



IAC

noticias

XII CANARY ISLANDS WINTER SCHOOL OF ASTROPHYSICS

Puerto de la Cruz, Tenerife

13-24 / XI / 2000

Espectropolarimetría en Astrofísica

ESPECIAL 2000

ESCUELA DE INVIERNO

ROBERT ANTONUCCI

ROGER BLANDFORD

MOSHE ELITZUR

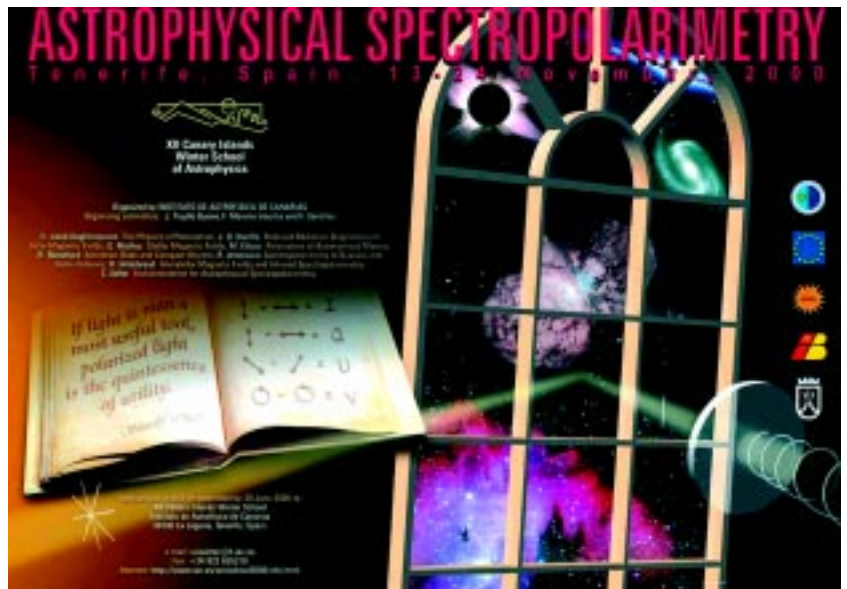
ROGER HILDEBRAND

CHRISTOPH KELLER

EGIDIO LANDI DEGL'INNOCENTI

GAUTHIER MATHYS

JAN OLOF STENFLO



El IAC ha organizado la *XII Canary Islands Winter School of Astrophysics*, del 13 al 24 de noviembre, en el Centro de Congresos de Puerto de la Cruz, Tenerife, con financiación de la Comisión Europea y la colaboración de la compañía Iberia. En esta edición de la Escuela de Invierno, los cursos fueron impartidos por ocho profesores expertos en Espectropolarimetría que abordaron el tema desde diferentes puntos de vista. Participaron 62 alumnos de 17 países que actualmente preparan su tesis doctoral, o la han terminado recientemente, sobre un tema relacionado con el de esta Escuela. Los cursos se completaron con las visitas al Instituto de Astrofísica, en La Laguna, y a los Observatorios del Roque de los Muchachos, en La Palma, y del Teide, en Tenerife.

IAC Consulta
nuestra
página web

<http://www.iac.es/gabinete/iacnoticias/digital.htm>

SUMARIO

pág. 3

Presentación

FRANCISCO SÁNCHEZ (IAC)

págs. 4 y 5

Espectropolarimetría en Astrofísica

JAVIER TRUJILLOBUENO (IAC/CSIC)
FERNANDO MORENO INSERTIS (IAC/ULL)
FRANCISCO SÁNCHEZ (IAC)

págs. 6 y 7

"Espectropolarimetría de cuásares y radiogalaxias"

Galaxias activas

ROBERT R.J. ANTONUCCI
(Universidad de Santa Bárbara, EEUU)

págs. 8 y 9

"Polarización de discos de acreción y objetos compactos"

Agujeros negros

ROGER D. BLANDFORD
(Instituto Tecnológico de California, EEUU)

págs. 10 y 11

"Polarización de máseres astronómicos: teoría, observaciones y simulaciones numéricas"

Máseres astronómicos

MOSHE ELITZUR
(Universidad de Kentucky, EEUU)

págs. 12 y 13

"Campos magnéticos interestelares y espectropolarimetría infrarroja y submilimétrica"

Magnetismo galáctico

ROGER H. HILDEBRAND
(Instituto Enrico Fermi. Universidad de Chicago, EEUU)

págs. 14 y 15

"Instrumentación para espectropolarimetría en Astrofísica"

Nuevas tecnologías

CHRISTOPH U. KELLER
(National Solar Observatory, EEUU)

págs. 16 y 17

"La física de la polarización"

Polarización en Astrofísica

EGIDIO LANDI DEGL'INNOCENTI
(Universidad de Florencia, Italia)

págs. 18 y 19

"Campos magnéticos estelares"

Estrellas magnéticas

GAUTHIER MATHYS
(Observatorio Europeo Austral, Chile)

págs. 20 y 21

"Espectropolarimetría y magnetismo solar"

El segundo espectro del Sol

JAN OLAF STENFLO
(Instituto Helvético de Tecnología, Zurich, Suiza)

págs. 22 y 23

UNADIFÍCIL CUESTIÓN

ASTRONÓMICA:

¿Qué interesa investigar?

págs. 24 y 25

LA DIVULGACIÓN CIENTÍFICA:

Un esfuerzo no reconocido

págs. 26 y 27

MENSAJES EXTRATERRESTRES:

¿Una búsqueda con futuro?

págs. 28 y 29

Profesores de las "Canary Islands Winter Schools of Astrophysics"
Actos paralelos
Ediciones

págs. 30 y 31

Instantáneas

XII CANARY ISLANDS WINTER SCHOOL OF ASTROPHYSICS **"Espectropolarimetría en Astrofísica"**

COMITÉ ORGANIZADOR:
Javier Trujillo Bueno
Fernando Moreno Insertis
Francisco Sánchez

COORDINACIÓN:
Luis Martínez
Monica Murphy

SECRETARÍA:
Lourdes González
Nieves Villoslada



INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE CANARIAS

Director: Francisco Sánchez
Jefe del Gabinete de Dirección: Luis Martínez
Edición, redacción y confección: Carmen del Puerto y Begoña López Betancor
Supervisión científica: Javier Trujillo Bueno y Luis Cuesta
Directorio y distribución: Ana Quevedo
Diseño original: Gotzon Cañada
Diseño de cartel: Gabriel Pérez
Edición digital: M.C. Anguita
Dibujos: Gotzon Cañada
Fotografías de grupo: Miguel Briganti
Tratamiento digital de imágenes: Gabriel Pérez
Depósito Legal: TF-335/87
ISSN: 0213/893X

PRESENTACIÓN

Prof. FRANCISCO SÁNCHEZ
(Director del IAC)

Año tras año, los temas clave de la Astrofísica de hoy van desfilando por la *Canary Islands Winter School*. Los diferentes objetos del Universo, los distintos rangos de observación, los avances en Astrofísica teórica o la nueva tecnología asociada con esta ciencia reúnen anualmente en las Islas Canarias a expertos y jóvenes astrofísicos de todo el mundo interesados en profundizar en estos temas. La fórmula funciona, porque estudiantes y profesores interaccionan, aprenden y disfrutan de la ciencia, en un entorno tan grato como el que ofrecen las Islas.

Con todos ellos, el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) quiere mantener un vínculo permanente. Así lo viene haciendo desde la primera Escuela, que tuvo lugar en 1989. Desde entonces, este "club de amigos" incrementa cada año el número de miembros, que ya se acerca al millar. (No olviden la siguiente dirección de correo electrónico: aqq@ll.iac.es, para comunicar o actualizar sus datos, así como nuestra página web: <http://www.iac.es>, donde siempre encontrarán información actualizada del IAC).

Este año, nuestra Escuela de Invierno profundizará en una visión diferente del Universo, la que permite una rama científica multidisciplinar todavía muy joven y, por tanto, aún no muy desarrollada, pero de gran futuro: la Espectropolarimetría. Gracias a ella, podremos llegar a conocer nuevas facetas del Universo y desvelar otros misterios escondidos aún en la radiación que recibimos. Los futuros grandes telescopios —el Gran Telescopio Canarias (GTC), entre ellos— y la nueva instrumentación deberán ser diseñados teniendo en cuenta esta técnica e incorporar muchas veces espectropolarímetros de nueva generación. Observación e interpretación teórica de la polarización de la luz permitirán avanzar en el conocimiento del papel que han jugado y están jugando los campos magnéticos en la evolución del Universo, presentes en cualquier sistema astrofísico. La Espectropolarimetría puede revolucionar la Astrofísica del próximo siglo. De ahí que le hayamos dedicado esta *XII Canary Islands Winter School of Astrophysics*.

Por último y para recordar que esta importante cita anual no sería posible sin la ayuda de las entidades que habitualmente nos prestan su apoyo, en esta presentación quiero dejar mi agradecimiento expreso una vez más a todos nuestros colaboradores y amigos.



Francisco Sánchez

AGRADECIMIENTOS A:

*Cabildo Insular de Tenerife
Cabildo Insular de La Palma
Ayuntamiento de
Puerto de la Cruz
Iberia
Comisión Europea (DG XII)
Ministerio de Educación y
Cultura*

¿Qué encontrarás en este Especial?

En este número especial de *IAC Noticias* dedicado a la XII Escuela de Invierno se publica, como en ediciones anteriores, el resultado de entrevistas específicas realizadas con cada uno de los profesores invitados (páginas 6-21), así como las respuestas agrupadas de todos ellos a una serie de preguntas comunes que sobre diferentes temas se les ha formulado (páginas 22-27). Se incluye, además, información adicional sobre esta Escuela y las precedentes.

ALGUNOS DATOS:

Nº Profesores: 8
Nº Alumnos: 62
Nº Países: 17
Nº Solicitudes: 80

ESPECTROPOLARIMETRÍA EN ASTROFÍSICA

JAVIER TRUJILLO BUENO, FERNANDO MORENO INSERTIS Y FRANCISCO SÁNCHEZ
 (Organizadores de la XII Canary Islands Winter School of Astrophysics)



Javier Trujillo Bueno

La mayor parte del trabajo observacional en Astrofísica ha venido realizándose primordialmente a partir de la "intensidad" (I) de la radiación recibida del plasma astrofísico en estudio en función de la longitud de onda. Sin embargo, un aspecto muy importante con frecuencia olvidado de la radiación electromagnética es su estado de "polarización", el cual está relacionado con la orientación del campo eléctrico de la onda. El estado de polarización puede caracterizarse convenientemente mediante cuatro cantidades que pueden ser medidas acoplando un polarímetro a nuestros telescopios. Estas cantidades "observables" son los cuatro parámetros de Stokes (I, Q, U, V) en función de la longitud de onda. Una definición rápida e intuitiva del significado de estos cuatro parámetros, que fueron formulados por Sir George Stokes en 1852 e introducidos en el mundo de la Astrofísica por el Premio Nobel Subrahmanyan Chandrasekhar en 1946, puede verse en el cartel anunciador de la Duodécima Escuela de Invierno sobre Espectropolarimetría en Astrofísica.

En los laboratorios de Física, las señales de polarización que se observan en experimentos donde el campo magnético es conocido de antemano son utilizadas para obtener información sobre la estructura atómica y molecular. En Astrofísica, el problema es el inverso: el campo magnético es el gran desconocido, pero el punto importante es que podemos obtener información sobre el mismo si aprendemos a interpretar correctamente observaciones espectropolarimétricas, haciendo uso de nuestro conocimiento de la Física Atómica y Molecular.

A pesar de que aún sabemos muy poco de ellos, no cabe duda de que los campos magnéticos desempeñan un papel fundamental en el Universo (véase, por ejemplo, el vídeo de la conferencia impartida por Sir Martin Rees en la reunión "Key Problems in Astronomy", la cual tuvo lugar en 1995, en Tenerife). Los campos magnéticos son importantes en diversos y variopintos contextos astrofísicos; por ejemplo, en los núcleos activos de galaxias, en las estrellas de neutrones, en los agujeros negros que pueblan el Universo, en las regiones de formación estelar, en las atmósferas del Sol y de otras estrellas, etc. Tanta es la fascinación que suscitan y el misterio que esconden que Henk van de Hulst escribió: "Magnetic fields are to astrophysicists what sex is to psychoanalysts" (Los campos magnéticos son para los astrofísicos lo que el sexo para los psicoanalistas). Otro famoso físico, R. Leighton, escribió hace tiempo: "If the Sun did not have a magnetic field, it would be as uninteresting a star as most

night-time astronomers believe it to be". (Si el Sol no tuviera campo magnético, sería una estrella tan poco interesante como la mayoría de los astrónomos nocturnos creen que es).

Aunque la importancia de la información que contiene la polarización de la radiación electromagnética es algo que viene reconociéndose en Física Solar desde hace décadas, donde la resolución espacial y el cociente señal/ruido en observaciones espectroscópicas son mucho más favorables que en observaciones nocturnas, en los últimos años desarrollos en Astrofísica Teórica y en instrumentación astronómica (telescopios con grandes superficies colectoras de fotones y novedosos espectropolarímetros) están llevando a un número cada vez mayor de astrofísicos a saber apreciar el enorme potencial de diagnóstico que nos ofrece la Espectropolarimetría. De hecho, hoy ya parece existir acuerdo en que la polarización de la luz es la clave para facilitar nuevos descubrimientos y para poder obtener la información que necesitamos con vistas a entender la física de muchos de los sistemas que acontecen en el Universo. Ejemplos particularmente relevantes, más allá del caso del plasma magnetizado solar o el de las estrellas Ap y Bp, lo constituyen los objetos estelares jóvenes y sus discos circundantes, los objetos Herbig-Haro, las estrellas simbióticas, los vientos estelares de estrellas calientes, los núcleos activos de galaxias, las radiogalaxias, los agujeros negros, el medio interestelar, la radiación de fondo de microondas y sus implicaciones cosmológicas, etc.

Los mecanismos físicos que pueden generar polarización en un punto dado de un plasma astrofísico son numerosos y variopintos: el efecto Zeeman debido a la acción de un campo magnético (el cual da lugar a un desdoblamiento de los niveles atómicos y moleculares), procesos de dispersión Thomson, Rayleigh y/o Raman, el efecto Hanle, polarización en líneas moleculares y su amplificación en máseres astronómicos, polarización debida a la existencia de granos de polvo alineados, radiación ciclotrón producida por electrones que se mueven en trayectorias espirales alrededor de las líneas de fuertes campos magnéticos, radiación sincrotrón debida a electrones relativísticos, etc. Tales señales de polarización que pueden generarse en cada punto del plasma astrofísico en consideración son con frecuencia fuertemente modificadas debido a procesos de transporte radiativo en el mismo. Todos estos mecanismos físicos dejan su huella en la polarización de la radiación que llega a nuestros telescopios. El primer objetivo es

lograr medir con precisión el grado de polarización de la radiación que recibimos del objeto astrofísico en estudio, lo cual no es tarea fácil pues, en general, las señales polarimétricas son muy débiles. Una vez que se ha logrado cuantificar correctamente el grado de polarización (idealmente para cada longitud de onda), uno tiene entonces que aplicar técnicas de diagnóstico de plasmas desarrolladas para lograr extraer la información que está codificada en la polarización de la radiación. Tales técnicas de diagnóstico están basadas en la teoría de la generación y transporte de radiación polarizada en plasmas magnetizados.

La Espectropolarimetría puede proporcionar pistas decisivas sobre los procesos físicos que gobiernan el comportamiento de un plasma astrofísico concreto y resulta muy útil a la hora de seleccionar entre varios modelos teóricos competitivos. Además de permitirnos la realización de estudios sobre magnetismo en Astrofísica, puede ayudarnos a averiguar la geometría del sistema astrofísico en estudio incluso sin tener la posibilidad de resolverlo espacialmente.

La Espectropolarimetría en Astrofísica tiene una naturaleza multidisciplinar, ya que requiere conocer y combinar suficientemente bien varias áreas de la Física y la Tecnología. La Física Atómica y Molecular es necesaria para conocer a fondo los mecanismos físicos que pueden generar polarización; el Transporte Radiativo y la Matemática Aplicada son claves para poder realizar simulaciones numéricas del proceso de generación y transporte de radiación polarizada; la Óptica y la Electrónica resultan vitales para lograr construir espectropolarímetros capaces de detectar señales de polarización de muy baja amplitud; y la Astrofísica Teórica y Observacional resultan indispensables para lograr identificar, con visión de futuro, los problemas claves en Astronomía donde es de esperar que la Espectropolarimetría dé lugar a nuevos avances.

La duodécima Escuela de Invierno del IAC sobre Espectropolarimetría en Astrofísica aparece en un momento en el que existe un enorme y creciente interés por el tema. Este creciente interés se debe principalmente a las nuevas oportunidades observacionales que comienzan ahora a ser posibles gracias a la nueva generación de telescopios con espejos de 10 metros de diámetro. Algunos de estos grandes telescopios han sido recientemente inaugurados en algunos de los mejores observatorios del mundo, mientras que otros están actualmente en construcción. Un ejemplo lo constituye el Gran Telescopio Canarias (GTC), el primer proyecto de Gran Ciencia liderado completamente por España.

Debido a la gran superficie colectora de este tipo de telescopios, al desarrollo de espectropolarímetros capaces de cuantificar con precisión el estado de polarización de la luz y a recientes avances sin precedentes en el campo de la Astrofísica Teórica y Numérica, la Espectropolarimetría esta poco a poco emergiendo como una nueva y poderosa herramienta de diagnóstico de las

condiciones físicas y de los campos magnéticos en el Universo. La relevancia del tema radica en las nuevas posibilidades que la Espectropolarimetría ofrece a los astrofísicos para dar lugar en las próximas décadas a nuevos y revolucionarios avances en Astrofísica mediante la observación e interpretación teórica rigurosa de la polarización de la radiación que recibimos de plasmas astrofísicos.

Si bien la Espectropolarimetría continúa dando lugar a nuevos descubrimientos en Física Solar, su aplicación al mundo de las estrellas, medio interestelar y galaxias está aún en su fase inicial de desarrollo. Esto la hace especialmente atractiva para jóvenes investigadores deseosos de contribuir al avance de la Astrofísica trabajando en el marco de una disciplina relativamente poco explotada y donde existen todavía muchas oportunidades de ser pioneros. En esta disciplina se dan cita la Astrofísica Teórica y Numérica y la Astrofísica Instrumental y Observacional, y en ella la "nueva ventana al Universo" la ofrece la posibilidad de lograr nuevos descubrimientos mediante la interpretación rigurosa de observaciones espectro-polarimétricas, lo cual proporciona una información imposible de lograr mediante la espectroscopía convencional.

En definitiva, hemos organizado esta escuela internacional con el deseo de lograr una introducción sin precedentes al campo de la Espectropolarimetría en Astrofísica, con vistas a facilitar que jóvenes investigadores se animen a investigar en profundidad y con rigor el "Universo Polarizado". Nuestra motivación ha estado basada en nuestra convicción de que lo que estamos logrando hacer hoy gracias a la Espectropolarimetría teórica y observacional en Física Solar, empezará pronto a ser posible también en otros campos de la Astrofísica. En España tenemos todas las condiciones para lograrlo debido en parte a la llegada de los grandes telescopios, a la participación de nuestro país en proyectos internacionales como el interferómetro ALMA y a nuestra participación en el desarrollo de telescopios espaciales como FIRST y PLANCK.

Para lograr que esta escuela internacional haya sido una realidad hemos contado con la ayuda de muchas personas e instituciones a las que deseamos expresar aquí nuestro sincero agradecimiento. En primer lugar, gracias a los 8 profesores por el esfuerzo que han dedicado para preparar sus lecciones y escribir los capítulos del libro que será publicado en breve por Cambridge University Press. Gracias a todos los participantes por haber contribuido a lograr una atmósfera verdaderamente científica y dinámica. Agradecemos también a las instituciones (mencionadas en este número) que nos han ayudado con generosidad. Y, por último, pero de forma muy particular, nuestro agradecimiento al grupo de personas del IAC sin cuya ayuda habría resultado impensable el habernos animado a emprender este proyecto: Nieves Villoslada, Lourdes González, Monica Murphy, Begoña López Betancor, Carmen del Puerto, Jesús Burgos y Gabriel Pérez.



Fernando Moreno Inserti

Prof. Robert R.J. Antonucci

Universidad de Santa Bárbara
ESTADOS UNIDOS

GALAXIAS ACTIVAS



Robert R.J. Antonucci

Las galaxias activas fascinan a los astrónomos porque a través de ellas pueden reconstruir el Universo. Los llamados AGN (siglas de Núcleos Activos de Galaxias, en inglés) constituyen las fuentes de energía continua más potentes que se conocen y, además, muchos de ellos son los objetos más distantes que podemos observar. Pero sobre sus propiedades sigue habiendo discrepancias científicas que "polarizan" debates un tanto acalorados. La aplicación de la espectropolarimetría al estudio de estos objetos ha supuesto algunos avances esclarecedores que el Prof. Robert Antonucci, de la Universidad de Santa Bárbara (Estados Unidos) y presente en esta Escuela, comenta en la siguiente entrevista.

Desde que se planteó por primera vez la idea de un modelo unificado para los diferentes tipos de galaxias activas ¿Cuáles han sido los principales avances en el conocimiento de estos sistemas astrofísicos? ¿Qué papel ha desempeñado la espectropolarimetría al respecto?

“Se han hecho algunos progresos en la valoración de si la idea es aplicable a algunos Núcleos Activos de Galaxias (AGN), a la mayor parte de ellos o a todos. Sabemos que la idea fue válida para algunos objetos durante muchos años – especialmente convincente fue el descubrimiento observacional de que vemos el espectro de Tipo 1 en el flujo polarizado del Tipo 2s. Se están realizando algunos intentos para estudiar una muestra completa y relativamente libre de sesgo en cuanto a su orientación, como las seleccionadas en el infrarrojo lejano.

Muchos de los ‘espejos’ implícitos en el modelo se han resuelto con éxito y se han obtenido imágenes de su polarización con el Telescopio Espacial ‘Hubble’ (HST).

Por último, ha habido considerables avances en espectroscopía de rayos X, lo que ha permitido identificar y caracterizar los componentes físicos postulados.”

Uno de los instrumentos post-foco de primera luz del Gran Telescopio Canarias (un telescopio óptico-infrarrojo de 10m de diámetro actualmente en construcción en el Observatorio del Roque de los Muchachos) es un polarímetro para el infrarrojo medio que ha sido diseñado para medir la polarización lineal. ¿Qué tipo de observaciones

espectropolarimétricas sugeriría usted llevar a cabo en un futuro con este instrumento?

“Aquí va una fundamental: D. Whysong y yo tenemos un programa a largo plazo en el telescopio ‘Keck’ de Hawai que lo está intentando. Hay evidencias de que las radiogalaxias más ‘inertes’ en el visible NO tienen cuásares ocultos. El test más sólido para la detección de cuásares ocultos es el ‘calor sobrante’ de los supuestos ‘tori’ (discos en torno al agujero negro) que oscurecen la emisión en el infrarrojo medio. La fuerte emisión en el infrarrojo medio procede del polvo muy caliente (AGN, no brotes de formación estelar), y el infrarrojo medio es muy penetrante. De modo que, prácticamente todos los AGN ocultos en las radiogalaxias de entre las galaxias clasificadas por IRAS se podrán encontrar fácilmente, sobre todo porque la resolución espacial es muy buena. La capacidad de observación se eleva en este caso a la cuarta potencia de la apertura del telescopio: estos objetos son visibles con telescopios de la clase de 4m.

Por lo que se refiere a la polarimetría en el infrarrojo medio, en principio es posible comprobar modelos de la componente *Big Blue Bump* del cuásar (abultamiento de la parte azul del espectro del cuásar, posiblemente debido a la presencia de un agujero negro): la distribución de la energía espectral del flujo total no puede separar la emisión del polvo de la de la *Big Bump* en el infrarrojo medio cercano. Pero, en algunos casos, sí podría hacerse, porque la emisión del polvo no está polarizada o, al menos, está polarizada de forma distinta que la del *Big Bump*. Ac-

tualmente se desconoce por completo el comportamiento en el infrarrojo cercano, con lo cual se admite cualquier modelo teórico.

Además, el único hueco disponible en el espectro de los cuásares que no emiten en radio en el que la radiación podría ser no térmica es en el infrarrojo medio. Hemos de aclarar este punto midiendo su polarización. Será un trabajo duro para cualquier telescopio."

¿Son los cuásares y las radiogalaxias observacionalmente muy distintos?

"Las galaxias que albergan radio-cuásares y las radiogalaxias FR2 son, en realidad, muy parecidas. Las diferencias entre las fuentes de núcleo central en radio y en el visible se explican directamente por el modelo de orientación (incluyendo el modelo relativista de colimación de los haces para los núcleos de radio)."

¿Qué tipo de motores los impulsan?

"Esta es mi obsesión. Los cuásares y los cuásares ocultos se manifiestan energéticamente sobre todo en la forma del *Big Blue Bump*, lo que, para muchos, es radiación térmica de un flujo de acreción ópticamente grueso y relativamente frío (10^5 K), como el debido a un disco de acreción. Pero, como decía antes, hay muchos subgrupos de radiogalaxias que PODRÍAN NO estar involucradas. El hecho de si su potencia procede de AGN 'térmicos' muy bien es-

condidos puede descubrirse con más seguridad, pienso, a través del calor sobrante en el infrarrojo medio que esto implica."

¿Qué tipos de telescopios, polarímetros y dominios de longitud de onda utiliza en sus investigaciones sobre este tipo de objetos?

"Soy un oportunista, no tengo ningún plan establecido. Seguiré utilizando el radio, la bolometría y la espectroscopía milimétrica, el infrarrojo medio, un poco de espectropolarimetría óptica y, espero, algo de espectroscopía de rayos X con el XMM y con Chandra."

En relación con el tema de esta Escuela de Invierno, ¿cuál es actualmente el problema más interesante de su investigación?

"La espectropolarimetría de muestras seleccionadas isotrópicamente de objetos con y sin emisión en radio sería muy importante, ya que es la única forma de evaluar el modelo en su conjunto. La espectropolarimetría de fuentes con alto corrimiento al rojo para seguir comprobando la naturaleza de los dispersores: la razón por la que nos resulta importante es que las evidencias señalan hacia la dispersión de electrones, pero eso requiere masas enormes de gas relativamente frío que serían térmicamente inestables y fuera de equilibrio hidrostático —con lo cual tendríamos un índice de formación estelar de aproximadamente 10^{12} masas solares en un tiempo dinámico."

PERFIL

ROBERT R.J. ANTONUCCI se licenció en Físicas en la Universidad de Colorado, en 1975, y se doctoró en Astronomía por la Universidad de California en Santa Cruz, en 1982.

Desde entonces, ha estado vinculado al Observatorio Nacional de Radioastronomía (1982-85), como investigador; al Instituto Científico del Telescopio Espacial (1985-88); y, desde 1988, a la Universidad de California en Santa Bárbara, donde actualmente es Catedrático de Física.

A Robert Antonucci se le conoce sobre todo por su trabajo sobre NGC 1068. Junto con J. Miller, midió el espectro polarizado del núcleo Seyfert de tipo 2 de esta galaxia activa. La conclusión de que la polarización de esta galaxia presenta la línea estrecha normalmente asociada a los núcleos Seyfert tipo 1 les llevó a proponer un modelo unificado que explicara este tipo de galaxias activas. Este modelo consiste básicamente en la existencia de un disco interno rodeado en sus partes superior e inferior por una región de electrones dispersos y un torus de polvo que oscurece la visión directa del disco en determinada dirección. Las galaxias Seyfert de tipo 2 serían, según el modelo, simplemente iguales a las de tipo 1 pero vistas de canto.

La confirmación, demostración y generalización de este modelo a otros tipos de galaxias activas ha ocupado parte del trabajo de Antonucci en los últimos años. Para ello ha realizado observaciones con el telescopio espacial Hubble de la galaxia NGC 1068, además de un estudio reciente de galaxias Seyfert con con el VLA.

El grupo de Antonucci propuso este año una medición independiente del ángulo de la línea de visión, cuyo resultado apoya los postulados del modelo unificado propuesto por los autores.

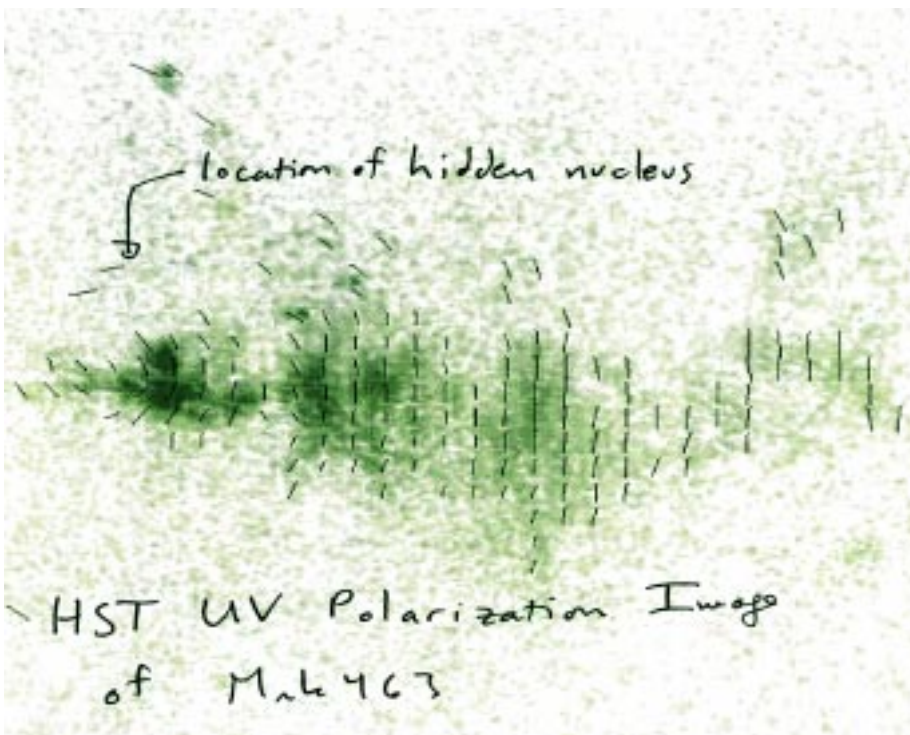


Imagen de polarización ultravioleta de Mrk 463 obtenida con el telescopio espacial "Hubble".

Prof. Roger Blandford

Instituto Tecnológico de California
ESTADOS UNIDOS

AGUJEROS NEGROS



Roger Blandford

Los agujeros negros fueron intuidos por primera vez a finales del siglo XVIII: **Michell y Laplace sugirieron, casi simultáneamente, la idea de que si se combinara una gran masa y un radio pequeño sería posible obtener un cuerpo del cual la luz no podría escapar. Ahora sabemos que la concentración de masa en un agujero negro es tan extraordinaria, que el espacio queda completamente deformado. Algunas de las propiedades supuestas en la región ocupada por un agujero negro son tan contrarias a nuestra experiencia cotidiana que difícilmente llegamos a entenderlas. A ello hay que añadir la dificultad de observar algo que por definición no se ve, aunque la influencia gravitatoria de los agujeros negros sobre su entorno debe permitir encontrarlos y certificar así su existencia. De ahí que se busquen en sistemas binarios donde se pueda observar el comportamiento anómalo de una estrella compañera. Si se observa que la estrella es acelerada y pierde materia a gran velocidad, cabe la sospecha de que no anda lejos un agujero negro. El campo magnético también ejerce su influencia en las cercanías de este tipo de objetos compactos y la Espectropolarimetría ofrece muchas posibilidades para futuras investigaciones, como demuestra en esta entrevista el Prof. Roger Blandford, del Instituto Tecnológico de California (Estados Unidos).**

¿Cuál es la relación actual entre la astrofísica teórica y la observacional en su campo de investigación?

“Existe una estrecha relación entre teoría y observación en la astrofísica actual. Un tema que me interesa particularmente es el de los agujeros negros astrofísicos. El aspecto teórico de las propiedades de los agujeros negros se conoce bastante bien desde hace treinta años. Sin embargo, la abundancia de estos objetos predicha por la teoría no ha empezado a encontrar su plasmación en las observaciones hasta hace poco tiempo. No obstante, no acaba ahí la cosa: los astrónomos observacionales han descubierto muchas características inesperadas de los agujeros negros, lo que ha estimulado nueva investigación teórica en este campo. De hecho, con el éxito del Telescopio Espacial ‘Hubble’ y sus contrapartidas en rayos X, los astrofísicos observacionales están muy por delante en este asunto.”

¿Cómo es posible que un agujero negro y su disco de acreción den

lugar a dos jets orientados en direcciones opuestas? ¿Cuál es el modelo teórico más aceptado hoy en día y qué evidencias han llevado a elegirlo como el más adecuado?

“Llevo treinta años buscando la respuesta a esta pregunta. El problema es difícil. Observamos que las estrellas de reciente formación, algunas estrellas de neutrones y, especialmente, los agujeros negros (de todos los tamaños) pueden producir jets (dos chorros en direcciones opuestas). Parece que lo único que hace falta es tener una masa central y un gas que gire en torno al agujero. Observamos cómo estos jets se forman sorprendentemente cerca de la masa central y se propagan hasta distancias enormemente grandes a través del gas del entorno y de forma muy focalizada. La mayoría de los astrofísicos coinciden en que los campos magnéticos intervienen en la formación de estos chorros, si bien no se ponen de acuerdo en cuanto a los detalles. Mi opinión al respecto sigue siendo en realidad la misma que hace vein-

te años (lo cual posiblemente sea mala señal). Creo que el motor del *jet* procede del giro del objeto central (sea una estrella o un agujero negro) y del gas cercano. En mi opinión, el campo magnético, que puede comportarse como si fuese una cuerda elástica, es el medio para extraer esa fuerza. La focalización, a mi modo de ver, se debe en gran medida a la intervención del campo magnético vinculado al disco de acreción circundante a diversas escalas. Este campo magnético queda atrapado en torno al gas muy caliente aglutinado por el objeto central. Al menos esa es mi opinión... Una forma de avanzar en la teoría es realizar más 'experimentos' de simulación numérica para tratar de entender el comportamiento real de los campos magnéticos. Otro enfoque consiste en observar la superficie del Sol, que constituye en sí un magnífico laboratorio."

¿Qué son los magnetares y las ergoesferas? ¿Podría la espectropolarimetría ser útil en la búsqueda de pruebas indirectas de los agujeros negros?

"Un magnetar es una estrella de neutrones con un campo magnético extraordinariamente fuerte. La existencia de estos objetos fue postulada por Thompson y Duncan y parece casi segura. Las intensidades de campo que se barajan son del orden de miles de

millones de veces mayores de las que pueden obtenerse en el laboratorio.

La ergoesfera es la región que rodea un agujero negro o una estrella de neutrones en rotación donde la influencia de la gravedad es tan fuerte que sería imposible que un satélite orbitase en torno al agujero negro. Se denomina ergoesfera porque es la región de la que puede extraerse energía. Ya se ha empleado la espectropolarimetría en la astrofísica de los agujeros negros; actualmente me interesa mucho la idea de conocer, mediante observaciones polarimétricas, cómo se comporta el gas en las cercanías de un agujero negro. En objetos como el centro galáctico podríamos estar observando emisión procedente de regiones muy cercanas a la superficie de los agujeros negros a longitudes de onda milimétricas."

En relación con el tema de esta Escuela de Invierno, ¿cuál es el problema más interesante de sus actuales investigaciones?

"Es difícil destacar uno, pero si consideramos la investigación como 'el arte de lo resoluble', diría que el problema de mayor interés que se plantea actualmente es la aplicación de las observaciones polarimétricas para determinar el comportamiento del gas en torno a los agujeros negros."

PERFIL

ROGER DAVID BLANDFORD nació en Grantham, Inglaterra, el 28 de agosto de 1949. Estudió en la Universidad de Cambridge (Magdalene College), donde se licenció en Física Teórica en 1970 y realizó sus primeros trabajos de investigación, que desembocaron en una tesis doctoral, dirigida por Sir Martin Rees, que fue presentada en 1974. Desde 1976 ha estado vinculado al Instituto Tecnológico de California, donde, desde 1989, ostenta la cátedra Richard Chace Tolman de Astrofísica Teórica.

Su trabajo, abordado desde una perspectiva eminentemente teórica pero sin perder de vista los resultados observacionales, se ha centrado en el estudio de los núcleos activos de galaxias (AGN) y, especialmente, en las investigaciones sobre agujeros negros y discos de acreción con campos magnéticos. Se puede decir que Blandford es de la escuela teórica vinculada a la Universidad de Cambridge liderada por el recientemente fallecido Dennis Sciama y a la que también pertenece su director de tesis.

Ha sido profesor visitante en numerosas instituciones, entre las que destacan el National Radio Astronomy Observatory, el NORDITA, el Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics o el Instituto de Física Teórica. Además de pertenecer a las más importantes sociedades científicas (miembro de la Royal Society desde 1989), ha recibido reconocimientos a su labor investigadora tan importantes como el Alfred P. Sloan Research Fellowship (1980-84), el Premio Warner de la Sociedad Astronómica Americana (1982), además de ser designado 'George Darwin Lecturer' por la Royal Astronomical Society (1989), 'Raymond and Beverley Sackler Lecturer' de la Universidad de California en Berkeley (1994) o 'Ludwig Biermann lecturer' del Instituto Max-Planck de Astrofísica (1998), entre otras distinciones.

Roger Blandford ha formado parte de comités asesores sobre ciencia para la Sociedad Astronómica Americana (Panel on Theoretical and Laboratory Astrophysics High Energy Astrophysics Division, 1982-83), el National Research Council (desde 1984), del Instituto de Física teórica (1985-88), la National Academy of Sciences (1985-88) y del Instituto Max-Planck de Astrofísica (desde 1996), entre otros.

Prof. Moshe Elitzur

Universidad de Kentucky
ESTADOS UNIDOS

MÁSERES ASTRONÓMICOS



Moshe Elitzur

Tras diseñar sistemas dirigidos por radar y aparatos de navegación durante la Segunda Guerra Mundial, el físico y astrónomo Charles Hard Townes desarrolló en los años cincuenta la idea de la amplificación de microondas por emisión estimulada de la radiación, lo que se conoce por el acrónimo *máser*. A la construcción del *máser* en el laboratorio le siguió la del *láser*, por cuyo descubrimiento Townes recibió el Premio Nobel de Física en 1964. Pronto se demostró que este efecto también se producía de forma natural en el espacio interestelar. Hoy en día, la existencia de *másers* astronómicos resulta de gran interés científico y el hecho de ser en muchos casos una radiación polarizada los hace especialmente atractivos, como explica el Prof. Moshe Elitzur, de la Universidad de Kentucky (Estados Unidos), en esta entrevista.

¿Podría explicar brevemente qué son los *másers* astronómicos y por qué su radiación suele estar polarizada? ¿Qué tipo de sistemas astrofísicos producen radiación tipo *máser*?

“La palabra MASER es un acrónimo de *Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (Amplificación de Microondas por Radiación de Emisión Estimulada). El láser, tan omnipresente en la vida cotidiana, se basa en los mismos principios que el *máser*, sólo que con luz visible en lugar de radiación de microondas – de ahí la sustitución de la primera letra en el nombre. De hecho, los *másers* fueron los primeros en ser desarrollados en el laboratorio. Llevó luego más de cinco años extender el efecto al láser. A pesar de que la construcción de un láser o un *máser* requiere un gran esfuerzo, en el espacio interestelar el efecto se produce de forma natural porque los ritmos colisionales son demasiado bajos, lo que impide que se produzcan poblaciones de equilibrio. Hasta ahora la emisión *máser* se ha detectado en muchos tipos de moléculas interestelares, incluidas la molécula OH, el H₂O (agua), SiO, CH₃OH (conocido como metanol), NH₃ (amoníaco), CH, HCN y H₂CO (formaldehído). Las longitudes de onda de los *másers* van desde aproximadamente 1mm hasta los 30 cm. Estos fenómenos se producen en muchos sistemas astrofísicos, incluidos los cometas, las nubes moleculares, las regiones de formación estelar, las estrellas de tipo tardío, los remanentes de supernova y las galaxias externas (se han descubierto

corrimientos al rojo de hasta 0,265). También se ha detectado fuerte emisión *máser* procedente de líneas de recombinación de H en la estrella joven MWC 34.

En ocasiones, aunque no siempre, la radiación *máser* está polarizada. Cuando esto sucede, el grado de polarización puede alcanzar niveles mucho más altos que en el caso de fuentes térmicas –la radiación de algunos *másers* de OH y SiO está completamente polarizada. Esta fuerte polarización es el resultado del crecimiento no lineal de la radiación amplificada en *másers* astronómicos que están sometidos a campos magnéticos ordenados que mantienen su estructura a lo largo de toda la extensión de las fuentes del *máser*.”

¿Cuál es el estado actual de la teoría de polarización de *másers* astronómicos? ¿Hemos logrado entender bien cómo el campo de radiación del medio se amplifica y se vuelve polarizado?

“Dado que la amplificación es de por sí un proceso físico altamente no lineal no puede describirse partiendo de un enfoque perturbativo. No hay una solución lineal de primer orden y hay que adoptar, por tanto, un enfoque no lineal desde el principio. La polarización del campo de radiación es el promedio entre todos los modos del campo de radiación amplificados en el *máser*. Cada modo, es decir, la configuración inicial de los parámetros de Stokes (I, Q, U y V), se amplifica de forma

distinta y su polarización evoluciona de manera diferente. La teoría ha identificado la configuración de $(Q/I, U/I, V/I)$ que proporciona una polarización estacionaria. Una vez que la polarización de cualquier modo alcanza esta configuración, sus parámetros de Stokes fraccionales no cambian más durante ulteriores ampliaciones en el máser. Como todos los modos están 'encerrados' en la configuración estacionaria, ésta es la polarización que se espera encontrar en las fuentes máser. Esta solución proporciona una buena explicación de las observaciones.

La solución analítica del problema de la polarización estacionaria es completa, pero la evolución temporal hacia esta polarización requiere simulaciones numéricas que modelen el crecimiento de cada modo dentro del conjunto. El promedio se obtiene entonces a partir de la distribución de modos en evolución. Todavía queda por realizar estos cálculos y la teoría de polarización de máseres es aún deficiente en este respecto."

¿Qué tipo de información puede obtenerse de la observación e interpretación de la polarización máser? ¿Qué observaciones espectropolarimétricas nuevas serían interesantes y qué tipo de técnicas de diagnóstico hay que desarrollar todavía?

"Fíjense en las siguientes figuras, de A.J. Kembell & P.J. Diamond (1997, *ApJ*, 481, L111). Muestran el mapeado VLBA de emisión máser de SiO correspondiente a 'The Mira Variable TX Cam'.

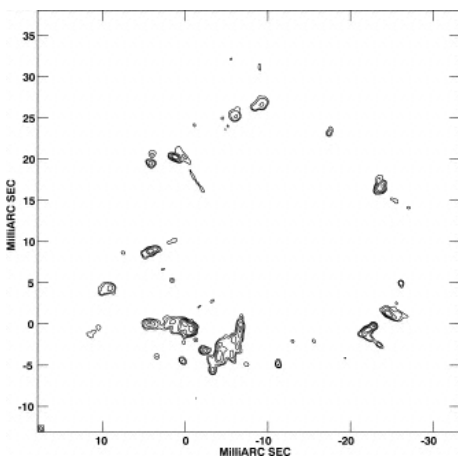


Figura 1

La figura 1 muestra el mapa de perfiles de intensidad (parámetro de Stokes I). Los máseres aparecen como regiones localizadas en un anillo de radio de 4,8 UA y ancho de 0,7 UA. Esto implica que los máseres sondan las condiciones en una concha esférica localizada dentro de

aproximadamente dos radios estelares entre la fotosfera y el radio de formación del polvo. Es la primera vez que se sondea la superficie de una estrella distinta al Sol, un logro posible gracias a la mayor resolución angular permitida por los máseres. La posición de puntos de máseres individuales queda determinada hasta una fracción de milisegundo de arco, las separaciones entre puntos son del orden de 0,01 milisegundos de arco.

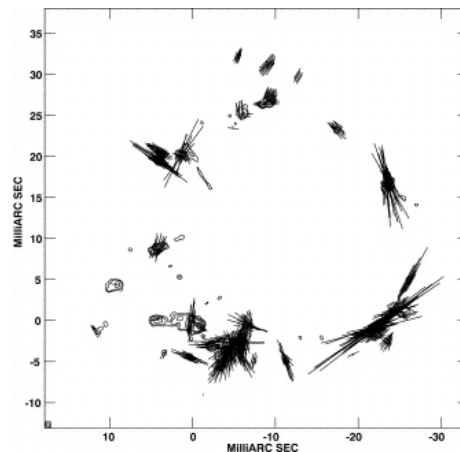


Figura 2

La figura 2 muestra el mapa de polarización resultante al superponer los vectores de polarización a los perfiles de intensidad. Los vectores representados indican el plano del vector eléctrico y su longitud es proporcional a la intensidad lineal polarizada. Los vectores de polarización y los giros ocasionales de 90° quedan bien explicados por la teoría de máseres. No sólo estamos sondeando la superficie de una estrella distinta al Sol, sino que incluso estamos cartografiando la estructura de su campo magnético."

¿Cuál es actualmente el problema más interesante de su investigación?

"De hecho, el problema está relacionado con el tema de la Escuela, aunque no con mi curso: Todos los modelos de formación estelar incluyen la formación de discos. Sin embargo, la evidencia observacional de la presencia de discos protoestelares sigue siendo algo controvertida en muchos casos. Muchos observadores tienden a explicar esa ausencia basándose en la geometría de disco, pero un estudio pormenorizado demuestra que con frecuencia esa interpretación de los datos no es la adecuada. La identificación de la huella decisiva del disco es el problema más interesante de mis investigaciones actuales. De hecho, la polarización del polvo es potencialmente uno de los más claros indicadores de la presencia de discos."

PERFIL

MOSHE ELITZUR nació en Polonia, el 29 de abril de 1944. Estudió Ciencias en la Universidad Hebrea de Jerusalén (Israel), donde se licenció en 1964. En 1971 se doctoró por el Instituto Weizmann de Ciencias, en Rehovot. Desde entonces ha sido Senior Scientist de este instituto israelita (1975-80) y profesor de la Universidad de Kentucky (EEUU), desde 1980 hasta hoy. Además, ha colaborado como científico visitante en instituciones como la NASA, el CEA en Saclay (Francia) o la Universidad de Illinois. A Elitzur se debe el desarrollo del estudio de los máseres, y es autor de un libro esencial en este ámbito de la Astrofísica: "Astronomical Masers" (Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1992).

Prof. Roger Hildebrand

Instituto Enrico Fermi, Universidad de Chicago
ESTADOS UNIDOS

MAGNETISMO GALÁCTICO



Roger Hildebrand

El plasma, sin duda el estado de la materia más frecuente en el Universo, genera campos magnéticos, ya sea en las atmósferas estelares, en el medio interestelar, etc. El campo magnético juega un papel clave a la hora de producir la radiación sincrotrón a la cual pertenecen la mayor parte de los fotones que nos llegan del Cosmos. Los astrofísicos solares siempre fueron conscientes de la importancia del magnetismo, en algunos casos de mayor trascendencia que la propia gravitación. Ahora, el interés se extiende a las galaxias y su periferia dado que la fuerza magnética, al ser mantenida por el propio plasma, y a diferencia de la gravedad, no se pierde con la distancia. La espectropolarimetría en determinadas longitudes de onda del espectro electromagnético puede arrojar más "luz" sobre este campo, como señala en esta entrevista el Prof. Roger Hildebrand, del Instituto Enrico Fermi de la Universidad de Chicago (Estados Unidos).

PERFIL

ROGER H. HILDEBRAND estudió en la Universidad de California en Berkeley, donde se licenció en Química en 1947, y se doctoró en Físicas, en 1951. Desde 1952 ha estado vinculado a la Universidad de Chicago: al Instituto Enrico Fermi y al Departamento de Astronomía y Astrofísica, del que fue director (1984-88). Hoy es Profesor Emérito de la Universidad de Chicago. Ha sido asesor de numerosos comités científico-técnicos, en instituciones como la National Academy of Sciences, el Instituto Americano de Física, el Jet Propulsion Laboratory y la NASA. Hildebrand es miembro de la Sociedad Americana de Física y de la Academia Americana de las Ciencias y las Artes. Su labor docente en la Universidad de Chicago le mereció el Premio Quantrell a la Excelencia Docente (1960) y el Premio Norman Maclean (1999).

¿Qué se sabe hoy con certeza sobre los campos magnéticos galácticos? ¿Hasta qué punto son precisos nuestros conocimientos de la polarización interestelar?

"Sabemos con certeza que nuestros conocimientos de los campos magnéticos galácticos es todavía rudimentario y poco preciso. Las observaciones de la emisión de sincrotrón de galaxias espirales indican la existencia de campos magnéticos que están ordenados aproximadamente a lo largo de los brazos de la galaxia. Sin embargo, las observaciones de nuestra propia galaxia apuntan hacia un campo vertical en al menos los 100 pc centrales; por toda la Galaxia se encuentra un fuerte contraste en la intensidad y la orientación del campo entre regiones densas y regiones tenues. Tanto en uno como en el otro tipo de regiones existe una componente aleatoria del campo que es al menos igual de importante que la componente media. En los halos de las galaxias hay una enorme variación en la configuración del campo de una galaxia a otra. Los campos son lo bastante fuertes como para controlar la estructura galáctica, la formación de nubes moleculares, la formación estelar, el

transporte de rayos cósmicos y muchos otros fenómenos astrofísicos."

¿Qué tipo de espectropolarímetros y de observaciones serían ideales para obtener un mapa tridimensional del campo magnético galáctico? ¿Cree usted que el interferómetro ALMA (o cualquier otro proyecto en ciernes) será adecuado para conocer con más exactitud los campos magnéticos de la Galaxia en un futuro próximo?

"La mayor parte del polvo galáctico emite a temperaturas de entre 10K y 50K. Es el polvo frío, que se observa mejor a longitudes de onda submilimétricas, el que ocupa la mayor parte del volumen y, por lo tanto, constituye el mejor indicador de campos magnéticos a gran escala. Sin embargo, gran parte del flujo de las nubes moleculares es emitido por regiones activas mucho más calientes. Es fundamental comparar espectros de flujo y espectros de polarización para saber qué componentes de la nube se están registrando en el mapa. Los datos de polarización deberían complementarse, siempre que sea posible, con mediciones directas basadas en el efecto Zeeman para detectar los cambios en la inclinación del campo y establecer la

magnitud del campo a lo largo de la línea de visión.

Los interferómetros nos proporcionan mapas de alta resolución de fuentes compactas (como discos circunestelares y núcleos internos de nubes moleculares). Con el instrumento BIMA encontramos estructura en el mapa de polarización del núcleo de Orión a escala de 0,02 pc. Los futuros interferómetros con grandes áreas de captación de radiación pueden resultar especialmente útiles en el cartografiado de campos magnéticos de galaxias externas, especialmente si las observaciones se pueden realizar en un amplio rango de frecuencias que distinga entre la emisión de sincrotrón y la emisión térmica del polvo.”

¿Cómo contribuye la espectropolarimetría al avance en el conocimiento de las propiedades químicas y físicas de los granos de polvo interestelares?

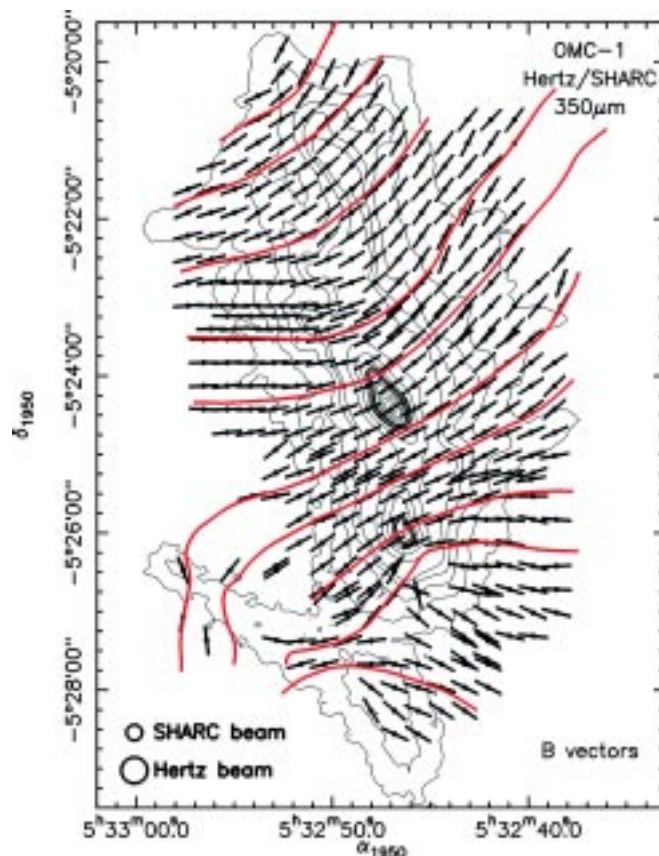
“La espectropolarimetría en las bandas de absorción del infrarrojo medio y cercano ha proporcionado la base para deducir la forma y confirmar la composición de los granos de polvo. La espectropolarimetría en las longitudes de onda visible y del infrarrojo cercano ha permitido conocer el tamaño de los granos y el crecimiento de las capas de granos. En el caso del infrarrojo lejano, la espectropolarimetría podría revelarnos las condiciones necesarias para el alineamiento de los granos.”

En relación con el tema de esta Escuela de Invierno, ¿cuál es actualmente el problema más interesante de su investigación?

“La estructura turbulenta de los campos magnéticos no es aún observable. No obstante, hemos hallado evidencias de una componente aleatoria que contribuye de forma importante a la densidad total de la energía magnética y debe ser clave para evitar el colapso gravitatorio, para el calentamiento mediante la recombinación de líneas de campo magnético y para la congelación de las líneas de campo en el medio de la nube. Deducimos que la energía contenida en las componentes aleatorias es al menos tan grande como la contenida en la componente media. Este resultado es similar al del medio interestelar difuso, donde la densidad es 10^4 veces menor. El tamaño característico del dominio turbulento medido en términos de densi-

dad de columna de masa es aproximadamente el mismo en las regiones difusas y densas, a pesar de las enormes diferencias en el entorno.

Otra característica a pequeña escala oculta en las nubes moleculares queda recogida en el espectro de polarización en el infrarrojo, donde encontramos un espectro que cae bruscamente entre las 60 y las 350 micras y aumenta de nuevo a longitudes de onda submilimétricas mayores. Nuestra hipótesis para explicar este espectro tan variable es que en el interior de la nube debe haber tres tipos de entornos caracterizados por diferencias en la temperatura y en la eficiencia de generación de polarización. Estamos llevando a cabo una serie de observaciones para comprobar esta hipótesis. Una explicación válida de este efecto revelará las condiciones necesarias para que se produzca el alineamiento de los granos y nos permitirá interpretar los mapas de polarización en términos de emisión procedente de tipos concretos de entornos.”



Mapa de polarización ("vectores B") de Orión a 350 micras realizado con el polarímetro de la Universidad de Chicago, Herz, en el telescopio submilimétrico Dowell 2001 de Caltech. Los contornos muestran densidades de flujo de 350 micras medidas con el polarímetro SHARC.

Dr. Christoph U. Keller

National Solar Observatory
ESTADOS UNIDOS

NUEVAS TECNOLOGÍAS



Christoph U. Keller

Los avances en Astrofísica dependen en gran medida de los instrumentos que se diseñan y construyen para observar el Universo. Hasta hace poco, la información que se obtenía de los objetos astronómicos procedía sobre todo del estudio de la intensidad luminosa en cada longitud de onda. Pero además de su intensidad y color, sabemos que la polarización de la luz resulta de gran interés astrofísico, pues permite realizar estudios sobre el magnetismo en Astrofísica. De ahí que ya empiece a haber telescopios e instrumentos diseñados para medir con alta precisión el estado de polarización de los fotones recibidos y se disponga de técnicas con las que corregir la llamada *polarización instrumental* inducida por las reflexiones en los espejos planos de los telescopios. El Dr. Christoph U. Keller, del *National Solar Observatory* (Estados Unidos), comenta en la siguiente entrevista los retos tecnológicos que se plantea el futuro de la Espectropolarimetría Observacional.

¿Cuáles son las principales similitudes y diferencias entre los espectropolarímetros para telescopios nocturnos y para telescopios solares?

“Las principales similitudes y diferencias vienen dadas por los distintos problemas científicos que se abordan con espectropolarímetros solares, por una parte, y nocturnos, por otra. Los espectropolarímetros solares observan normalmente todo el vector de Stokes en una pequeña parte del espectro (unas pocas líneas espectrales) con una alta sensibilidad (0,01%), mientras que los nocturnos observan normalmente un subconjunto del vector de Stokes sobre una amplia zona del espectro (muchas líneas espectrales) con una sensibilidad polarimétrica moderada (1%). Los espectropolarímetros solares suelen ser instrumentos especializados. En telescopios de uso nocturno, la posibilidad instrumental de hacer polarimetría es algo que suele añadirse a un espectrógrafo de tipo universal. Debido al elevado flujo de fotones procedente del Sol y al interés de estar solamente limitados por el ruido fotónico, los espectropolarímetros solares suelen construirse acoplados a detectores especiales de alta velocidad de lectura, mientras que los espectropolarímetros nocturnos utilizan normalmente detectores más convencionales.

Otra diferencia consiste en que los espectropolarímetros solares pueden llegar a alcanzar sensibilidades

polarimétricas de hasta varias veces 10^{-6} con una precisión de un 0,1%, aunque con frecuencia no aprovechan los fotones que les proporciona el telescopio; en cambio, los nocturnos tratan de aprovechar al máximo los fotones con el fin de alcanzar una sensibilidad máxima de 0,01% con una precisión de aproximadamente 0,1%.”

¿Cuáles son las principales limitaciones de los telescopios y espectropolarímetros solares actuales? ¿Qué tipo de desarrollos tecnológicos le pediría a la industria?

“Prácticamente todos los grandes telescopios solares tienen reflejos oblicuos antes del foco primario, lo que provoca una polarización instrumental importante que reduce la sensibilidad polarimétrica que pueden alcanzar. Los grandes telescopios solares del futuro deberían reducir al mínimo la polarización instrumental. Históricamente, los telescopios, los instrumentos y los detectores solares tienen un rendimiento muy bajo; a menudo sólo se detecta una pequeña fracción de un uno por ciento de entre todos los fotones que entran al telescopio. Sin embargo, el rendimiento de los telescopios y los instrumentos nocturnos modernos es mucho mayor. Dado que la mayoría de las observaciones polarimétricas solares están limitadas por el número de fotones, es crucial que los futuros telescopios y espectropolarímetros solares sean capaces de alcanzar una gran eficiencia, pues

ya se cuenta con la tecnología necesaria para ello.

Los espectropolarímetros solares tienen con frecuencia que hacer frente a un elevado flujo de fotones, lo que permite tiempos de exposición reducidos. Uniendo muchas exposiciones individuales pueden obtenerse medidas de relación señal-ruido muy altas. Sin embargo, las actuales cámaras CCD de gran formato sólo ofrecen modos de lectura muy lentos, de modo que la mayor parte del tiempo se dedica a la lectura de los CCD en lugar de a la acumulación de fotones. Las nuevas cámaras CCD de 1024x1024 podrían ofrecer nuevas posibilidades en la polarimetría solar. Actualmente estoy trabajando con la industria en el desarrollo de la tecnología necesaria."

¿Qué espera de los espectropolarímetros de nueva generación? ¿Es hoy en día tecnológicamente factible el desarrollo de un espectropolarímetro para un telescopio espacial, que esté diseñado para la detección de señales de polarización extremadamente débiles en líneas espectrales desde el UV al IR?

"La nueva generación de espectropolarímetros se basará en telescopios con una polarización instrumental mínima, telescopios y espectrógrafos de muy alto rendimiento y en cámaras CCD de gran velocidad de lectura (varios cientos de imágenes por segundo). En el *National Solar Observatory* estamos construyendo un espectropolarímetro de esas características, que verá la primera luz dentro de un año. En un futuro no muy lejano se eliminará la óptica de espectrógrafos y de polarización porque los propios detectores serán sensibles a la polarización y a la longitud de onda; y lo mismo ocurrirá con los espectropolarímetros nocturnos, exceptuando lo que he dicho antes sobre las cámaras CCD rápidas.

Actualmente se está construyendo un polarímetro para un telescopio solar espacial que irá con la misión japonesa Solar-B. La sensibilidad de ese instrumento está limitada por la velocidad de lectura de la cámara CCD y, por lo tanto, por la estadística de fotones. Es difícil lograr la cobertura completa de las longitudes de onda desde el ultravioleta hasta el infrarrojo, incluso en tierra, debido al limitado índice de transmisión de los materiales ópticos, al hecho de que la mayor parte de la óptica de polarización es muy sensible a la longitud de onda y al limitado rango de longitud de onda de cualquier tecnología de detectores."

En relación con el tema de esta Escuela de Invierno, ¿cuál es actualmente el problema más interesante de su investigación?

"Actualmente dedico la mayor parte de mi tiempo al diseño, construcción y operación de instrumentos y telescopios con un grupo de ingenieros y de científicos. El problema más interesante con el que me enfrento por el momento es lograr hacer polarimetría de precisión en el límite de difracción de futuros telescopios solares de gran tamaño. Los problemas son casi todos de índole técnica, pero a pesar de ello muy interesantes porque implican un amplio rango de tecnologías como la óptica adaptativa, técnicas de reconstrucción de imagen, filtros y detectores espectrales muy novedosos, óptica de polarización capaces de resistir altas densidades de energía, ...

Más relación con esta Escuela guarda la explicación del origen del segundo espectro solar, es decir, la polarización lineal debida a procesos de dispersión detectada cerca del limbo solar. Hay muchas características observacionales que no se pueden explicar, y yo estoy tratando de proporcionar más datos observacionales para poder progresar en este área."

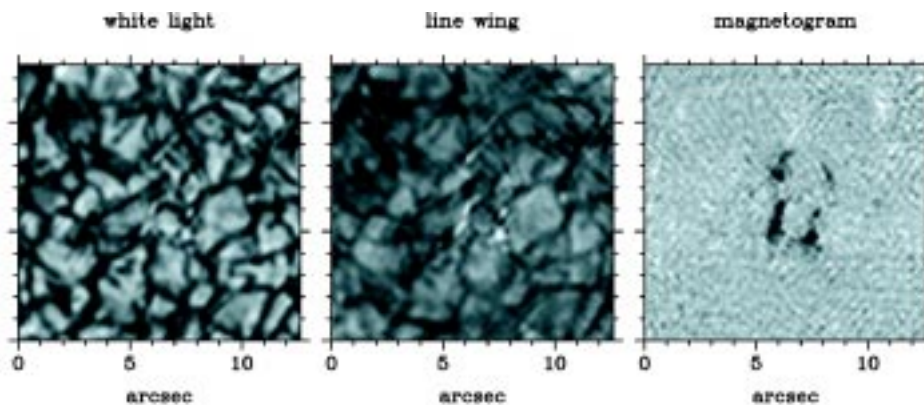


Imagen de alta resolución de tubos de flujo magnético individuales vistos en luz blanca y en el ala de una línea espectral sensible al efecto Zeeman. La alta resolución espacial se consiguió empleando la técnica de interferometría de speckle desarrollada expresamente para la polarimetría. Los datos fueron obtenidos con Zimpol I y el telescopio solar Dunn, de 76 cm.

PERFIL

CHRISTOPH ULRICH KELLER nació en Basilea (Suiza), el 16 de mayo de 1964. Doctorado en Física por el ETH de Zurich (Suiza), en 1992, desde 1994 trabaja para el NOAO (National Optical Astronomy Observatories) en Tucson, Arizona. Experto en el estudio de los campos magnéticos solares y su interpretación, a Keller se debe la obtención de las primeras imágenes directas de los llamados "tubos de flujo". Sus intereses en investigación se centran tanto en el aspecto científico (observación e interpretación de los campos magnéticos solares y astrosismología) como en el desarrollo de técnicas específicas asociadas, como polarimetría de alta precisión en el rango visible, técnicas de reconstrucción de imágenes, desarrollo de detectores o diseño de grandes telescopios. Es quizá el aspecto de investigación y desarrollo tecnológico al que dedica más esfuerzo, con una gran experiencia en la gestión de proyectos científicos: responsable científico y de instrumentación del telescopio McMath-Pierce (Kitt Peak), el mayor telescopio solar del mundo; presidente de la Comisión Asesora de Grandes Telescopios del NSO; gestor de proyectos de desarrollo de nuevos detectores CCD, cámaras CCD de alta velocidad y diversos proyectos de I+D... Es, además, revisor de propuestas para la NASA. El carácter interdisciplinar de su trabajo explica que Christoph Keller haya supervisado tesis doctorales y tesis sobre Astrofísica, Química e Informática, y que haya tomado parte en expediciones a la Antártida para el estudio de la actividad solar a través de proyectos como el Flare Genesis Experiment, cuyo objetivo es medir los campos magnéticos y la actividad en la superficie del Sol. Su participación en una de estas expediciones en 1995-96 le mereció la Antártica Service Medall de los EEUU.

POLARIZACIÓN EN ASTROFÍSICA



Egidio Landi Degl'Innocenti

La actividad que observamos en el Sol y en otras estrellas, así como en muchos otros sistemas astrofísicos, está gobernada en mayor o menor medida por los campos magnéticos. Para estudiarlos se realizan observaciones espectropolarimétricas que para su interpretación precisan del respaldo de una rigurosa teoría sobre la generación y transporte de la radiación polarizada. El Prof. Egidio Landi Degl'Innocenti, de la Universidad de Florencia (Italia), lleva muchos años trabajando en los fundamentos teóricos de la polarización y en su aplicación a distintos contextos dentro de la Astrofísica.

Usted ha dedicado buena parte de su carrera científica al desarrollo de una rigurosa teoría electrodinámica cuántica (QED) para la generación y transferencia de la radiación polarizada y está a punto de publicar un libro sobre el tema titulado "Polarización en Líneas Espectrales" ¿En qué estado se encuentra la teoría de transporte radiativo que describe en su libro? ¿Qué mecanismos de polarización considera y en qué contextos astrofísicos podría aplicarse esta teoría cuántica?

"La espectropolarimetría es un campo de investigación en plena expansión gracias a la construcción de polarímetros sofisticados de nueva tecnología y a que esta técnica, desarrollada sobre todo para observaciones del Sol, se está aplicando ahora para otros objetos astronómicos. Sin embargo, la espectropolarimetría es algo difícil porque, para muchas aplicaciones, es preciso que el científico que quiera adentrarse en ella posea una serie de conocimientos que van desde la física cuántica y el álgebra Racah hasta la sofisticada transferencia radiativa. Aún no contamos con una monografía adecuada sobre el tema; precisamente con el fin de llenar ese vacío me decidí hace algunos años, en colaboración con mi colega Marco Landolfi, a trabajar en el volumen que lleva por título "Polarización en Líneas Espectrales". A través de un enfoque unificador, el formalismo que introduce el libro es capaz de dar cuenta de una serie de fenómenos y efectos, como el efecto Zeeman, la polarización de resonancia, el efecto Hanle, la polarización de impacto, depolarización por colisiones, dicroísmo y efectos de dispersión anómalos, polarización por radiación estimulada, ... Aunque las principales

aplicaciones de este formalismo han de buscarse con toda seguridad también en la física solar, donde la geometría de los fenómenos está mejor definida por las observaciones, el libro es una referencia sólida para la aplicaciones en muchos otros contextos astrofísicos."

¿Podría explicar de forma simple en que consiste el efecto Hanle? ¿Podemos esperar conocer más acerca del magnetismo solar y estelar utilizando el efecto Hanle como herramienta de diagnóstico? ¿Hay otras ramas de la astrofísica en las que el efecto Hanle pudiera quizá ser importante?

"Lo importante que debemos tener en cuenta acerca del efecto Hanle es que consiste en una modificación de la polarización de resonancia (o impacto) que se produce cuando el sistema atómico (átomo o molécula) que dispersa la radiación está imbuido en un campo magnético. Para utilizar el efecto Hanle como herramienta de diagnóstico se necesita conocer cuál sería el grado y la dirección de la polarización lineal en ausencia del campo magnético. Con frecuencia no disponemos de tal información, con lo que la utilidad de las observaciones de polarización lineal es prácticamente nula. No obstante, se dan algunos casos, especialmente en física solar, en que sí se cuenta con esa información, bien sea mediante observaciones o bien a través de modelos (de prominencias, de la corona, ...); el efecto Hanle puede entonces convertirse en una importante herramienta de diagnóstico. Por el momento, este efecto ha aportado una valiosa información a la física de las prominencias solares y tenemos fundadas expectativas de que pueda aportar medidas fiables del campo magnético en la corona cuando se disponga de

polarímetros que operan en el ultravioleta (que funcionan en las líneas de la serie Lyman, especialmente en Lyman-alfa). El efecto Hanle podría entonces resultar especialmente importante para resolver uno de los enigmas más antiguos de la astrofísica: el misterio del calentamiento de la corona solar. Es difícil prever si podrá aplicarse con éxito a otras áreas de la astrofísica precisamente por los requisitos de que hablaba más arriba. Muchas veces las configuraciones geométricas de los objetos observados se conocen demasiado poco como para desarrollar modelos fiables de los procesos de dispersión.”

Se sabe que existen moléculas en casi todos los rincones del Universo, y el Sol y otras estrellas relativamente frías no son una excepción. ¿Cree usted que la observación e interpretación de señales de polarización en líneas moleculares podría conllevar nuevos avances en astrofísica? ¿En qué contextos astrofísicos?

“Las observaciones espectropolarimétricas de líneas moleculares pueden resultar especialmente importantes en varios contextos astrofísicos, desde la atmósfera solar hasta el medio interestelar, por diversos motivos. Primero, por su amplia presencia en muchos objetos astrofísicos. Segundo, porque en las transiciones moleculares el rango de valores del factor de Landé es muy amplio, lo que, en algunos casos, las hace sensibles —a través de los efectos Zeeman y Hanle— a campos magnéticos relativamente más débiles que aquéllos a los que son sensibles los átomos. Tercero, hay ciertos indicios de que las colisiones que depolarizan podrían ser, para las moléculas, sustancialmente menos eficientes que para los átomos, aumentando así la probabilidad de observar polarización de resonancia en líneas

moleculares. No obstante, hay que señalar que los fenómenos de polarización en moléculas se conocen bastante poco y que hay mucho trabajo por delante en este tema, especialmente desde el punto de vista teórico.”

En relación con el tema de esta Escuela de Invierno, ¿cuál es actualmente el problema más interesante de su investigación?

“La alta sensibilidad de los espectropolarímetros modernos, concebidos especialmente para las observaciones solares, está revelando una gran cantidad de fenómenos inesperados. Un ejemplo particularmente relevante es el llamado “segundo espectro solar”, es decir, el espectro del Sol observado en polarización lineal en el limbo extremo (a unos 5 segundos de arco o menos del borde visible del Sol, más concretamente). Este segundo espectro solar se ha observado, en varios intervalos de longitud de onda del espectro visible, especialmente a través de ZIMPOL (*Zurich Imaging POLarimeter*) desarrollado por el Prof. Jan Stenflo y sus colaboradores, y actualmente se está observando también con el telescopio franco-italiano THEMIS con un nivel de sensibilidad del orden de 10^{-4} o mejor. El segundo espectro solar es tremendamente enigmático, pues indica que muchas líneas que se creían no polarizadas presentan, por el contrario, signos considerables de polarización lineal y viceversa. Por poner una comparación, se puede decir que los físicos solares actuales se encuentran, por lo que respecta al segundo espectro solar, en la misma situación que estaban los físicos solares de hace un siglo con respecto al espectro solar normal. Creo que la interpretación del segundo espectro solar es, hoy en día, el tema más interesante y sugerente de mis investigaciones.”

LA
**ESPECTROPOLARIMETRÍA
 ES UN CAMPO DE
 INVESTIGACIÓN EN
 PLENA EXPANSIÓN
 GRACIAS A LA
 CONSTRUCCIÓN DE
 POLARÍMETROS
 SOFISTICADOS DE
 NUEVA TECNOLOGÍA Y
 A QUE ESTA TÉCNICA,
 DESARROLLADA
 SOBRE TODO PARA
 OBSERVACIONES DEL
 SOL, SE ESTÁ
 APLICANDO AHORA
 PARA OTROS OBJETOS
 ASTRONÓMICOS.**

PERFIL

EGIDIO LANDI DEGL'INNOCENTI nació en Florencia (Italia), en 1941.

Estudió Física en la Universidad de Florencia, donde se licenció “magna cum laude” en 1971. Tras pasar dos años en el Observatorio de Utrecht (Países Bajos), con una beca de la entonces ESRO (actual ESO), regresó a Florencia como astrónomo del Observatorio de Arcetri. En 1983 obtuvo la plaza de profesor asociado del Departamento de Astronomía de la Universidad de Florencia, donde actualmente ocupa la cátedra.

A lo largo de su carrera ha sido visitante durante largos períodos de tiempo en instituciones internacionales como el High Altitude Observatory, en Colorado (EEUU), el Observatorio de Meudon, París (Francia) y el Instituto de Astrofísica de Canarias.

El trabajo en espectroscopía aplicada a la astronomía, especialmente en espectropolarimetría, y el estudio de las atmósferas estelares han centrado las investigaciones de Landi, quien, con más de 100 artículos publicados en revistas especializadas, ha desempeñado un papel clave en este campo de la astrofísica.

Aprovechando un año sabático y con la colaboración del Dr. Marco Landolfi, ha escrito un libro sobre “Polarización en Líneas Espectrales”, dedicado expresamente a este tema.

Egidio Landi Degl'Innocenti es un experto en transferencia radiativa, en radiación polarizada, en física de dispersión y en el diagnóstico de campos magnéticos estelares mediante la interpretación de observaciones polarimétricas y ha sido una figura clave a la hora de promocionar el proyecto del telescopio solar THEMIS ante las instituciones italianas.

Actualmente es presidente del Consejo Científico de la Sociedad THEMIS y, desde 1993, es miembro de la Sección de Física Solar de la Sociedad Europea de Física.

ESTRELLAS MAGNÉTICAS



Gauthier Mathys

Durante muchos años, los físicos solares han estado investigando los campos magnéticos en el Sol. En sus estructuras fotosféricas y cromosféricas, el campo magnético se estudia midiendo la polarización que induce en las líneas espectrales. Ahora el estudio se ha extendido a todo tipo de estrellas, pues se sabe que los campos magnéticos desempeñan un papel fundamental en fenómenos transitorios asociados con la actividad estelar. En estrellas magnéticas trabaja el Prof. Gauthier Mathys, del Observatorio Europeo Austral (ESO, Chile).

¿Podría resumir brevemente el interés científico que tiene la investigación de los campos magnéticos estelares?

¿Cuál es el conocimiento actual a nivel observacional de los campos magnéticos a través del diagrama H-R? ¿Para qué tipo de estrellas se han detectado campos magnéticos sin lugar a dudas? ¿Cómo se realizan estas detecciones?

“En los últimos años se han encontrado evidencias muy claras de la actuación de mecanismos relacionados con los campos magnéticos para un abanico cada vez más amplio de entornos estelares, abarcando la mayor parte del espectro de masas estelares e incluyendo todas las fases evolutivas. El estudio de los campos magnéticos resulta, por tanto, fundamental para interpretar correctamente un gran número de propiedades observadas en todos los tipos de estrellas. Otros factores que explican el interés de los campos magnéticos son el deseo de conocer más detalladamente aspectos de la física estelar cuyas manifestaciones se observan mejor en estrellas con fuertes campos magnéticos (por ejemplo, hidrodinámica estelar) y el interés que tiene el realizar estudios de campos magnéticos en estrellas de diferentes tipos y edades para comprender mejor el campo magnético del Sol.

Durante más de treinta años las estrellas Ap y Bp han sido las únicas estrellas no-degeneradas, aparte del Sol, en las que se había demostrado, sin lugar a dudas, la presencia de campos magnéticos. A principios de los años 80 se conocieron las primeras detecciones convincentes en estrellas activas frías. En los últimos años se ha registrado una diversificación sin precedentes de las clases de estrellas para las que se ha conseguido detectar claramente campos magnéticos. El rango de las estrellas no-degeneradas en las que se han observado campos magnéticos con toda claridad va desde los objetos pre-secuencia principal (incluidas estrellas T Tauri de línea débil, estrellas FU Ori y estrellas Herbig Ae) hasta estrellas evolucionadas (como sistemas RS CVn y estrellas FK Com), in-

cluyendo también estrellas Be. Por otra parte, se han detectado campos magnéticos en unas 50 enanas blancas a lo largo de los últimos treinta años.

La mayor parte de las detecciones y mediciones de campos magnéticos estelares se basan en la observación de polarización circular en las líneas espectrales. Los campos magnéticos de las estrellas de tipo solar son una destacada excepción, en la que el diagnóstico principal es el ensanchamiento diferencial de los perfiles de intensidad de línea observados sin polarimetría. En subgrupos de estrellas Ap/Bp y en las enanas blancas se pueden resolver observacionalmente las componentes Zeeman de las líneas magnéticas individuales. Las observaciones de la polarización lineal en líneas espectrales están siendo cada vez más fiables. Estos datos junto con los de la luz natural y de la polarización circular son fundamentales para obtener una visión completa de los campos magnéticos.”

La espectropolarimetría es una técnica que puede beneficiarse especialmente de la nueva generación de grandes telescopios óptico-infrarrojos, como el VLT de la ESO o el Gran Telescopio Canarias español que se construye actualmente en el Observatorio del Roque de los Muchachos. ¿Podría esbozar las características más importantes que debería reunir un espectropolarímetro para un telescopio de la clase 10 metros para conseguir avanzar en la investigación de los campos magnéticos estelares?

“Contando con instrumentación avanzada, la precisión polarimétrica necesaria para la detección de campos magnéticos en los tipos de estrellas magnéticas recientemente descubiertos, al igual que el diagnóstico basado en la polarización lineal en la mayoría de las estrellas Ap/Bp, sólo puede conseguirse utilizando técnicas de correlación, que combinan la señal registrada en un gran número de líneas. Si bien este enfoque es importante para estudios de detección y de variabilidad en el tiempo, no se presta a una interpretación física detallada.

Para avanzar de cara al futuro es necesario que la señal polarimétrica pueda medirse en líneas individuales. Las amplitudes típicas de pico a pico de los perfiles de línea polarizados de interés son del orden del 0,05% de la intensidad del continuo, para un poder resolutorio del orden de 50.000. Si bien la utilización de telescopios de la clase 10 m contribuirá, gracias a su mayor capacidad colectora de fotones, a mejorar la precisión polarimétrica que se pueda alcanzar, los requisitos en este último aspecto pueden aliviarse en cierto modo empleando una mayor capacidad de resolución. De hecho, los perfiles de línea de interés presentan con frecuencia una estructura compleja de polarización (especialmente la lineal) que, si se observa a una resolución insuficiente, lleva a una cancelación aparente de la señal polarimétrica y a una reducción de su amplitud de pico.

En otras palabras, un espectropolarímetro para un telescopio de la clase 10 m debería ser capaz de medir espectros con niveles de ruido no superiores a 10^{-4} del continuo estelar, a una capacidad de resolución de 100.000 a 150.000. Para garantizar la eficacia y la precisión polarimétrica debería poderse detectar simultáneamente pares de espectros de polarizaciones mutuamente ortogonales, siendo aceptables observaciones secuenciales en diferentes parámetros de Stokes. Interesa mucho conseguir una cobertura de longitud de onda de, al menos, un par de miles de Ångströms que permita la realización de estudios multilínea para ampliar las posibilidades de diagnóstico. A pesar de la dependencia cuadrática de la longitud de onda del efecto Zeeman, el rango de longitudes de onda visible probablemente seguirá siendo, en los próximos años, la mejor opción para la mayoría de los estudios polarimétricos de los campos magnéticos estelares, gracias a la posibilidad de alcanzar una mayor sensibilidad con menos ruido."

¿Qué tipo de técnicas de diagnóstico cree usted que deberán desarrollarse para aprovechar al máximo esas futuras observaciones espectropolarimétricas?

"Actualmente, la mayor dificultad en el contexto estelar es solucionar el problema inverso para lograr la reconstrucción de un mapa del campo magnético de la superficie estelar, a partir de las observaciones del perfil de línea en los diferentes parámetros de Stokes. En comparación con el caso del Sol, la complejidad aumenta considerablemente por el hecho de que la línea espectral observada es una media sobre todo el disco estelar, lo que incluye contribuciones procedentes de regiones con diferentes orientaciones e intensidades de campo magnético. En principio, al menos hasta cierto punto, se pueden descifrar las aportaciones de varias partes de la superficie de la estrella aprovechando el efecto Doppler debido a la rotación estelar. Se han desarrollado técnicas numéricas y códigos informáticos que, de forma ideal y partiendo de perfiles de línea registrados en los 4 parámetros de Stokes en fases bien dis-

tribuidas a lo largo de un período de rotación estelar, pueden dar como resultado un mapa de la distribución del campo magnético en el que se originan. Tal mapa es único dentro de los límites permitidos por la llamada condición de regularización. Sin embargo, en la práctica, las inestabilidades relacionadas con la relación señal-ruido y la resolución espectral de las observaciones podrían limitar la aplicación de este enfoque. El procedimiento a seguir parece consistir en delimitar la región del espacio de parámetros libres donde el código puede buscar una solución basándose en las variaciones sobre un ciclo de rotación de la estrella de una serie de parámetros numéricos que caracterizan las propiedades fundamentales (baja frecuencia espectral) de los perfiles de línea observados. Desde hace varios años se está trabajando en esta dirección, pero aún no se ha logrado identificar definitivamente los parámetros que han de emplearse para determinar las ligaduras más importantes, ni definir una estrategia definitiva para lograr el mejor aprovechamiento posible de este enfoque."

En relación con el tema de esta Escuela de Invierno, ¿Cuál es actualmente el problema más interesante en su investigación?

"Mi principal área de interés es el estudio de los campos magnéticos de estrellas A y B químicamente peculiares (o de estrellas Ap y Bp). Son objetos que plantean diversos interrogantes. Uno que me resulta especialmente interesante es el siguiente: por qué las estrellas Ap y Bp, como grupo, rotan considerablemente más despacio que estrellas normales (no magnéticas) similares. Si bien las estrellas Ap/Bp rotan en promedio unas 5 veces más despacio que sus homólogas normales de tipos espectrales A y B, resulta aún más notorio el que sus momentos angulares abarquen más de cuatro órdenes de magnitud, de modo que la cola de su distribución alcanza hasta valores del orden de 10^5 los valores típicos de momento angular para las estrellas normales. ¿Cómo han conseguido estas estrellas librarse de tal cantidad de momento angular? Es una pregunta de difícil respuesta, sobre la que, en los últimos años, podrían haberse encontrado ya algunas pistas. Una de ellas es la evidencia de la falta de campos magnéticos muy fuertes en esos 'rotadores' tan lentos. Además, sus ejes magnético y de rotación parecen estar, de forma predominante, casi alineados. La relación física entre estos hechos observacionales recientemente determinados y la rotación lenta aún se nos escapa, y serán precisas más observaciones antes de que se comprenda del todo. Pero estos avances no hacen más que reavivar el interés en un rompecabezas que no sólo es interesante, sino también de gran importancia en un contexto mucho más amplio, a través de las nuevas perspectivas que podría abrir para el estudio de los mecanismos que intervienen en la formación y en la primera fase de la secuencia principal de la vida de las estrellas en general."

PERFIL

GAUTHIER MATHYS nació en Lieja (Bélgica), el 17 de septiembre de 1957.

En 1983 se doctoró en Astrofísica por la Universidad de Lieja.

Trabajó en varias instituciones europeas, como el Instituto Max Planck de Física y Astrofísica en Múnich (Alemania), el Instituto de Astronomía del Instituto de Tecnología de Zurich (Suiza) y el Observatorio de Ginebra (Suiza).

En 1991, se trasladó al Observatorio Europeo Austral (ESO), en Chile; actualmente es responsable científico del telescopio VLT, en el Observatorio de Cerro Paranal.

Su principal interés investigador se centra en el estudio de los campos magnéticos en estrellas Ap y ha realizado una gran cantidad de estudios polarimétricos de una buena muestra de este tipo de estrellas. A él se debe una novedosa técnica de diagnóstico de campos magnéticos estelares que permite diagnosticar la información contenida en los perfiles de las líneas espectrales observados en los diferentes parámetros de Stokes para elaborar modelos de la estructura del campo magnético.

Sus trabajos en este tipo de estrellas han demostrado la viabilidad de diagnosticar sus campos magnéticos de una forma simple y precisa. De las 44 estrellas de tipo Ap que se conocen, 32 han sido descubiertas por Mathys que, además, estudia otros aspectos de estas estrellas como, por ejemplo, su rotación, evolución, pulsación y las abundancias químicas de su superficie.

A pesar de su alto grado de especialización en Astrofísica, Mathys no ha descuidado su faceta didáctica: ha enseñado astrofísica en la Universidad de Lieja y en el Observatorio de Ginebra. Además, tiene experiencia en divulgación científica, pues colabora regularmente con la Sociedad de Astrónomos Aficionados de Lieja mediante conferencias y contribuciones a su boletín, "Le Ciel", así como con la revista 'Ciel et Terre', de la Sociedad Belga de Astrónomos Aficionados.

Prof. Jan Olof Stenflo

Instituto Helvético de Tecnología (ETH), Zurich
SUIZA

EL SEGUNDO ESPECTRO DEL SOL



Jan Olof Stenflo

En 1814, el físico alemán Josef von Fraunhofer descubrió que había líneas oscuras en el espectro de la luz del Sol (posteriormente advertidas también en la luz de otras estrellas). Estas líneas espectrales se deben a la absorción que producen los diferentes elementos químicos presentes en la atmósfera solar (o estelar). Fue el desarrollo de la Espectroscopía lo que permitió el estudio de la naturaleza de las estrellas y otros objetos celestes mediante el análisis de la radiación que producen. Esto dio lugar al nacimiento de la Astrofísica. Muy recientemente, en 1997, el Prof. Jan Olof Stenflo, del Instituto Helvético de Tecnología (ETH) de Zurich (Suiza), y sus colaboradores descubrieron que prácticamente la totalidad del espectro solar está linealmente polarizado cuando se observa el limbo del disco solar con la ayuda de espectropolarímetros de muy alta sensibilidad polarimétrica. Esto es lo que hoy se conoce por "Segundo Espectro Solar". Su observación sistemática en varias líneas espectrales simultáneamente y su interpretación teórica basada en la teoría cuántica del Prof. Landi Degl'Innocenti están actualmente permitiendo la investigación de campos magnéticos muy débiles en el plasma solar. Todo un reto para la Física Atómica y Molecular y para el Transporte Radiativo.

Los astrónomos nocturnos en general piensan que los físicos solares obtienen suficientes fotones del Sol y que, por lo tanto, no necesitan telescopios solares de gran diámetro. ¿Está usted de acuerdo con esto? ¿Cuál sería su propuesta para un telescopio solar de nueva generación y su instrumentación espectro-polarimétrica?

"El cielo resulta más brillante en dirección al Sol que en dirección a otras estrellas porque el tamaño angular del disco solar es mucho mayor que los tamaños angulares de los discos estelares. El brillo superficial de un disco estelar no depende, sin embargo, de la distancia a la estrella, sino exclusivamente de la temperatura superficial. Si queremos combinar alta resolución angular con alta resolución espectral y temporal, además de con una gran precisión fotométrica y polarimétrica, entonces los fotones que somos capaces de detectar se nos hacen pocos. Incluso con los telescopios solares más grandes que pueda haber en un futuro nos veremos obligados a importantes compromisos en el espacio cuatridimensional de parámetros (resolución espacial, espectral, temporal y precisión polarimétrica). Sin embargo, telescopios solares de gran diámetro nos permitirán adentrarnos en un territorio aún sin explorar en este espacio cuatridimensional. Un telescopio solar de nueva generación

necesita, por lo tanto, una gran apertura pero debe estar equipado con óptica adaptativa para conseguir una elevada resolución angular. Necesita también ser diseñado de forma tal que introduzca una polarización instrumental despreciable con vistas a permitir un diagnóstico preciso del vector campo magnético."

Leighton dijo hace muchos años: "Si el Sol no tuviese campos magnéticos sería entonces una estrella tan poco interesante como de hecho parece que les resulta a la mayoría de los astrónomos nocturnos." ¿Está usted de acuerdo con esta afirmación? ¿Existen todavía problemas claves en la investigación en física solar?

"Estoy de acuerdo con Leighton, puesto que aún hay un 'problema de imagen' en el sentido de que muchos astrónomos nocturnos desconocen lo fascinante que es el Sol como sistema astrofísico. El campo magnético es el gran responsable de la enormemente rica estructura del plasma, su variabilidad y actividad, y de todos los fenómenos termodinámicos asociados, no sólo en el Sol, sino en todo el Universo. El Sol es la única estrella en la que podemos resolver detalles en su superficie y explorar en profundidad los procesos físicos subyacentes y que son responsables de la dínamo, del calentamiento de la coro-

na, de la formación de las fulguraciones, etcétera. El Sol es como un gigantesco laboratorio astrofísico, pero la física que lo rige es compleja y aún muy lejos de ser conocida. Hay quienes hablan seriamente del 'fin de la física', pero el fin de la física solar aún no se divisa. Al contrario: el ritmo de los descubrimientos está acelerándose."

¿Por qué los físicos solares están tan interesados en conocer lo que pasa a las escalas espaciales más pequeñas? ¿Cuáles son los procesos físicos que establecen tales escalas? ¿Cree usted que esta 'microscopía solar' puede proporcionar información útil para otros científicos que trabajen en el campo de la física estelar o incluso en la física del plasma?

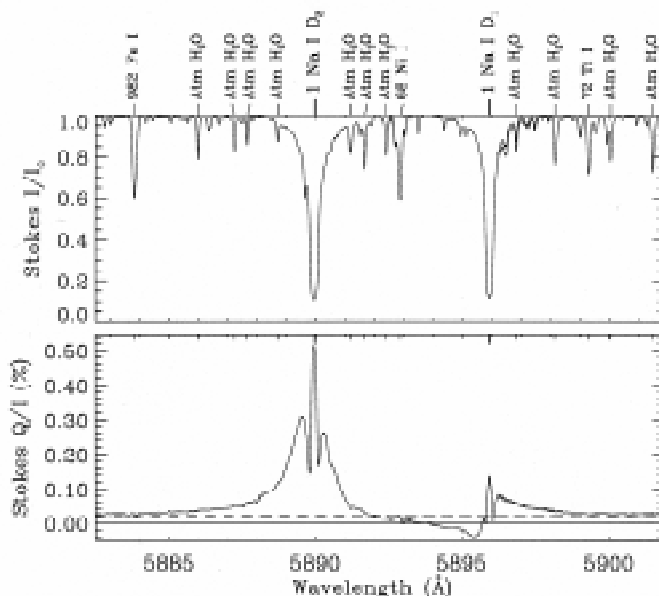
"La convección turbulenta, responsable de la dinámica solar y de la variabilidad estelar, funciona a escalas que se extienden a lo largo de unos diez órdenes de magnitud, desde las escalas globales de la estrella a las escalas de la disipación viscosa, mientras las simulaciones numéricas sólo abarcan escalas de unos tres órdenes de magnitud.

En el Sol trabajamos con física del plasma en un régimen de parámetros que es inaccesible mediante técnicas de simulación. Una de las escalas de longitud más importantes es en torno a los 100 km, el típico camino libre medio del fotón dentro de la región de transición entre el interior y el exterior del Sol, la fotosfera o 'superficie' solar. Mediante técnicas indirectas y con interferometría tipo 'speckle' estamos encontrando una estructura asombrosa y

complejísima a estas escalas, a las que sólo podrá accederse plenamente con la nueva generación de telescopios solares."

En relación con el tema de esta Escuela de Invierno, ¿cuál es actualmente el problema más interesante de su investigación?

"Hace algunos años, con un nuevo sistema polarimétrico, ZIMPOL (*Zurich Imaging Polarimeter*), descubrimos que el espectro del Sol en términos de polarización lineal tiene una estructura asombrosamente rica, tan rica como el espectro de intensidad ordinaria, pero con un aspecto muy distinto. Es como si el Sol se nos presentase con una cara 'espectral' nueva y tuviésemos que empezar de nuevo a identificar los rasgos espectrales que observamos. Este 'segundo espectro solar' es debido a procesos de dispersión coherente en los que intervienen fenómenos cuánticos complejos, como la transferencia de polarización atómica por bombeo óptico, estructura hiperfina, efectos de isótopos, etcétera. Además, estos procesos son modificados por los campos magnéticos, una modificación que denominamos efecto Hanle; y todo ello está estrechamente vinculado con la física de transferencia radiativa con redistribución parcial en frecuencias. Estos nuevos efectos podrían permitirnos diagnosticar aspectos del Sol y de su campo magnético que no pueden estudiarse por otros medios. Y a pesar de todo no estamos más que en los comienzos. Durante la escuela de Invierno trataremos de explicar en qué consisten realmente los diferentes procesos físicos y cómo pueden utilizarse."



Intensidad (gráfico superior) y grado de polarización lineal (gráfico inferior) de la región espectral en torno a las líneas Na I D₂, 5889.97 y D₁, 5895.94 Å, obtenidas cerca del limbo polar norte el 3 de abril de 1995. Los picos de polarización en los núcleos de las líneas, en particular en el de la línea D₁, son un enigma.

PERFIL

Nacido en Nykyrka (Suecia), el 10 de noviembre de 1942, JAN OLOF STENFLO se doctoró en Astronomía por la Universidad de Lund (Suecia) en 1968, con una tesis basada en observaciones del campo magnético del Sol que había hecho en la antigua Unión Soviética. Luego pasó varios años en Estados Unidos (Boulder, Pasadena) intercalados con períodos de investigación en Lund (Suecia) y su trabajo como Investigador Principal para un experimento solar en un satélite soviético. Fue profesor de Astronomía en la Universidad de Lund (1969-75). Entre 1975 y 1980 fue Senior Scientist del Consejo de Investigación de Ciencias Naturales de Suecia hasta que, en 1980, accedió a la cátedra de Astronomía del Instituto Suizo Federal de Tecnología (ETH) y de la Universidad de Zurich (doble cátedra) y desde entonces ha sido director del Instituto de Astronomía del ETH, que fue fundado precisamente coincidiendo con su nombramiento.

Su actividad investigadora se desarrolla fundamentalmente en el ámbito de la física solar. En el ETH de Zurich ha liderado el desarrollo de instrumentación avanzada para hacer polarimetría y para el estudio de los campos magnéticos solares; uno de los resultados de este trabajo ha sido el nuevo sistema de polarimetría ZIMPOL (*Zurich Imaging Polarimeter*), con el que se descubrió hace pocos años el llamado 'segundo espectro del Sol'.

En 1974 recibió de manos del rey de Suecia el Premio de la Real Academia Sueca de las Ciencias.

Entre 1983 y 1997, Stenflo fue Presidente de la Fundación LEST (*Large Earth-based Telescope*). Hoy es miembro de la Academia Sueca de las Ciencias y de la Academia Noruega de las Ciencias y las Letras, además de pertenecer a las más importantes sociedades físicas y astronómicas internacionales.

“La vida de un astrónomo está llena de sorpresas y la emoción y la excitación llegan con cada nuevo descubrimiento”, solía decir la astrónoma Paris Pismis, del Instituto de Astronomía de la UNAM (México), en las conferencias que dirigía a jóvenes astrónomos que iniciaban su carrera profesional. Pero insistía en que era preciso adoptar una visión global para entender el Cosmos, sobre todo porque tal actitud aseguraba al científico el inmenso placer de reconocer la relevancia de los nuevos avances dentro del conjunto de la Astronomía. Así sucedía en el pasado, cuando los astrónomos no tenían necesidad de publicar para subsistir. Ahora, en detrimento de una perspectiva global se ha impuesto, necesariamente, la hiperespecialización y, en algunos casos, el conocimiento parece someterse a los imperativos de la moda. ¿Qué descubrimiento o resultado científico ha tenido mayor impacto en su trayectoria profesional y qué problema clave en investigación propondría usted a un estudiante brillante para que hiciese su tesis doctoral?

UNA TESIS ESTUPENDA CONSISTIRÍA EN HACER UN CARTOGRAFIADO POLARIMÉTRICO DE FLUJOS FRÍOS CON FUENTES CENTRALES DE RADIO. LA EMISIÓN POR DISPERSIÓN DE THOMPSON NOS AYUDARÍA A CONOCER LA NATURALEZA DEL MEDIO INTRACÚMULO, A ENTENDER MEJOR LA COLIMACIÓN DEL HAZ OBSERVADO EN RADIOFRECUENCIAS Y LA HISTORIA DE LA FUENTE A LO LARGO DE LOS ÚLTIMOS 10⁶ AÑOS.

EN CUANTO AL PROBLEMA CLAVE QUE PROPONDRÍA A UN ESTUDIANTE: DETECTAR Y DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS DEL CAMPO MAGNÉTICO INTERGALÁCTICO.

UNA DIFÍCIL CUESTIÓN ASTRONÓMICA: ¿Qué interesa investigar?

R. ANTONUCCI:

“Hay muchos, incluyendo algunos famosos como el movimiento superluminal y otros relativamente esotéricos como el alineamiento de polarización óptica con la estructura de radio en los radiocuásares. También, claro está, la reciente evidencia de que, a menos que recurramos a una nueva física, los Núcleos Activos de Galaxias (AGN) son realmente agujeros negros supermasivos.

Una tesis estupenda consistiría en hacer un cartografiado polarimétrico de flujos fríos con fuentes centrales de radio. La emisión por dispersión de Thompson nos ayudaría a conocer la naturaleza del medio intracúmulo, a entender mejor la colimación del haz observado en radiofrecuencias y la historia de la fuente a lo largo de los últimos 10⁶ años.”

R. BLANDFORD:

“En mi caso creo que tendría que ser el anuncio del hallazgo de los púlsares y el posterior descubrimiento del púlsar binario. Se produjeron en el momento oportuno, resucitaron mi interés en el tema y pusieron de manifiesto (igual que los grandes descubrimientos en cosmología) que la Astronomía puede ser una ciencia altamente cuantitativa con fuertes vínculos con la Física Fundamental.”

En cuanto al problema clave que plantearía a un estudiante, en este momento yo trabajaría en nuevos enfoques observacionales para demostrar la relatividad general en el régimen de alta intensidad de campo en torno a los agujeros negros...”

M. ELITZUR:

“No se me ocurre un descubrimiento o resultado científico en particular que haya tenido en mí un impacto especial. Mi fascinación por la ciencia siempre ha sido por toda ella en

general. No obstante, recuerdo la impresión que me produjo cuando supe cómo una estrella ajusta su tamaño para alcanzar el equilibrio entre su propia gravedad, temperatura y luminosidad. Me sedujo la elegancia y sencillez de esta acción termostática.

De forma similar, tampoco daría un problema de investigación concreto a un estudiante de astrofísica. De entre las ciencias físicas, la astrofísica destaca por su amplitud y esa es quizás su característica más atractiva para cualquiera que se embarque en una carrera científica. En mi opinión, los problemas que plantean un mayor desafío en astronomía son la formación estelar y la formación de galaxias, incluidos los efectos que tienen entre sí, y la cosmología.”

R. HILDEBRAND:

“Abandoné la física de altas energías cuando ya no podía pensar en un experimento que pudiese realizarse sin un equipo enorme de trabajadores y un elevado presupuesto. Me dediqué a la Astrofísica cuando me di cuenta de que un profesor con unos cuantos estudiantes podía hacer un descubrimiento. Los púlsares, los cuásares, los campos magnéticos interestelares, el fondo cósmico de microondas y un montón de descubrimientos posteriores se debieron al trabajo de científicos individuales o de pequeños grupos, aunque a veces utilizando grandes instalaciones. En cuanto al problema clave que propondría a un estudiante: detectar y determinar las características del campo magnético intergaláctico.”

C. KELLER:

“Me resulta difícil identificar un solo descubrimiento o resultado científico que haya tenido un gran impacto en mi carrera. Si tuviese que

hacer una lista de mis propios resultados probablemente mencionaría las primeras imágenes directas de campos magnéticos solares concentrados, los llamados tubos de flujo. La existencia de estos campos muy concentrados se había predicho hacia unas dos décadas, pero nunca se habían observado debido a su pequeño tamaño. El descubrimiento probablemente facilitó poder conseguir becas y empleos.

En mi opinión, la diferencia entre un estudiante de postgrado brillante y un estudiante de postgrado bueno es que el último puede conseguir avances significativos en la resolución de un problema clave, mientras que el primero, además de eso, es capaz de formular él mismo el problema. La experiencia en un determinado campo a veces evita que nos adentremos por caminos nuevos o que formulemos un problema de una forma novedosa. Por esa razón los hitos más importantes de la ciencia se deben con frecuencia a los jóvenes con limitada experiencia en un determinado campo; además, el impacto científico de un descubrimiento es difícil de predecir, pues de lo contrario no sería un verdadero descubrimiento. Por último, si un estudiante se encuentra con varios problemas y trabajos y tiene que optar por abordar uno sólo, le sugeriría que se incline por el que le pueda resultar más divertido a la hora de abordar el trabajo."

E. LANDI:

"Mi carrera científica se ha visto fuertemente influenciada por una circunstancia bastante afortunada: el hecho de que desde el momento en que empecé a interesarme, desde el punto de vista teórico, en la espectropolarimetría se ha realizado un esfuerzo continuo a nivel experimental para construir espectropolarímetros cada vez más sofisticados. Por un lado, esto ha estimulado la aplicación directa de mis resultados teóricos a observaciones cada vez más sofisticadas y, por otro lado, las observaciones en sí han estimulado el continuo perfeccionamiento de mi marco teórico.

Hoy en día sugeriría a un estudiante de doctorado una tesis sobre la polarización de resonancia y el efecto Hanle en líneas moleculares. En mi opinión, es un tema muy interesante que, sin embargo, requiere que el estudiante tenga una excelente preparación en física atómica."

G. MATHYS:

"Es difícil identificar un solo descubrimiento o resultado científico aislado que haya tenido un impacto mayor que otros en mi carrera científica. Las elecciones que he hecho y los proyectos que he llevado a cabo forman parte de un proceso global que incluye contribuciones en muchas áreas de la física y la astrofísica. Sin embargo, si realmente he de señalar un único logro, la primera detección de campo magnético en una estrella distinta del Sol por H.W. Babcock, en 1946, es el resultado a partir del que se ha desarrollado mi principal área de investigación.

Mi criterio principal para elegir un tema para una tesis doctoral a un estudiante brillante es

que, de algún modo, esté relacionado con el uso de la nueva generación de telescopios de la clase de 10m y/o sus instalaciones interferométricas asociadas, sea o no a través de su uso directo para obtener observaciones o mediante trabajo teórico relacionado con las nuevas posibilidades observacionales que ofrecen. Por supuesto, hay una serie de temas de moda que cumplen estos requisitos, pero me inclinaría a opciones originales, a temas menos trabajados. Así, un tema que me resulta especialmente atractivo por el momento es la resolución de estructuras magnéticas en superficies estelares mediante el uso de interferometría espectropolarimétrica. Es algo que requiere el desarrollo y aplicación de nuevas técnicas, y daría resultados hasta ahora sin precedentes. El trabajo combina aspectos técnicos, observacionales y de desarrollo de modelos, de modo que el estudiante ha de aplicar varias habilidades a la vez. Lo veo como un tipo de proyecto en el que un estudiante brillante puede dejar su propia huella y establecerse como un experto a nivel mundial, abriendo así perspectivas muy interesantes para su futura carrera. Por último, ofrecer este tema para una tesis doctoral ayuda a fomentar el estudio de los campos magnéticos estelares, un aspecto de la física estelar que, en mi opinión, merece mucho más esfuerzo y atención del que ha recibido hasta ahora dado el papel fundamental que el campo magnético desempeña para muchas estrellas."

J.O. STENFLO:

"Mi carrera se ha guiado por la fascinación por hacer ciencia, no por ningún descubrimiento en particular. Ya cuando tenía 11 años empecé a leer libros sobre astronomía y desarrollé una especie de relación romántica con el cosmos cuando experimenté la belleza de un cielo estrellado. Por eso, ya desde muy pronto quise dedicarme a la astronomía, pero fue algo puramente casual el hecho de terminar trabajando en física solar y no, por ejemplo, en galaxias. Cada rama de la astronomía, y en todas las ciencias sucede igual, tiene su propio encanto y permite hacer investigación estimulante e innovadora. En la ciencia hay modas que vienen y se van, pero no necesariamente son las ramas que están de moda las más importantes.

Cuando los estudiantes vienen y me preguntan por un tema para la tesis doctoral la mayor parte de las veces están pensando en cosmología o en agujeros negros, pero yo no puedo ofrecerles más que temas de física solar, donde tenemos proyectos activos, en marcha, en los que pueden participar. Después de probar durante un corto periodo de tiempo, casi siempre encuentran el tema muy interesante y se olvidan de la cosmología y los agujeros negros. Lo más importante para un estudiante brillante no es la elección de un tema concreto sino un ambiente de investigación estimulante en el que tengan libertad académica a la vez que una buena orientación, con muchas oportunidades de interacción y de crear redes de trabajo."



EL ANUNCIO DEL HALLAZGO DE LOS PÚLSARES Y EL POSTERIOR DESCUBRIMIENTO DEL PÚLSAR BINARIO. SE PRODUJERON EN EL MOMENTO OPORTUNO, RESUCITARON MI INTERÉS EN EL TEMA Y PUSIERON DE MANIFIESTO (IGUAL QUE LOS GRANDES DESCUBRIMIENTOS EN COSMOLOGÍA) QUE LA ASTRONOMÍA PUEDE SER UNA CIENCIA ALTAMENTE CUANTITATIVA CON FUERTES VÍNCULOS CON LA FÍSICA FUNDAMENTAL.

La importancia de que los propios científicos participen en la divulgación de su trabajo comienza a ser reconocida oficialmente. Prueba de ello es una iniciativa del Instituto de Astrofísica de Canarias de que en el curriculum de los investigadores se puntúen los esfuerzos en este sentido. Por otra parte, una investigación realizada hace unos años en Estados Unidos por la Universidad de Vanderbilt dio como resultado un informe titulado "Mundos aparte: cómo la distancia entre ciencia y periodismo amenaza el futuro de América" (*). Una de las principales conclusiones de este estudio es que la frecuente incapacidad para establecer una comunicación de forma eficaz entre periodistas y científicos amenaza seriamente con socavar el grado de cultura científica del público norteamericano y reducir su nivel de información fundamentada para juzgar cuestiones clave relacionadas con el mundo de la ciencia, como el calentamiento global del planeta, la clonación humana o el gasto de importantes fondos gubernamentales. Según los autores de esta investigación, basada en entrevistas a 1.000 científicos y periodistas especializados de Estados Unidos, ambos colectivos tienen mucho más en común de lo que piensan, aunque sus criterios son diferentes y, a veces, opuestos. Una relación que los autores de esta investigación definen como "el encuentro entre la tortuga y la liebre". ¿Realmente cree que la divulgación científica merece la pena y qué piensa de la relación entre periodistas y científicos?



LA DIVULGACIÓN CIENTÍFICA: Un esfuerzo aún no reconocido

R. ANTONUCCI:

"Merece mucho la pena, tanto por lo divertido que resulta compartir el entusiasmo como porque el público está pagando miles de millones de dólares por nuestros magníficos instrumentos. Creo que es algo que de por sí resulta interesante para mucha gente y, a veces, comunica la naturaleza del pensamiento crítico, lo que podría servir de ayuda en otras decisiones.

Los periodistas científicos deben saber MUCHO de ciencia para que sus artículos tengan sentido. Si no es así, resulta difícil ayudarles. Pero si es así, deberíamos estar dispuestos a colaborar con ellos."

R. BLANDFORD:

"Creo que la divulgación científica es extraordinariamente importante y, si bien los astrónomos son mejores divulgadores que la mayoría del resto de los científicos, todavía se puede mejorar. Tenemos que tener en cuenta cuáles son las necesidades de los escolares y del público en general (cuyos impuestos sirven para costear algún que otro telescopio bastante caro). La mayor parte de los astrónomos se muestran impacientes por compartir los avances más recientes con personas no científicas, aunque no todos somos lo bastante buenos a la hora de hacerlo. Me preocupa que las universidades y las instituciones confundan publicidad con divulgación.

Creo que es muy importante que los periodistas estén en mejor situación de distin-

guir por sí mismos. Me alegro de que cada vez más científicos jóvenes con una buena formación se dediquen al periodismo científico."

M. ELITZUR:

"La divulgación de la ciencia es, en mi opinión, *extraordinariamente* importante. Desde sus comienzos, hace aproximadamente 100 años, la ciencia ha hecho enormes progresos a un ritmo cada vez más rápido; y sin embargo, los no científicos por lo general no saben en qué consisten la mayor parte de los grandes avances. El abismo, cada vez mayor, que separa a los científicos del público en general es preocupante. A largo plazo es malo para la ciencia y para la humanidad en general. Los científicos deberían ser capaces de comunicar la esencia de sus progresos a todo el que tenga curiosidad y deseo de conocimiento, incluso si esa persona no es un científico. Ha llegado la hora de pensar seriamente en mejores vías de comunicación para la divulgación de la ciencia."

R. HILDEBRAND:

"Pienso que es esencial realizar un esfuerzo para acercar al público a la verdadera ciencia. Estamos empleando dinero público y deberíamos darle al contribuyente una razón para seguir apoyándonos.

En cuanto a mi opinión sobre la relación entre científicos y periodistas, hay muchos periodistas buenos que cuentan al público

LOS CIENTÍFICOS DEBERÍAN SER CAPACES DE COMUNICAR LA ESENCIA DE SUS PROGRESOS A TODO EL QUE TENGA CURIOSIDAD Y DESEO DE CONOCIMIENTO, INCLUSO SI ESA PERSONA NO ES UN CIENTÍFICO. HA LLEGADO LA HORA DE PENSAR SERIAMENTE EN MEJORES VÍAS DE COMUNICACIÓN PARA LA DIVULGACIÓN DE LA CIENCIA.

(* Informe facilitado por el periodista científico Alberto Aguirre de Cárcer

mejor que nosotros lo que hacemos en nuestro trabajo. El problema se plantea cuando nos topamos con periodistas buenos a la hora de informar sobre política y no sobre ciencia y que no se dan cuenta de la diferencia.”

C. KELLER:

“Dado que buena parte del conocimiento científico se ha logrado gracias a los esfuerzos de los contribuyentes, es fundamental que quienes pagan sus impuestos y eligen a los políticos que deciden la asignación de los fondos públicos a las distintas instituciones científicas comprendan los beneficios del gasto público en investigación. Es más, la ciencia se ha convertido en algo tan especializado que los científicos de disciplinas distintas raramente son capaces de entender la literatura original. A mí personalmente se me han ocurrido ideas nuevas para mi investigación leyendo libros de divulgación o artículos de otras disciplinas científicas. Por último, uno de los beneficios de la ciencia, y en particular de la astronomía, es el conocimiento que proporcionan. Si éste queda circunscrito a una élite minoritaria no sirve de nada para la sociedad en su conjunto.

Por experiencia personal, pienso que parte de la tensión entre periodistas y científicos se debe a la dificultad de simplificar la descripción de los resultados científicos sin modificar las premisas científicamente correctas. A menudo es una tarea imposible y acaba sacrificándose el rigor científico de la descripción. Por eso a veces los científicos se muestran condescendientes con los esfuerzos de los periodistas para presentar al público los últimos descubrimientos científicos, lo cual es una labor muy importante. Por otro lado, los periodistas muchas veces rehusan a que los científicos revisen el rigor científico de sus artículos antes de enviarlos a la imprenta, lo que con frecuencia aseguraría el nivel de calidad sin detrimento de la inteligibilidad para el público en general.”

E. LANDI:

“La divulgación de la ciencia es extremadamente importante, especialmente desde el punto de vista social y en esta época en que vivimos donde las pseudociencias (astrología, numerología, ...) están teniendo tanto éxito. Divulgar la ciencia es, sin embargo, una tarea difícil y son pocas las personas capaces de hacerlo de la forma adecuada. Es más, aunque la mayoría de la gente tiene una idea más o menos ajustada de lo que es un médico, un ingeniero o un abogado, desgraciadamente no saben en qué consiste el trabajo de un científico. Con frecuencia se asocia al científico con la imagen de un ‘loco’ sentado en su laboratorio o en su observatorio esperando a que le asalte una idea brillante –procedente de quién sabe dónde– que le lleve a hacer un descubrimiento revolucionario que le merezca luego el Premio Nobel. Esto se debe sobre todo a los periodistas, que proyectan esa idea de forma más o menos consciente. Desgraciadamente, los perio-

distas rara vez se interesan de verdad por el trabajo de los científicos y, de ser así, es sólo cuando publican un artículo en alguna revista de impacto (*Nature, Science,...*). El lector tiene entonces la impresión de que la ciencia progresa a base de una sucesión de ‘flashes’ momentáneos, de saltos, lo cual es completamente falso.”

G. MATHYS:

“En el mundo actual las comunicaciones ocupan un espacio cada vez mayor. Las nuevas tecnologías avanzan con rapidez, lo que permite transmitir un volumen creciente de información en períodos de tiempo cada vez más cortos y con mayor fiabilidad. Cada vez más gente en rincones más remotos y de entornos económicos menos favorecidos puede acceder a estas nuevas tecnologías. En este contexto, cualquier empresa moderna necesita promocionarse para sobrevivir. La ciencia, a pesar de que no venda nada o de que no trate de conseguir beneficios, no puede sustraerse a esta tendencia. El hacer nuestras actividades bien visibles para el público en general es un factor importante en las decisiones políticas en cuanto a la asignación de fondos. La divulgación científica es también fundamental para atraer a los jóvenes hacia los estudios y las carreras de ciencias.

Ante este panorama, los científicos necesitan construir y mantener buenas relaciones con los periodistas. Tiende a haber un sesgo negativo hacia los periodistas en la comunidad científica, algo debido con frecuencia a malas experiencias con periodistas incompetentes o que se han sobrepasado en sus funciones. Pero esta actitud no debe generalizarse de forma abusiva. En el otro extremo se encuentran los científicos que se exceden anunciando sus descubrimientos. La difusión de descubrimientos sensacionalistas pero de veracidad poco contrastada que luego hay que desmentir no pasa inadvertida. Acaban poniendo en entredicho la ética y la integridad de los científicos; para mí es potencialmente una traba mucho más perjudicial que la distorsión de la información científica que puedan hacer los periodistas.”

J.O. STENFLO:

“Ciertamente es muy importante compartir el entusiasmo de la ciencia con el público, que nos mantiene con sus impuestos. Debería hacerse más, pero hay un problema por ambas partes: en general los científicos no dedicamos el tiempo suficiente a la divulgación, en buena parte porque estamos imbuidos en muchas otras tareas, como cuestiones administrativas, docencia universitaria, interminables reuniones y cosas así. Tenemos que hacer verdaderos esfuerzos para encontrar el tiempo necesario para hacer la investigación que queremos. Los periodistas, por otra parte, tienden a buscar noticias cortas y ‘sexys’, que pierden mucho sentido si no se conoce el contexto en el que se dan. La mayoría de nosotros necesita esforzarse un poco más para mejorar la comunicación de la ciencia.”

EL HACER NUESTRAS ACTIVIDADES BIEN VISIBLES PARA EL PÚBLICO EN GENERAL ES UN FACTOR IMPORTANTE EN LAS DECISIONES POLÍTICAS EN CUANTO A LA ASIGNACIÓN DE FONDOS. LA DIVULGACIÓN CIENTÍFICA ES TAMBIÉN FUNDAMENTAL PARA ATRAER A LOS JÓVENES HACIA LOS ESTUDIOS Y LAS CARRERAS DE CIENCIAS.

DESGRACIADAMENTE, LOS PERIODISTAS RARA VEZ SE INTERESAN DE VERDAD POR EL TRABAJO DE LOS CIENTÍFICOS Y, DE SER ASÍ, ES SÓLO CUANDO PUBLICAN UN ARTÍCULO EN ALGUNA REVISTA DE IMPACTO (NATURE, SCIENCE,...). EL LECTOR TIENE ENTONCES LA IMPRESIÓN DE QUE LA CIENCIA PROGRESA A BASE DE UNA SUCESIÓN DE ‘FLASHES’ MOMENTÁNEOS, DE SALTOS, LO CUAL ES COMPLETAMENTE FALSO.



**"NO ESPERO QUE
ENCUENTREN
INTELIGENCIA
EXTRATERRESTRE EN
LO QUE DURA MI VIDA,
PERO ES BUENO QUE
HAYA ALGUIEN
MIRANDO DE OTRA
FORMA AL UNIVERSO."**

**"LA FASCINACIÓN QUE
EL PROYECTO SETI
EJERCE EN EL
PÚBLICO AYUDA A
AUMENTAR LA
CONCIENCIA Y EL
INTERÉS POR LA
CIENCIA,
LO CUAL INFLUYE
INDIRECTAMENTE DE
FORMA FAVORABLE EN
LAS DECISIONES
SOBRE LA ASIGNACIÓN
DE FONDOS PARA LA
INVESTIGACIÓN."**

En mayo de 1999, el programa SETI (*Search for Extraterrestrial Intelligence*) pidió ayuda a todos los ciudadanos del mundo para el rastreo de señales del cielo desde el ordenador de su casa. Arrancaba así el proyecto *SETI@home*, un experimento científico que aprovecha el potencial de millones de ordenadores conectados a Internet para la búsqueda de inteligencia extraterrestre, ejecutando un programa que descarga y analiza datos de un radiotelescopio. Como advierten al posible colaborador los responsables de esta original iniciativa, "existe una pequeña pero fascinante posibilidad de que su ordenador detecte un tenue murmullo de una lejana civilización". Cuando los astrónomos Jocelyn Bell y Antony Hewish detectaron la primera señal procedente de un púlsar en 1967 también pensaron que podrían haber establecido contacto con una civilización extraterrestre. De hecho, cuando anunciaron su descubrimiento, denominaron a las primeras fuentes encontradas con las siglas *LGM*, de *Little Green Men* ("Hombrecillos verdes"). Dada la remota posibilidad de que la búsqueda de inteligencia extraterrestre tenga éxito a corto plazo, ¿cree que se justifican los fondos asignados y los recursos utilizados en esta búsqueda? y ¿en qué aspectos concretos cree que afectaría a la humanidad si llegara a establecerse un contacto?

MENSAJES EXTRATERRESTRES: ¿Una búsqueda con futuro?

R. ANTONUCCI:

"Modestamente, creo que sí. Personalmente pienso que la 'hipótesis del zoo' es la más plausible: que nosotros, y quizá otros con un nivel de desarrollo similar al nuestro, estamos siendo observados por seres que están mucho más avanzados. El efecto en la sociedad... a mí, personalmente, me impresionaría absolutamente y me cambiaría mucho. ¡Espero que la sociedad no reaccione tratando de matar a los alienígenas antes de comprobar si son amigables!"

R. BLANDFORD:

"Parece haber una gran demanda popular para la investigación en el proyecto SETI. De hecho, es tan fuerte que en los Estados Unidos la mayor parte de los fondos proceden actualmente del sector privado. Incluso si la búsqueda fuera infructuosa a lo largo de una vida, el desarrollo de las técnicas de búsqueda nos ayudará a conocer mucho más acerca de los moradores inanimados del Universo. Ha habido innumerables novelas y películas sobre las posibles consecuencias del éxito en esta empresa y resulta muy curioso, y quizá también algo alarmante, contemplar esos efectos. No obstante, si sucediera, pienso que tendría un fuerte impacto cultural y, posiblemente, también práctico. Los límites del mundo serán más pequeños, como sucedió tras los viajes de los siglos XV y XVI y la llegada del hombre a la Luna, y me gustaría pensar que contribuiría a mejorar globalmente la forma en que regimos los destinos de nuestro planeta."

M. ELITZUR:

"Esta sí que es difícil. Entrar en contacto con otra civilización es quizá el mayor reto que se

ha planteado la humanidad. He leído y pensado mucho sobre la probabilidad de que exista inteligencia extraterrestre en nuestra galaxia como para saber que esa probabilidad puede ser cualquiera y que la única forma de responder a la pregunta de si estamos solos es buscar esa inteligencia. Buscar en este caso quiere decir más bien 'escuchar' con radiotelescopios, la única forma de búsqueda que tiene sentido. ¿Encontraremos algo? Personalmente soy escéptico, pero creo que merece la pena intentarlo. El público americano parece que piensa lo mismo, puesto que el Instituto SETI se financia enteramente con fondos privados."

R. HILDEBRAND:

"Imagino mil mundos con vida inteligente y en cada uno de ellos a los científicos escuchando y escuchando pero sin hablar. Es porque se necesita demasiada paciencia para hablar cuando la respuesta, si la hay, no se puede esperar que llegue al menos antes de un par de décadas o, más probablemente, un par de siglos.

La financiación de SETI no es más que una pequeña parte del total en Astrofísica y mucha de ella procede de manos privadas. Hay muy buena gente trabajando en SETI y me alegro de que cuenten con apoyo. No espero que encuentren inteligencia extraterrestre en lo que dura mi vida, pero es bueno que haya alguien mirando de otra forma al Universo."

C. KELLER:

"La búsqueda de vida extraterrestre es, desde luego, científicamente válida y no se limita a SETI. Por ejemplo, el programa *Origin* de la NASA tiene como objetivo la búsqueda, entre otras cosas, de planetas de tipo terrestre en torno a otras estrellas. La misión clave se

llama *Terrestrial Planet Finder* (Buscador de Planetas Terrestres), de ahí que la NASA esté buscando planetas en torno a otras estrellas que pudiesen albergar las condiciones necesarias para el desarrollo de vida. Por otro lado, SETI se ha limitado normalmente a analizar la radiación electromagnética en busca de pistas procedentes de una posible inteligencia. Por supuesto, la contrapartida científica directa, la detección de inteligencia extraterrestre, no se ha logrado hasta la fecha, por lo que la compensación científica de SETI es insignificante por el momento. No obstante, cuando se critica el empleo de recursos en SETI debería tenerse en cuenta siempre que la humanidad está invirtiendo esfuerzos en empresas que son científicamente mucho más dudosas que SETI.

Un posible contacto con una inteligencia extraterrestre sería, con toda probabilidad, una conversación unidireccional, debido a las enormes distancias y los períodos de tiempo que se manejan. Para cuando recibamos el mensaje y enviemos una respuesta, es muy probable que el emisor ya no exista en una forma en que sea capaz de recibir la respuesta."

E. LANDI:

"No cabe duda de que un posible contacto con una inteligencia extraterrestre tendría un impacto sin precedentes en la humanidad, especialmente desde el punto de vista cultural (no estamos solos en el Universo). Desde el punto de vista práctico, la situación está mucho menos clara porque todo dependería de la disposición de esos extraterrestres para el intercambio de conocimientos con nosotros. Sin embargo, aún si hubiese un acuerdo más o menos común entre los científicos de que la probabilidad de que la vida haya evolucionado realmente en otro planeta sea alta, aún queda la duda de si una sociedad tecnológicamente avanzada puede sobrevivir un tiempo suficientemente largo. Si el tiempo de supervivencia es corto, es posible que seamos los únicos seres inteligentes del Universo y que no haya motivo para seguir buscando. Por el contrario, si ese tiempo es largo, cabría esperar que las otras sociedades estuvieran mucho más evolucionadas que la nuestra. En ese caso, tampoco habría razón para la búsqueda porque, si quisieran ser descubiertos, nos enviarían alguna señal que pudiésemos descifrar con nuestra capacidad tecnológica; en cambio, si no quisiesen ser detectados tampoco tiene sentido la búsqueda (son mucho más inteligentes que nosotros). Hay que decir también que una sociedad evolucionada se preocuparía mucho de los problemas ecológicos, con lo que evitarían dispersar 'señales de desecho' que pudiésemos recibir por casualidad. En conclusión, mi modesta opinión personal es que SETI, tal y como se plantea actualmente, no es más que una pérdida de dinero."

G. MATHYS:

"La asignación de fondos al proyecto SETI refleja la curiosidad generalizada en la especie humana sobre cuál es su lugar en el Universo. Es un argumento válido y contundente. Sin embargo, en este contexto el tema de fondo es valorar la posibilidad de dar una respuesta satisfactoria ante la inversión realizada. Mientras no se consiga detectar nada no existirá certidumbre alguna y las respuestas científicas no podrán formularse más que en términos probabilísticos. Por ejemplo, podría-

mos tratar de establecer, con un 99,9% de fiabilidad, que puede existir inteligencia extraterrestre como máximo en torno a 0,001% de las estrellas de nuestra galaxia. Estas cifras son completamente arbitrarias: la decisión debe basarse en la financiación de una combinación aceptable de estos umbrales y la cantidad de dinero y de esfuerzo que se invierta en la búsqueda. Tal valoración requiere algo más que una apreciación personal, que depende de la opinión de cada uno, además de un enfoque subjetivo del tema.

Supone, además, implicaciones más concretas que podrían desequilibrar la balanza. Es decir, SETI podría, en cierto modo, facilitar resultados colaterales muy valiosos y constituir un fuerte incentivo para la investigación (y la financiación) en otras ramas de la ciencia y, en particular, de la Astrofísica. Por poner un ejemplo, no cabe duda de que contribuye a fomentar y apoyar la búsqueda de planetas extrasolares. Por otro lado, la fascinación que el proyecto SETI ejerce en el público ayuda a aumentar la conciencia y el interés por la ciencia, lo cual influye indirectamente de forma favorable en las decisiones sobre la asignación de fondos para la investigación. Por último, SETI debería tener un impacto positivo a través del desarrollo de las nuevas tecnologías necesarias para construir nueva instrumentación que nos permita avanzar en el camino de la detección y de la mayor eficacia de la investigación. En resumen, hay un beneficio indirecto de SETI que podría contrarrestar el efecto de parte del presupuesto científico esté 'desviado' hacia este proyecto.

La detección de inteligencia extraterrestre cambiará, inevitablemente, nuestra percepción de nuestro lugar en el Universo, lo cual provocará sin duda debates religiosos y filosóficos muy interesantes. Pero, mientras las cosas no vayan más allá de la mera detección, es decir, mientras no se establezca una verdadera comunicación con esa inteligencia extraterrestre, no creo que tenga un impacto considerable en la vida cotidiana. La noticia generaría seguramente expectación por un tiempo y muchas reacciones de todo tipo. Pero la noticia dejaría de ser novedad en poco y, para la mayoría de la gente, la vida seguiría siendo igual que antes, indiferente a la existencia de seres extraterrestres inteligentes. Obviamente, la evolución sería muy distinta si consiguiésemos comunicar realmente con esa inteligencia extraterrestre. El abanico de posibilidades que esto abriría es tan inmenso que resulta vano tratar de imaginar cuáles podrían ser los resultados."

J.O. STENFLO:

"Las posibilidades de encontrar inteligencia extraterrestre son, con toda probabilidad, muy reducidas. Sin embargo, en el improbable caso de que se encontrase tal inteligencia sería uno de los hitos más importantes de la historia de la humanidad, aunque no podamos predecir realmente en qué modo nos afectaría. Por tanto, la modesta financiación que se proporciona actualmente a SETI está plenamente justificada y bien podría aumentarse, pues aún así seguirá siendo pequeña a escala relativa. SETI nos sirve también de inspiración para filosofar y reflexionar sobre el papel y el destino de nuestra civilización desde una perspectiva cósmica, lo cual es muy valioso. Además, el esfuerzo de SETI estimula la innovación tecnológica y sus resultados benefician en particular a la radioastronomía."

"MI MODESTA OPINIÓN PERSONAL ES QUE SETI, TAL Y COMO SE PLANTEA ACTUALMENTE, NO ES MÁS QUE UNA PÉRDIDA DE DINERO."

"SETI NOS SIRVE TAMBIÉN DE INSPIRACIÓN PARA FILOSOFAR Y REFLEXIONAR SOBRE EL PAPEL Y EL DESTINO DE NUESTRA CIVILIZACIÓN DESDE UNA PERSPECTIVA CÓSMICA, LO CUAL ES MUY VALIOSO. ADEMÁS, EL ESFUERZO DE SETI ESTIMULA LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA Y SUS RESULTADOS BENEFICIAN EN PARTICULAR A LA RADIOASTRONOMÍA."

"¡ESPERO QUE LA SOCIEDAD NO REACCIONE TRATANDO DE MATAR A LOS ALIENÍGENAS ANTES DE COMPROBAR SI SON AMIGABLES!"

I. Física Solar (1989)

- OSCAR VON DER LÜHE (Instituto de Astronomía, Zürich, Suiza)
- EGIDIO LANDI (Instituto de Astronomía, Florencia, Italia)
- DOUGLAS O. GOUGH (Instituto de Astronomía, Cambridge, Reino Unido)
- GÖRAM SCHARMER (Observatorio de Estocolmo, Suecia)
- HUBERTUS WÖHL (Instituto Kiepenheuer, Freiburg, Alemania)
- PIERRE MEIN (Observatorio de Meudon, Francia)

II. Coamología Física y Observacional (1990)

- VALODIO N. LUKASH (Instituto de Investigación espacial, Moscú, Rusia)
- HUBERT REEVES (CEN Saclay, Francia)
- BERNARD E. PAGEL (NORDITA, Copenague, Dinamarca)
- ANTHONY N. LASENBY (Laboratorio Cavendish, Cambridge, Reino Unido)
- JOSE LUIS SANZ (Universidad de Cantabria, España)
- BERNARD JONES (Universidad de Sussex, Reino Unido)
- JAAN EINASTO (Observatorio Astrofísico de Tartu, Estonia)
- ANDREAS G. TAMMANN (Universidad de Basilea, Suiza)

III. Formación de Estrellas en Sistemas estelares (1991)

- PETER BODENHEIMER (Observatorio de Lick, California, EEUU)
- RICHARD B. LARSON (Universidad de Yale, EEUU)
- I. FELIX MIRABEL (CEN Saclay, Francia)
- DEIDRE HUNTER (Observatorio Lowell, Arizona, EEUU)
- ROBERT KENNICUT (Observatorio Steward, Arizona, EEUU)
- JORGE MELNICK (ESO, Chile)
- BRUCE ELMEGREEN (IBM, EEUU)
- JOSE FRANCO (UNAM, México)

IV. Astronomía Infrarroja (1992)

- ROBERT D. JOSEPH (Universidad de Hawai, EEUU)
- CHARLES M. TELESCO (NASA-MSFC, Alabama, EEUU)
- ERIC E. BECKLIN (Universidad de California, Los Angeles, EEUU)
- GERARD F. GILMORE (Instituto de Astronomía, Cambridge, Reino Unido)
- FRANCESCO PALLA (Observatorio Astrofísico de Arcetri, Italia)
- STUART R. POTTASCH (Universidad de Groningen, Países Bajos)
- IAN S. McLEAN (Universidad de California, Los Angeles, EEUU)
- THIJS DE GRAAUW (Universidad de Groningen, Países Bajos)
- N. CHANDRA WICKRAMASINGHE (Universidad de Gales, Cardiff, Reino Unido)

V. Formación de Galaxias (1993)

- SIMON D. M. WHITE (Instituto de Astronomía, Cambridge, Reino Unido)
- DONALD LYNDEN-BELL (Instituto de Astronomía, Cambridge, Reino Unido)
- PAUL W. HODGE (Universidad de Washington, EEUU)
- BERNARD E. J. PAGEL (NORDITA, Copenague, Dinamarca)
- TIM DE ZEEUW (Universidad de Leiden, Países Bajos)
- FRANÇOISE COMBES (DEMIRM, Observatorio de Meudon, Francia)
- JOSHUA E. BARNES (Universidad de Hawai, EEUU)

- MARTIN J. REES (Instituto de Astronomía, Cambridge, Reino Unido)

VI. La estructura del Sol (1994)

- JOHN N. BAHCALL (Instituto de Estudios Avanzados, Princeton, Nueva Jersey, EEUU)
- TIMOTHY M. BROWN (High Altitude Observatory, NCAR, Boulder, Colorado, EEUU)
- JORGEN CHRISTENSEN-DALSGAARD (Instituto de Física y Astronomía, Universidad de Århus, Dinamarca)
- DOUGLAS O. GOUGH (Instituto de Astronomía, Cambridge, Reino Unido)
- JEFFREY R. KUHN (National Solar Observatory, Sacramento Peak, Nuevo México, EEUU)
- JOHN W. LEIBACHER (National Solar Observatory, Tucson, Arizona, EEUU)
- EUGENE N. PARKER (Instituto Enrico Fermi, Universidad de Chicago, Illinois, EEUU)
- YUTAKA UCHIDA (Universidad de Tokio, Japón)

VII. Instrumentación para grandes telescopios: un curso para astrónomos (1995)

- JACQUES M. BECKERS (National Solar Observatory, NOAO, EEUU)
- DAVID GRAY (Universidad de Ontario Occidental, Canadá)
- MICHAEL IRWIN (Royal Greenwich Observatory, Cambridge, Reino Unido)
- BARBARA JONES (Centro de Astrofísica y Ciencia Espacial, Universidad de California en San Diego, EEUU)
- IAN S. McLEAN (Universidad de California en Los Angeles, EEUU)
- RICHARD PUETTER (Centro de Astrofísica y Ciencia Espacial, Universidad de California en San Diego, EEUU)
- SPERELLO DI SEREGO ALIGHIERI (Observatorio Astrofísico de Arcetri, Florencia, Italia)
- KEITH TAYLOR (Observatorio Anglo-Australiano, Epping, Australia)

VIII. Astrofísica estelar para el Grupo Local: un primer paso hacia el Universo (1996)

- ROLF-PETER KUDRITZKI (Observatorio de la Universidad de Munich, Alemania)
- CLAUS LEITHERER (Instituto Científico del Telescopio Espacial, Baltimore, EEUU)
- PHILLIP MASSEY (Observatorio Nacional de Kitt Peak, NOAO, Tucson, EEUU)
- BARRY F. MADORE (Centro de Análisis y Procesamiento Infrarrojo, NASA/JPL y Caltech, Pasadena, EEUU)
- GARY S. DA COSTA (Universidad Nacional de Australia, Cambera, Australia)
- CESARE CHIOSI (Universidad de Padua, Italia)
- MARIO L. MATEO (Universidad de Michigan, EEUU)
- EVAN SKILLMAN (Universidad de Minnesota, EEUU)

IX. Astrofísica con grandes bases de datos en la era Internet (1997)

- GEORGE K. MILEY (Observatorio de Leiden, Países Bajos)
- HEINZ ANDERNACH (Universidad de Guanajuato, México)
- CHARLES TELESCO (Universidad de Florida, EEUU)
- DEBORAH LEVINE (ESA, Villafranca del Castillo, Madrid, España)

- PIERO BENVENUTI (ST-SCF, Munich, Alemania)
 - DANIEL GOLOMBEK (Instituto del Telescopio Espacial, Baltimore, EEUU)
 - ANDREW C. FABIAN (Instituto de Astronomía, Cambridge, Reino Unido)
 - HERMANN BRÜNNER (Instituto de Astrofísica de Postdam, Alemania)

X. Cúmulos globulares (1998)

- IVAN R. KING (Universidad de California, EEUU)
 - STEVEN R. MAJEWSKY (Universidad de Virginia, EEUU)
 - VITTORIO CASTELLANI (Observatorio Astronómico de Capodimonte, Italia)
 - RAFFAELE GRATTON (Observatorio Astronómico de Padua, Italia)
 - REBECCA A. W. ELSON (Instituto de Astronomía, Cambridge Reino Unido)
 - MICHAEL W. FEAST (Universidad de

Ciudad del Cabo, Sudáfrica)
 - RAMÓN CANAL (Universidad de Barcelona, España)
 - WILLIAM E. HARRIS (Universidad Macmaster, Canadá)

XI. Galaxias a alto corrimiento al rojo (1999)

- JILL BECHTOLD (Universidad de Arizona, EEUU)
 - GUSTAVO BRUZUAL (CIDA, Venezuela)
 - MARK E. DICKINSON (Instituto del Telescopio Espacial, Baltimore, EEUU)
 - RICHARD S. ELLIS (Instituto Tecnológico de California, EEUU)
 - ALBERTO FRANCESCHINI (Universidad de Padua, Italia)
 - KEN FREEMAN (Observatorio de Monte Stromlo, Australia)
 - STEVE G. RAWLINGS (Universidad de Oxford, Reino Unido)
 - SIMON WHITE (Instituto Max-Planck de Astrofísica, Alemania)

ACTOS PARALELOS

- Martes 14:** *Visita al Instituto de Astrofísica de Canarias, en La Laguna. Conferencia de divulgación a cargo del Prof. Roger Blandford sobre "Nuevos hallazgos en la astrofísica de los agujeros negros".
Cena de recepción en el Museo de la Ciencia y el Cosmos.*
- Viernes 17:** *Visita de trabajo al Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma).*
- Domingo 19:** *Visita de trabajo al Observatorio del Teide (Tenerife).*
- Martes 21:** *Visita a las bodegas Monje.*
- Jueves 23:** *Cena oficial de clausura.*

EDICIONES

VOLÚMENES PUBLICADOS

CANARY ISLANDS WINTER SCHOOLS OF ASTROPHYSICS

La editorial científica *Cambridge University Press* ha publicado los siguientes volúmenes sobre las Escuelas de Invierno que han precedido a la actual.

1. *Solar Observations: Techniques and interpretation.* F. SÁNCHEZ, M. COLLADOS y M. VÁZQUEZ.
2. *Observational and Physical Cosmology.* F. SÁNCHEZ, M. COLLADOS y R. REBOLO.
3. *Star Formation in Stellar Systems.* G. TENORIO-TAGLE, M. PRIETO y F. SÁNCHEZ.
4. *Infrared Astronomy.* A. MAMPASO, M. PRIETO y F. SÁNCHEZ.
5. *The Formation and Evolution of Galaxies.* C. MUÑOZ-TUÑÓN y F. SÁNCHEZ.
6. *The Structure of the Sun.* T. ROCA-CORTÉS y F. SÁNCHEZ.
7. *Instrumentation for Large Telescopes.* J.M. RODRÍGUEZ-ESPINOSA, A. HERRERO y F. SÁNCHEZ.
8. *Stellar Astrophysics for the Local Group.* A. APARICIO, A. HERRERO y F. SÁNCHEZ
9. *Astrophysics with Large Databases in the Internet Age.* M. KIDGER, I. PÉREZ-FOURNON, F. SÁNCHEZ
10. *Globular Clusters.* I. PEREZ-FOURNON, C. MARTÍNEZ ROGER, F. SÁNCHEZ
11. *Galaxies at High Redshift.* F. MORENO-INSERTIS, I. PEREZ-FOURNON, M. BALCELLS y F. SÁNCHEZ

XII CANARY ISLANDS WINTER SCHOOL OF ASTROPHYSICS

"ESPECTROPOLARIMETRÍA EN ASTROFÍSICA"

INSTANTÁNEAS





PARTICIPANTES EN LA XII CANARY ISLANDS WINTER SCHOOL OF ASTROPHYSICS



Asistentes a la XII Canary Islands Winter School of Astrophysics.



INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE CANARIAS (IAC)

INSTITUTO DE ASTROFÍSICA (La Laguna, TENERIFE)

C/ Vía Láctea, s/n
E38200 LA LAGUNA (TENERIFE). ESPAÑA
Teléfono: 34 - 922 605200
Fax: 34 - 922 605210
E-mail: cpv@iac.es
WWW Home Page: <http://www.iac.es/home.html>
Ftp: <ftp://ftp.ll.iac.es>

Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI)

Teléfono: 34 - 922 605219 y 34 - 922 605336
E-mail: otri@iac.es
WWW Home Page: <http://www.iac.es/otri/otri.htm>

Oficina Técnica para la Protección de la Calidad del Cielo (OTPC)

Teléfono: 34 - 922 605365
E-mail: fdc@iac.es
WWW Home Page: <http://www.iac.es/galeria/fpaz/otpc.htm>

OBSERVATORIO DEL TEIDE (TENERIFE)

Teléfono: 34 - 922 329100
Fax: 34 - 922 329117
E-mail: teide@ot.iac.es
WWW Home Page:
<http://www.iac.es/gabinete/oteide/ot.html>

OBSERVATORIO DEL ROQUE DE LOS MUCHACHOS (LA PALMA)

Apartado de Correos 303
E38700 SANTA CRUZ DE LA PALMA
Teléfono: 34 - 922 405500
Fax: 34 - 922 405501
WWW Home Page:
<http://www.iac.es/gabinete/orm/orm.html>

