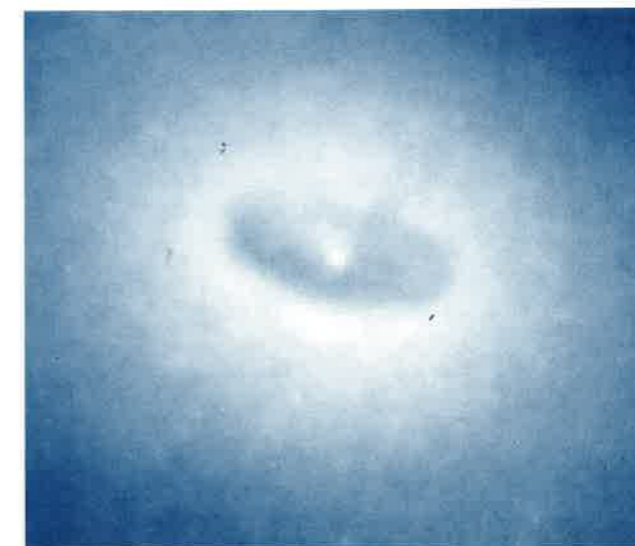


Imagen del HST del núcleo de la galaxia NGC 4261  
HST image of the core of the galaxy NGC 4261  
(W. Jaffe/Leiden Obs., H. Ford/JHU/STScI, & NASA)

"Hace treinta años que comencé a trabajar con el Profesor Yakov Zeldovich. He pensado mucho sobre la pregunta que me formulan y he llegado a la conclusión de que, incluso si empezara de nuevo en Astronomía, volvería a trabajar sobre el mismo problema que estoy estudiando, es decir, la interacción entre materia y radiación en condiciones astrofísicas extremas. Pienso que la Cosmología y la Astrofísica de Altas Energías son las mejores áreas para investigar la Física y sus leyes en condiciones extremas, cuando se dan campos gravitatorios extremadamente intensos, campos de radiación enormemente intensos, temperaturas extremadamente altas o bajas, todo ello de gran interés actualmente. Creo también que vivimos en una época maravillosa en la que parece que podemos resolver muchos problemas sobre el estudio de nuestro universo e, incluso, de su futuro. Me produjo mucha satisfacción ver que aquí, en Tenerife, el grupo del Dr. Rafael Rebolo está observando lo que es la huella de la historia el Universo en el cielo de microondas. Esto ha sido extremadamente importante, pues esta huella ha permanecido en el mismo lugar en el cielo a lo largo de miles de millones de años."

Astronomía Extragaláctica y Cosmología

"Es muy interesante ver cómo evoluciona la Astronomía. Hoy en día casi todo el mundo reconoce la importancia que tienen para los astrofísicos los grandes telescopios, de la clase de 8 y 10 metros, a la hora de obtener un enorme caudal de información. Como saben, se está planeando la construcción de telescopios de 8 metros simultáneamente en EEUU, Japón y Europa. España cuenta con muy buenas condiciones, mucho mejores que, por ejemplo, Rusia, porque en Rusia no tenemos buenos emplazamientos astronómicos de la calidad de los que España tiene en las Islas Canarias. Así que creo que la decisión de los astrónomos españoles y de su gobierno de apoyar la construcción de un telescopio de 8 metros en las Islas Canarias es muy acertada e inteligente. Los telescopios de esta clase pueden proporcionarnos una gran cantidad de información sobre el pasado reciente de nuestro universo, desde el presente hasta la época en que el Universo tenía prácticamente una décima parte de su edad actual. Por otra parte, un telescopio de estas dimensiones equipado con detectores infrarrojos nos permite observar fuentes que se esconden tras nubes moleculares en las regiones de formación estelar. Pero creo que la Astronomía Extragaláctica y la Cosmología son las metas principales de esta clase de telescopios. Entre los astrónomos ópticos rusos que trabajan en proyectos internacionales existe también el deseo de conseguir tiempo de observación en telescopios de 8 metros."