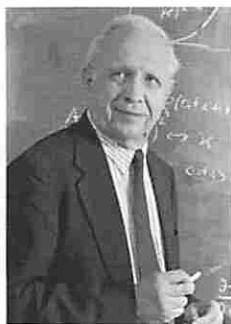


## Premio Nobel de Física 2005

El Premio Nobel de Física 2005 fue concedido a **Roy J. Glauber** “por su contribución a la teoría cuántica de la coherencia óptica”, y a **John L. Hall** y **Theodor W. Hänsch** “por sus contribuciones al desarrollo de la espectroscopía de precisión basada en láser, que incluye la técnica del peine de frecuencia óptica”.



Roy J. Glauber

Cien años antes, en 1905, Einstein había propuesto su “hipótesis heurística” según la cual la radiación electromagnética estaba compuesta de cuantos discretos. En el comienzo de su artículo Einstein afirmaba: “La teoría ondulatoria de la luz, que opera con funciones espaciales continuas, se ha mostrado soberbia para describir fenómenos puramente ópticos y probablemente nunca será reemplazada por otra teoría. Deberíamos tener en cuenta, sin embargo, que las observaciones ópticas se refieren a promedios temporales antes que a valores instantáneos; y es perfectamente concebible, pese a la completa confirmación experimental de la teoría de la difracción, reflexión, refracción, dispersión, etc., que la teoría de la luz,



John L. Hall

que opera con funciones espaciales continuas, lleve a contradicciones cuando se aplique a los fenómenos de emisión y transformación de la luz.” (Subrayado nuestro)

Ésta fue, de hecho, la opinión dominante durante los primeros años del desarrollo de la mecánica cuántica. La electrodinámica cuántica primitiva estudiaba la emisión y absorción de fotones por los átomos mediante un método perturbativo, a partir de los estados estacionarios de un campo electromagnético cuantificado en el que se añadían modos normales uno a uno. Por el contrario, los fenómenos ópticos se trataban clásicamente pues las fuentes utilizadas eran intensas y estaban fuertemente colimadas y filtradas para que fuera posible una descripción clásica con una amplitud, frecuencia y fase bien definidas.



W. Hänsch

En 1956, los radioastrónomos R. Hanbury-Brown y R. Q. Twiss propusieron un interferómetro de intensidad que aumentaba el poder de resolución de la interferometría ordinaria hasta el punto de poder determinar el tamaño de las estrellas. Esto fue considerado por algunos como una herejía. En la interferometría ordinaria un único detector registra las señales que llegan a un mismo punto procedentes de dos fuentes. Las amplitudes se suman y el cuadrado de esta suma da la intensidad medida: es al hacer el cuadrado de la suma donde se manifiestan las fases relativas de ambas señales. Sin embargo, en la equívocamente llamada interferometría de

intensidad se estudia la correlación entre las señales registradas por dos detectores distintos en dos puntos separados. Aparentemente la contribución de las fases habría desaparecido y no cabría esperar ninguna correlación, tanto más cuando las fuentes eran estrellas que emitían radiación de origen térmico con fases aleatorias. Sin embargo, un estudio más detallado mostraba que había una correlación con una contribución de cuarto orden en las amplitudes.

Paralelamente, el desarrollo de los máseres y láseres ofrecía nuevas fuentes ópticas con propiedades muy diferentes a las fuentes de origen térmico. Era necesaria una nueva teoría para describir los diferentes órdenes de coherencia, tanto espacial como temporal, de las fuentes ópticas. Esta teoría es la que desarrolló Roy Glauber. En lugar de desarrollar el campo como combinación de estados estacionarios ortogonales (básicamente ondas planas), Glauber utilizó un desarrollo en términos de estados coherentes (ya utilizados en la teoría del oscilador armónico), lo que permitía definir todo un conjunto de grados de coherencia. A partir de estos estados coherentes “clásicos” se podían construir estados “estrujados” (squeezed) no clásicos cuyas propiedades obedecían a estadísticas diferentes de las estadísticas poissonianas puramente aleatorias. De hecho, las correlaciones observadas en el interferómetro de intensidad estaban ligadas al carácter bosónico de los fotones, que hace que estos tiendan a emitirse en grupos (“bunching”). Pero, a la inversa, también podían construirse estados estrujados con propiedades de “antibunching”. Todo esto abrió nuevas posibilidades para el estudio de los fundamentos cuánticos, la transmisión cuántica de información o la mejora de las técnicas espectroscópicas.

En efecto, el desarrollo del máser y láser supuso una mejora espectacular en la medida de frecuencias, algo fundamental para el desarrollo de la física. El principal inconveniente para alcanzar una mayor precisión era precisamente la antigua

definición de segundo basada en el día solar medio. Por ello, en 1963 se redefinió el patrón de tiempo: ahora la referencia era un reloj atómico de cesio. Sin embargo, la frecuencia del Cs elegida como patrón era del orden de  $10^{10} \text{ s}^{-1}$  por lo que el patrón seguía siendo poco práctico cuando se trataba de medir en el rango de frecuencias ópticas que son  $10^5$  veces mayores. Para comparar frecuencias tan dispares era necesario empalmar ambos rangos de frecuencias a través de una cadena de láseres diferentes, utilizando mecanismos no lineales para generar frecuencias cada vez más altas a partir de la frecuencia patrón. Cada paso introducía nuevos errores.

Para evitar este complicado proceso, Hall y Hänsch desarrollaron el método de “peine de frecuencias”. Cuando en la cavidad resonante de un láser multimodo se ex-

citan dos modos de frecuencias muy próximas, el láser emite pulsos muy cortos de hasta  $10^{-15}$  segundos. (Esto hace posible la femtoquímica, por la que Ahmed Zewail obtuvo el Premio Nobel en 1999). Para ello, no obstante, ambos modos tienen que estar “anclados en fase” (locked mode); de lo contrario, la deriva en las fases difumina los pulsos. Un pulso de algunos femtosegundos tiene un anchura espectral de miles de nanómetros, que abarca todo el rango de frecuencias ópticas. De hecho, el análisis espectral de dichos pulsos muestra un espectro de frecuencias discretas e igualmente separadas (como las púas de un peine, de ahí el nombre del método). Así, cada frecuencia del espectro puede escribirse como  $\omega_n = n\Delta + \omega_0$ , siendo  $\Delta = 1/T$  y  $T$ , el espaciado entre pulsos. Si la cavidad resonante fuera perfecta y no hubiera ningún ruido,

el máximo de la envolvente del pulso estaría siempre en fase con la onda portadora y  $\omega_0 = 0$ . Sin embargo, el ruido induce una pequeña deriva del máximo de la envolvente del pulso y por ello aparece un término  $\omega_0$  con  $0 < \omega_0 < \Delta$ . Por lo tanto, para determinar el valor absoluto de una frecuencia hay que determinar  $\omega_0$ . Esto se consigue sometiendo los pulsos a un proceso no lineal que duplica las frecuencias que componen el pulso. Comparando el espectro original con el espectro ampliado se puede eliminar  $\omega_0$  y obtener así la frecuencia absoluta. El método se está extendiendo actualmente al rango ultravioleta, y se prevé que en pocos años puedan medirse frecuencias con una precisión de una parte en  $10^{18}$ .

J. Javier García Sanz

Dpto de Física Fundamental

## Premios entregados en el ICM2006

En la mañana del 22 de agosto, durante la Ceremonia de Apertura del Congreso Internacional de Matemáticos (ICM) celebrado en Madrid, se entregaron a sus ganadores las **Medallas Fields**, el **Premio Rolf Nevanlinna** y el **Premio Gauss**. Este último se concedía por vez primera.

### LAS MEDALLAS FIELDS

Las medallas Fields son el premio más importante en el ámbito de las matemáticas. La Unión Matemática Internacional (IMU) las otorga cada cuatro años en los ICM, y están sujetas a estrictas reglas. Por ejemplo, es esencial que la identidad de los ganadores se mantenga en secreto hasta el día mismo de la entrega.

Las medallas son adjudicadas por un comité cuyos miembros se desconocen (a excepción del presidente), y que deben esforzarse por preservar el secreto hasta el día señalado. Cada ganador sí sabe que lo es con varias semanas de antelación, pero no conoce a los demás.

Sólo pueden otorgarse como máximo cuatro medallas por ICM, y sólo a matemáticos que no hayan cumplido aún los 40 años (a 1 de enero del año de la celebración del congreso). La razón es que las medallas reconocen un trabajo ya realizado —de hecho una trayectoria investigadora, no un único logro—, pero también pretenden ser un estímulo para futuros desarrollos.

Las medallas, acuñadas en oro, llevan el nombre del matemático canadiense John Charles Fields (1863-1932), que fue Presidente del Comité Organizador del ICM de 1924, celebrado en Toronto, y se otorgan desde el congreso de Oslo en 1936. Son un premio tan valorado como cargado de simbolismo. El anverso de la medalla muestra el perfil de Arquímedes y el lema “*Transire Suum Pectus Mundoque Potiri*”: “Trascender el espíritu y domeñar el mundo”. En el reverso, también en latín —por la universalidad de esta lengua— la frase: “*Los matemáticos de todo el mundo, aquí congregados, entregan esta medalla por trabajos relevantes*”. En el canto, cada medalla lleva el nombre de su ganador.



Anverso y reverso de las Medallas Fields.

John Ball, Presidente de IMU, presentó a los ganadores de las Medallas Fields ICM2006:

**Andrei Okounkov:** “Por sus contribuciones en la interacción entre la teoría de probabilidades, teoría de la representación y la geometría algebraica”.