

- Usted es química.
- ... el resto del Universo también.
- La química inventa materiales nuevos "a la carta".
- En química no hay copias de moléculas, sólo originales idénticos.
- No hay sustancias tóxicas, únicamente dosis tóxicas.
- La química tiene soluciones a sus propios problemas.
- La química es tan importante para la sociedad como las artes.
- Ni siquiera los químicos son perfectos.

"Chemistry for Life" quiere convencer a los jóvenes europeos de que la química es la ciencia del próximo milenio.

Rosa M.^a Claramunt Vallespi
Depto. de Química Orgánica y Biología

Novedades científicas en Física

ASTROFÍSICA Y COSMOLOGÍA

En junio de 1997, la Agencia Europea del Espacio (ESA) publicó el catálogo estelar *Hipparcos*, fruto de 4 años de análisis de los datos obtenidos entre 1989 y 1993 por el satélite Hipparcos (acrónimo de High Precision Parallax Collecting Satellite, además de homenaje al astrónomo griego Hiparco). El catálogo contiene una lista de 118.000 estrellas cuyo paralaje se ha medido con un error menor de 1 milisegundo de arco y su brillo con una precisión fotométrica del 6%. Un segundo catálogo, *Tycho*, recoge 1.000.000 de estrellas con un error menor de 2,5 milisegundos para el paralaje y una precisión fotométrica del 6%. Estos datos ya han permitido una primera recalibración de la escala cosmológica de distancias y una nueva estimación de la constante de Hubble, que da para el Universo una edad de entre 10 y 13 mil millones de años.

Durante 1997 se han producido avances espectaculares en la com-

presión de los *bursters* de rayos gamma, uno de los más extraños fenómenos del Universo. Los *bursters* fueron detectados por primera vez en 1967 por un satélite espía diseñado para detectar pruebas nucleares clandestinas, y su existencia fue un secreto militar hasta 1973. Desde entonces se han detectado cada vez con mayor frecuencia hasta llegar a un ritmo de uno diario. Se trata de ráfagas intensas de rayos gamma con una duración aproximada de entre 1 y 100 segundos. El problema para su estudio reside en que la baja resolución angular de los detectores de rayos gamma no permite, en general, localizar su posición angular de forma precisa y con la rapidez suficiente para que puedan ser examinados por telescopios ópticos o radio-telescopios antes de que la radiación a estas frecuencias menores se haya desvanecido. Por ello, hasta ahora existía la duda de si estos sucesos estaban localizados en la Galaxia o eran de origen extragaláctico. Felizmente, en mayo de 1997 pudo identificarse con cierta fortuna una fuente óptica como secuela de un *burst* de rayos gamma. El espectro de dicha fuente manifestaba un gran desplazamiento hacia el rojo, indicando una distancia de algunos miles de años-luz. Para que una fuente tan lejana tenga una luminosidad tan grande debe tratarse de uno de los fenómenos más violentos del Universo. La explicación teórica es ahora una cuestión abierta.

FÍSICA DEL ESTADO SÓLIDO

Por primera vez se ha obtenido transparencia inducida electromagnéticamente en sólidos. Un sólido absorbe o dispersa luz visible si existen niveles energéticos E_1 y E_2 separados una distancia $E_2 - E_1 = h\nu$, siendo ν la frecuencia de la luz incidente. De lo contrario, el sólido no interacciona con la luz visible y es transparente. Para provocar transparencia inducida en un sólido que no sea transparente de forma natural hay que "neutralizar" los electrones

situados en un nivel E_1 que pudieran saltar a E_2 absorbiendo luz visible. Si muy cerca de E_1 hay otro nivel E_3 , puede crearse mediante irradiación con un láser de frecuencia $\nu_{laser} = (E_3 - E_1)/h$ (no visible) un estado electrónico coherente que hace que los electrones ya no puedan saltar a E_2 . Naturalmente, no es una transparencia total lo que se consigue (serían necesarios muchos láseres y muy intensos para neutralizar todos los electrones que pudieran estar involucrados en una transición visible) pero si se obtiene una reducción apreciable del índice de refracción del sólido.

Del mismo modo que una red cristalina impone ciertas restricciones a las energías de los electrones que se propagan por ella, dando lugar a una estructura de bandas, también pueden construirse estructuras periódicas, denominadas *cristales fotónicos*, que restringen el tipo de ondas electromagnéticas que puede propagarse en su interior; así se consiguen filtros de ondas electromagnéticas con longitudes de onda en el rango de las micras. Otra posible aplicación de estos cristales fotónicos se basa en el hecho de que la restricción de modos del campo electromagnético afecta a los ritmos de emisión espontánea de los átomos. Por lo tanto, si se construyen cristales fotónicos con diferentes periodicidades en cada dirección, se podría aumentar la emisión espontánea en una dirección e inhibirla en otras, lo que permitiría, por ejemplo, alcanzar una mayor direccionalidad en algunos láseres de estado sólido.

El magnetismo ha parecido siempre un fenómeno difícilmente conciliable con la superconductividad. La superconductividad se debe a la formación de pares de Cooper que son pares de electrones con distinto espín. Cuando se introduce el superconductor en un campo magnético intenso, éste rompe los pares y el estado superconductor desaparece. Una pregunta interesante, entonces, es si puede darse superconductividad en un material ferromagnético que tiene un campo magnético pro-

pio. Esto parece prohibido cuando la temperatura de la transición ferromagnética es mayor que la de la transición superconductor, pero cabía la posibilidad de que se diese en el caso contrario. Esta posibilidad se ha visto ahora confirmada en una aleación de oro e indio a temperaturas muy bajas, del orden de los μK .

FÍSICA DE MATERIALES

En 1996 se demostró que el hidrógeno podía comportarse como un metal en ciertas circunstancias. Nuevos cálculos realizados en 1997 sugieren que el hidrógeno podría tener una fase superconductor a temperatura ambiente aunque a presiones de megabares.

En muchos dispositivos actuales, tales como los láseres de semiconductor, es necesario crecer una fina lámina cristalina adsorbida en un sustrato semiconductor. El problema hasta ahora era que cada tipo de adsorbato requería un sustrato diferente, pues si las redes cristalinas del sustrato y el adsorbato son inconmensurables se acumula una gran tensión elástica que genera un gran número de defectos en la estructura cristalina. Ahora se ha encontrado un sustrato sobre el que se podrían crecer estructuras con parámetros de red diferentes sin que aparezcan muchos defectos. Gracias a ello podrían construirse, por ejemplo, láseres de semiconductor sintonizables que pueden emitir a varias frecuencias, algo que era imposible hasta ahora.

Se ha observado experimentalmente un estado de superlubricidad, es decir, de fricción casi nula entre dos superficies sólidas que deslizan una sobre otra. Esto confirma algunas teorías que predecían tal estado cuando los parámetros de las redes cristalinas de ambos sólidos son inconmensurables (es decir, su razón es irracional) en la dirección de deslizamiento.

Los materiales granulares siguen aportando sorpresas. Cuando se introduce una mezcla de materiales

granulares con granos de diferente radio y densidad en un cilindro rotante (a modo de hormigonera) se observa que, al menos en la superficie, aparece una estratificación en bandas a lo largo del eje, estando cada banda constituida por granos iguales. Esto era un fenómeno conocido hace años. No obstante, ahora una nueva técnica para observar también el interior del material ha permitido establecer que la estratificación axial va también acompañada de una estratificación radial.

Otro fenómeno bien conocido es que cuando se vierte lentamente un material granular en un recipiente, el material se acumula en un montón en forma de cono con un ángulo dado que se mantiene constante mediante avalanchas que tienen lugar continuamente y a todas las escalas a medida que se vierte más material. Este fenómeno ha recibido el nombre de criticalidad autoorganizada. Un ejemplo típico es el de la arena que cae muy lentamente en el recipiente inferior de un reloj de arena. No obstante, si el material vertido es nuevamente una mezcla uniforme de granos distintos, las avalanchas siguen tal pauta que se produce nuevamente una estratificación del material en capas paralelas a la superficie inclinada.

Hasta hace pocos años, el estudio de los niveles energéticos discretos en un pozo de potencial cuadrado era el típico problema puramente académico para estudiantes en cursos introductorios de mecánica cuántica. Hoy día, la tecnología de los "puntos cuánticos" (*quantum dots*) permite una realización práctica aproximada de tales potenciales. Así se han observado los niveles energéticos discretos y se ha medido también la fase de las funciones de onda electrónicas en estos quantum dots. Esto ofrece también innumerables aplicaciones prácticas. Introduciendo quantum dots de plata en un monocapa de moléculas orgánicas se puede hacer que la distancia entre estos puntos varíe según la presión externa aplicada. Cuando la distancia entre los puntos es suficientemente grande el material es aislante;

pero cuando la distancia entre puntos se reduce, las funciones de onda electrónicas de los diferentes puntos pueden llegar a solaparse y el material se hace conductor. Esta transición aislante-semiconductor es completamente reversible.

NANOTECNOLOGÍA

Se ha obtenido un nuevo tipo de lubricantes a base de nanopartículas de disulfuro de wolframio. Estas nanopartículas son bolas huecas de 100 nm de diámetro que pueden rodar como minúsculas bolas de cojinete. La reducción de la fricción es así mucho mayor que la de los lubricantes disponibles hasta ahora.

Se han construido interruptores de corriente constituidos por una sola nanopartícula. La partícula puede ser atrapada en un gap entre dos electrodos de platino y llena el hueco de modo que pueda circular la corriente eléctrica.

Tras la microscopía de fuerzas atómicas (AFM), un nuevo paso adelante se ha dado con la microscopía de fuerzas de resonancia magnética (MRFM). Esta consiste en utilizar una punta magnética en un microscopio de fuerzas atómicas que crea un campo magnético en la muestra explorada. Este campo produce una precesión en los espines atómicos. Se puede entonces ajustar una microbobina para que un campo magnético oscilante resuene con la precesión de los espines y medir la fuerza que esto induce en la punta. Hay esperanzas de poder llegar a detectar de este modo los espines nucleares individuales en un sólido.

Un cristal de silicio puede mantenerse vibrando en alguna de sus frecuencias propias durante varias horas sin que haya disipación de su energía vibracional, mientras que en un sólido amorfo las vibraciones se amortiguan rápidamente. El hecho sorprendente e inexplicable descubierto en 1997 es que si en el silicio amorfo se introduce cierta cantidad de hidrógeno, las vibraciones también se mantienen durante un tiempo del mismo orden que en el cristal.

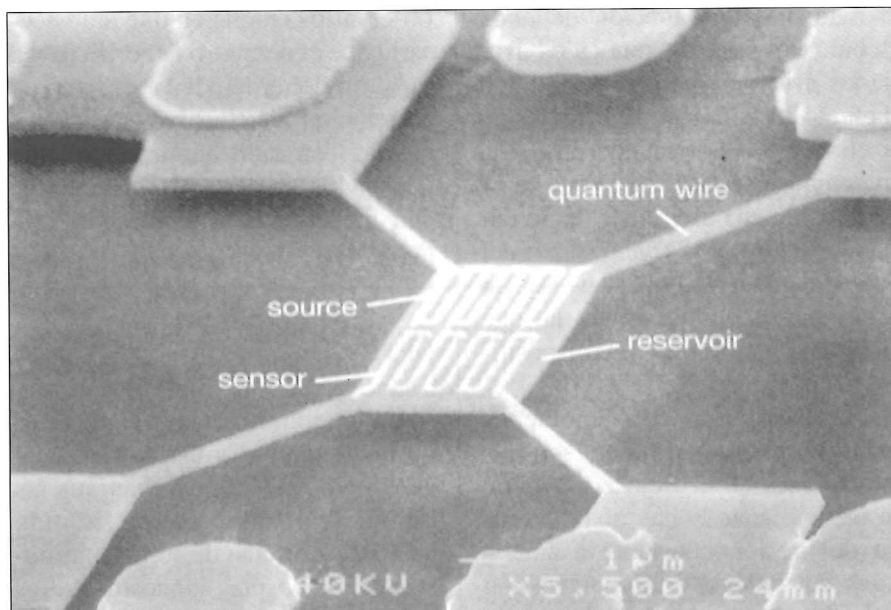
Se han fabricado minúsculos puentes de silicio monocristalino de $0,2 \mu\text{m}$ de espesor. Una placa cuadrada de arseniuro de galio de $3 \mu\text{m}^2$ sujeta por un par de puentes podría actuar como un nanoaltavoz sensible a frecuencias en el intervalo 10^5 a 10^8 hercios. Si se consiguiera aumentar esta sensibilidad en algunos órdenes de magnitud (compatibles con el límite cuántico) podría llegarse a "oir" directamente el ruido térmico debido a los fonones o modos elementales de vibración de los cristales.

FÍSICA ATÓMICA Y MOLECULAR

La desexcitación de sistemas inestables sigue, en general, una ley exponencial. Esto equivale a decir que el número de elementos que se desexcitan por unidad de tiempo es proporcional al número de elementos excitados presentes en cada instante. Ahora se ha observado por primera vez una ley de desexcitación no exponencial en un sistema constituido por átomos de sodio atrapados en una trampa de la que escapan por efecto tunel. Para este sistema hay un periodo transitorio de unos $15 \mu\text{s}$ antes de que se alcance el ritmo exponencial.

En un ión de iterbio se ha observado un estado atómico con una vida media de aproximadamente 10 años, es decir, del orden de 10^{20} veces mayor que las vidas medias de los estados atómicos típicos. Esto podría servir para construir relojes atómicos con una precisión mucho mayor que los actuales. Una vez obtenido este estado, los experimentadores no esperaron durante 10 años a que se desexcitase sino que indujeron la desexcitación provocando una transición eléctrica octupolar a un estado más alto, siendo también la primera vez que se ha observado una transición de este tipo.

Las técnicas de enfriamiento de átomos han permitido la obtención de haces atómicos monoenergéticos y coherentes que pueden utilizarse



Esquema de un altavoz cuántico.

en un interferómetro de átomos. Puesto que la longitud de onda de de Broglie de los átomos es mucho más pequeña que la de los neutrones, la precisión que se puede alcanzar de esta forma es mucho mayor que con un interferómetro de neutrones. Por ejemplo, una aplicación práctica de la interferometría es la medida de la rotación de la Tierra basada en el *efecto Sagnac*, que es la aparición de un desfase entre los dos haces en un interferómetro en rotación. De este modo, se ha medido ahora la velocidad angular de la Tierra con una precisión de $2 \times 10^{-8} \text{ rad s}^{-1} \text{ Hz}^{-1}$.

Durante mucho tiempo se pensó que los elementos de número atómico muy elevado podrían presentar propiedades químicas extrañas debido a efectos relativistas. Sin embargo, estudios de cromatografía en átomos del elemento artificial 106 (seaborgium) han demostrado que sus propiedades químicas son similares a las del wolframio y el molibdeno en cuyo grupo se encuadra en la tabla periódica.

FÍSICA CUÁNTICA

En 1948, Hendrik Casimir predijo que la existencia de fluctuaciones cuánticas del campo electromagnético del vacío debía producir una

fuerza atractiva entre dos placas metálicas muy próximas. El efecto fue comprobado experimentalmente en 1958 por Sparnay, aunque la precisión no era muy grande. Ahora se ha medido la fuerza entre una placa y una esfera a distancias comprendidas entre 0,6 y 10 micras, y los resultados coinciden con la teoría con un error menor del 5%.

Si en 1994 el algoritmo de Shor supuso un paso decisivo en la teoría de la computación cuántica, un paso no menos importante se ha dado en 1997 con el algoritmo de Grover. Supongamos que se quiere buscar un elemento dado de entre un conjunto de N elementos (por ejemplo, buscar una carta dada en una baraja). Si se van tomando elementos de uno en uno, serán necesarios $N/2$ intentos en promedio para encontrar el elemento deseado. El algoritmo cuántico de Grover reduce el número de intentos a \sqrt{N} , el límite mínimo teórico. Esto quiere decir que si $N=10^{12}$ se habría reducido el número de intentos de 500.000 millones a solamente 1 millón, lo que convierte un problema descomunal en algo perfectamente tratable.

Los fenómenos de superconductividad y superfluidez presentan bastantes similitudes. En ambos casos se trata de formación de pares de Cooper que actúan como bosones y pueden describirse en conjun-

to mediante una función de onda global. Dos efectos conocidos asociados a la superconductividad son el efecto Josephson (oscilaciones en la corriente eléctrica que atraviesa una unión Josephson en la que se ha establecido una diferencia de potencial constante) y la cuantización del flujo magnético que atraviesa un anillo superconductor, en la que están basados los SQUID (dispositivos superconductores de interferencia cuántica). Los fenómenos análogos en superfluidez son las oscilaciones en el flujo a través de un orificio cuando hay una diferencia de presión constante a ambos lados del mismo y la cuantización de la circulación del flujo del superfluido. El primer efecto ya había sido observado hace años aunque de forma confusa. La dificultad de

observarlos residía en que era necesario que el diámetro del orificio sea menor o del orden de la longitud de correlación de los pares. Ambos efectos han sido ahora claramente detectados gracias a la disponibilidad de nuevas membranas con poros muy finos.

ÓPTICA

La sonoluminiscencia sigue siendo un fenómeno misterioso, en el que onda sonora provocan que las burbujas de aire en un líquido colapsen y emitan destellos luminosos. Se daba por supuesto que el colapso se producía a velocidad mayor que la del sonido y, por lo tanto, producía una onda de choque. Ahora se ha medido experi-

mentalmente que la velocidad a la que colapsa una burbuja es de unos 1.500 m/s, y el destello se produce menos de 300 ps después de que la burbuja alcance su radio mínimo que es inferior a 1 μm . Otros investigadores han sugerido que el calor producido en el colapso podría romper las moléculas de oxígeno y nitrógeno del aire de la burbuja y hacer que reaccionen con los radicales del vapor de agua, dando lugar a compuestos que son solubles en el líquido; finalmente, en la burbuja sólo quedan los gases inertes del aire (principalmente argón), lo que explicaría las peculiares características espectrales de la luz emitida.

J. Javier García Sanz
Depto. de Física Fundamental

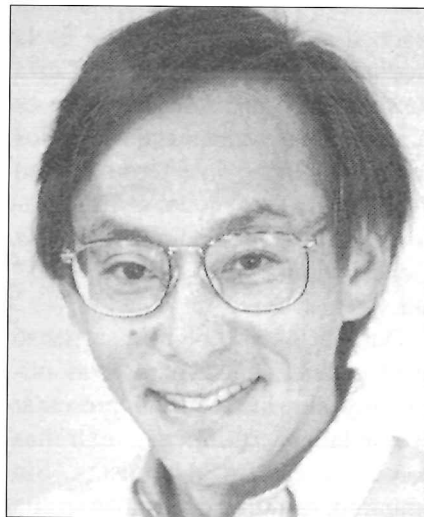
SEMBLANZA DE LOS PREMIOS NOBEL DE 1997

Premio Nobel de Física

TRAMPAS LÁSER PARA CAZAR ÁTOMOS

La Real Academia Sueca de Ciencias ha concedido el Premio Nobel de Física de 1997 conjuntamente a los Profesores **Steven Chu**, de la Universidad de Stanford (California, USA), y **Claude Cohen-Tannouji**, del *Collège de France* y de *l'École Normale Supérieure* (París, Francia), y al Doctor **Williams D. Phillips**, del *National Institute of Standards and Technology* (Gaithersburg, USA), por el desarrollo de métodos para el frenado y captura de átomos mediante luz láser.

El Prof. **Chu** nació en 1948 en San Luis (Missouri, USA), se doctoró en Física por la Universidad de Berkeley en 1976, y ocupa, desde 1990, la cátedra Theodore and Frances Gaballe de Ciencias y Humanidades en la Universidad de Stanford. En 1993 recibió el Premio en Ciencias Físicas Rey Faisal, por el



Profesor Steven Chu.

desarrollo de la técnica para el enfriamiento o frenado¹ de átomos mediante rayos láser y su posterior captura.

El Prof. **Cohen-Tannouji** nació en 1933 en Constantine (Argelia²).

¹ Hablaremos indistintamente de enfriamiento o de frenado de átomos en la medida en que corresponden al mismo fenómeno físico.

² Entonces bajo protectorado francés.



Profesor Cohen-Tannouji.

Se doctoró en Física en *l'École Normale Supérieure* de París en 1962. Desde 1973 es Profesor del *Collège de France*. Además, es miembro de la Academia de Ciencias de Francia. Claude Cohen-Tannouji recibió en 1996 el *Premio de Electrónica Cuántica* de la *European Physical Society* por sus experimentos pioneros en enfriamiento láser y captura de átomos.