

Novedades científicas en Física en el año 2005

FÍSICA CUÁNTICA

• La visión clásica que tenemos hoy en día de la estructura del átomo como un diminuto sistema planetario en el que los electrones orbitan alrededor del núcleo masivo, debemos agradecerla a Ernest Rutherford y a su modelo de átomo propuesto en 1911. Dos años más tarde, Niels Bohr postuló que el momento angular de los electrones debía estar cuantizado y que éstos sólo podían moverse en ciertas órbitas circulares cuyo radio varía de forma discreta. Con la llegada de la mecánica cuántica en los años 20, este modelo clásico de electrón fue reemplazado por el concepto matemático de función de onda; de esta forma, las órbitas electrónicas pasaron de ser trayectorias lineales a borrosas nubes de densidad de probabilidad, denominadas orbitales. Desde el nacimiento de la mecánica cuántica hasta nuestros días, los modelos atómicos de Rutherford y Bohr han quedado relegados a meros ejemplos académicos o primeras aproximaciones, aún a pesar de que las propiedades atómicas y moleculares más importantes —como el espectro de emisión de los gases, por ejemplo— puedan ser explicadas a partir del modelo de Bohr. Desde entonces, la pregunta sobre dónde acaba el mundo clásico y comienza el mundo cuántico ha acompañado la investigación y el desarrollo de la física cuántica. En un trabajo publicado recientemente en la revista *Science* **307**, 1757 (2005) se demuestra que es posible conseguir átomos de Rutherford en el laboratorio, es decir, átomos que se comportan de forma clásica. Para conseguir un átomo de Rutherford es necesario confinar su nube electrónica en un volumen reducido, obteniendo de esta manera un electrón “localizado”. En mecánica cuántica, esto se logra creando una superposición coherente de estados, denominada paquete de ondas, cuya suma es constructiva sólo en un

cierto volumen. En este trabajo, Mada *et al.* explotan el hecho de que los estados altamente excitados del átomo de hidrógeno, llamados estados Rydberg, proporcionan un rango de estados cuánticos cuyo espaciado energético es casi uniforme. Cuando se superponen muchos de estos estados, la función de onda resultante aparece localizada por unos instantes. Sin embargo, el espaciado energético no es perfectamente uniforme y el paquete de onda comienza rápidamente a deshacerse debido a la dispersión. Los autores del trabajo crearon los átomos Rydberg a partir de un haz de átomos de litio, usando una serie de pulsos de láser para excitar los átomos a niveles energéticos sucesivamente más altos. Demostraron que se puede contrarrestar la dispersión mediante un campo microondas polarizado linealmente que oscilaba con la frecuencia orbital, logrando confinar y mantener unido el paquete de ondas del electrón durante cientos de órbitas alrededor del núcleo. Además, controlando la frecuencia de la microonda podían acelerar (aumentando la frecuencia) o retrasar (disminuyéndola) el movimiento orbital del electrón. Aunque muy sensibles (una pequeña perturbación energética externa puede sacar fácilmente al electrón de su órbita, los átomos Rydberg son tan grandes (decenas de nanómetros) y lentos (sus periodos orbitales son seis órdenes de magnitud más lentos que los de los átomos no excitados) que la escala temporal del movimiento del electrón disminuye desde las frecuencias ópticas hasta las microondas (de ahí que permitan ser manipulados mediante microondas. Por consiguiente, representan un buen campo de pruebas para indagar en el conocimiento de la oscura frontera entre la mecánica cuántica y el mundo macroscópico. En este sentido pueden tener muchas aplicaciones prácticas: permiten codificar información en forma de *qubits* para la computación cuántica; un gas de

átomos Rydberg puede ionizarse espontáneamente y formar un plasma ultrafrío; es posible incluso que los experimentos propuestos en este trabajo conduzcan a métodos para el enfriamiento de átomos de antimateria.

ASTROFÍSICA Y COSMOLOGÍA

• Se han detectado por primera vez de forma directa planetas extrasolares. Previamente, la existencia de planetas alrededor de otros soles había sido inferida a partir de refinadas modulaciones de la luz emitida por la estrella. Sin embargo, en un artículo publicado el 7 de abril en la revista *Nature*, **434**, 740 (2005) se han mostrado las primeras observaciones directas de la propia luz de estos planetas, captadas por el *Spitzer Space Telescope* en longitudes de onda correspondientes al infrarrojo. Los dos planetas observados, a 153 y 489 años luz de distancia, giran alrededor de sus estrellas en órbitas más cerradas que la de Mercurio.



Fuente: NASA/JPL/Caltech/R. Hurt (SSC).

• Científicos de la Universidad de Washington y Harvard han propuesto —*Phys. Rev. Lett.*, **95**, 161601 (2005), una explicación sobre el porqué vivimos en tres dimensiones y no en otro número. En la actualidad, la popular teoría de cuerdas sostiene que nuestro Universo es en realidad de diez dimensiones, incluyendo, en primer lugar, la dimensión del tiempo, después las tres “grandes” dimensiones que percibimos como “espacio”, más seis dimensiones que son difíciles de ver, quizás porque están ocultas de algún modo. En opi-

nión de los investigadores, hay razones para creer que nuestro habitual espacio 3D no es sino una parte de alguna membrana o “brana” dentro de una realidad de mayor dimensionalidad mucho más compleja. En física teórica, las branas (del inglés *branes*) o p-branas son objetos extendidos espacialmente que aparecen en la teoría de cuerdas y otras teorías relacionadas (*M-theory Brane Cosmology*). La variable p se refiere a la dimensión de la brana: una 0-brana es una partícula cero-dimensional, una 1-brana es una cuerda, una 2-brana es una “membrana”, etc. En concreto, los autores del trabajo se centran en el comportamiento de las leyes de la fuerzas en 3D, incluyendo la fuerza de gravedad. En su opinión, el tener varias dimensiones enrolladas es un modo de explicar por qué la gravedad es tan débil. Otro punto de vista sostiene que, si la gravedad está localizada sobre un defecto tridimensional en un universo multidimensional más grande, y si el espacio-tiempo está suficientemente deformado, entonces otras dimensiones espaciales podrían ser grandes después de todo. Pero, ¿por qué nuestra “gravedad local” es, aparentemente, un defecto de 3D en un universo de 10D?, ¿por qué no un defecto de 4D o de alguna otra dimensionalidad? En este trabajo, los autores muestran que la evolución cósmica del Universo 10D, la cual contempla una dilución estable de la materia, da como resultado un espacio-tiempo poblado principalmente por branas 3D y 7D. En este sentido, varias versiones de la teoría de cuerdas requieren la existencia de 3D y 7D branas; en efecto, las partículas que constituyen la materia —como quarks y electrones— pueden ser consideradas cuerdas abiertas con un extremo anclado sobre una brana 3D y el otro sobre una brana 7D.

FÍSICA DE LA MATERIA CONDENSADA

• Por primera vez ha sido demostrada la superfluidez en un gas ultrafrío de átomos fermiónicos. En el

número del año pasado, en esta misma sección, mostrábamos las primeras evidencias de superfluidez en un gas ultrafrío de átomos de litio-6. Sin embargo, la demostración ha llegado de unos experimentos llevados a cabo en el MIT y cuyos resultados han sido publicados en la revista *Nature*, 435, 1047 (2005). En ellos se ha observado como una serie de vórtices eran puestos en movimiento en un condensado molecular de Bose Einstein (BEC) formado por parejas de átomos de litio-6. Los vórtices representan el rasgo más característico de la superfluidez: un flujo persistente sin fricción. Después del He-3 líquido, el Li-6 gaseoso representa el segundo superfluido conocido de átomos fermi. Hay grandes ventajas al considerar la forma gaseosa diluida en lugar de la forma líquida: en la fase de gas (con una densidad de masa similar a la del medio interestelar), la dispersión interatómica es más simple; además, la intensidad de la interacción entre las parejas puede ser modulada a voluntad usando un campo magnético externo. El gas de litio ultrafrío representa el primer superfluido “de alta temperatura”. Si consideramos la relación entre la temperatura crítica (T_c) a la que tiene lugar la transición superfluida y la temperatura fermi (T_f), la temperatura de la partícula más energética del conjunto, para superconductores ordinarios tenemos que T_c/T_f es aproximadamente 10^{-4} ; para el helio-3 superfluido vale 10^{-3} ; para superconductores de alta temperatura 10^{-2} y para el nuevo superfluido de litio es 0,3.

• Físicos de la Universidad de Innsbruck han demostrado que el emparejamiento de átomos en los condensados de Bose-Einstein (BECs) mediante fotoasociación es coherente -*Phys. Rev. Lett.* **95**, 063202 (2005). El emparejamiento coherente de átomos había sido ya observado utilizando una condición magnética entre los átomos (resonancia de Feshbach). Sin embargo, las moléculas así constituidas resultaban débilmente conectadas. Por el

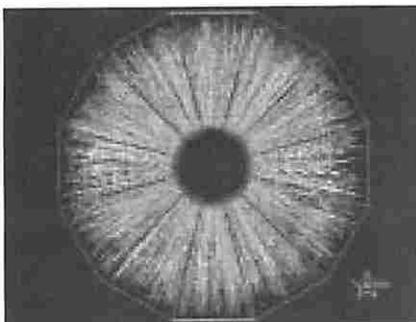
contrario, el proceso de fotoasociación —es decir, la utilización de la luz para fusionar los átomos en una molécula— permite establecer estados de moléculas más estrechamente ligados. El problema es que la misma luz del láser también puede ser absorbida para disociar las moléculas. Para evitar esto, los investigadores crearon “un estado oscuro” en el cual la luz no puede ser absorbida. Un estado oscuro es una condición cuántica especial: consiste en tres niveles cuánticos de energía, dos estados fundamentales estables y un nivel excitado. Si iluminamos el sistema con luz láser de forma que las dos frecuencias necesarias para las transiciones entre los estados fundamentales y el estado excitado están presentes simultáneamente, las dos excitaciones (desde los dos estados de energía más baja) pueden interferir entre sí destructivamente si hay coherencia de fase entre los dos estados fundamentales. La consecuencia es que ninguna luz es absorbida y las moléculas son estables. Tal “transparencia inducida electromagnéticamente” había sido observada antes en transiciones dentro de átomos, pero los científicos de Innsbruck son los primeros en usarla para una transición entre un BEC de átomos y moléculas. En sus experimentos, la misma luz láser de dos colores utilizada para crear el estado oscuro es también la luz empleada para fotoasociar átomos de rubidio en moléculas.

• Por primera vez, físicos del laboratorio ETH en Zurich no sólo han conseguido un gas de Fermi cuántico degenerado, sino que han sido capaces de fijar los átomos en los intersticios de una red óptica, logrando de esta forma un cristal artificial tridimensional en el que los átomos son mantenidos en sus posiciones por los campos eléctricos de los láseres -*Phys. Rev. Lett.* **94**, 080403 (2005). Además, han demostrado que modulando un campo magnético externo es posible conseguir que las parejas de átomos interactúen (debido a la resonancia de “Feshbach”) con una intensi-

dad que varía. Según los científicos, esta capacidad de poder poner átomos a voluntad (basta diseñar la red óptica adecuada) y luego hacerlos interactuar con una fuerza que se puede controlar, hace que este sistema sea muy útil. Podría utilizarse, por ejemplo, para probar sobre un verdadero sistema físico varias teorías sobre la materia condensada, como aquellas que tratan de explicar la superconductividad a altas temperaturas.

FÍSICA NUCLEAR Y DE PARTÍCULAS

- Físicos nucleares han demostrado que, apenas microsegundos después del Big Bang, la esencia material del Universo consistía en un líquido de quarks-gluones que rellenaba todo el espacio -*Nucl. Phys. A*, 757, 1 (2005). Por primera vez desde que se iniciaran en el 2000 los experimentos sobre colisiones nucleares en el *Brookhaven's Relativistic Heavy Ion Collider* (RHIC), los cuatro grupos que trabajan en laboratorio han convergido en una opinión consensuada: en esos momentos de la evolución del Universo, la materia tenía la forma de un líquido compuesto con quarks y gluones interactuando fuertemente, en lugar de un gas con interacciones débiles como se pensaba. Según creen los investigadores, el líquido era denso pero debía fluir con muy poca viscosidad, casi como un fluido ideal. Las colisiones de altas energías entre haces de iones oro llevadas a cabo en el RHIC han reproducido las condiciones de ese temprano universo, justo antes de que se formaran los



Fuente: Brookhaven National Laboratory.

protones en su forma estable ($10 \mu\text{s}$ después del Big Bang). En nuestro Universo actual, mucho más frío, los quarks aparecen agrupados dentro de los núcleos en forma de parejas o tríos unidos entre sí mediante los gluones.

- Ha comenzado una nueva era en la física de los neutrinos con la detección de los primeros geoneutrinos. Los neutrinos son partículas elementales con muy poca masa y raramente interactúan. Aunque la principal fuente de neutrinos es el Sol, donde se producen en grandes cantidades debido a las reacciones de fusión en su interior, también son generados de forma natural a partir de la interacción de los rayos cósmicos con los núcleos atómicos de las capas altas de la atmósfera terrestre, en fenómenos astrofísicos como las supernovas, y de forma artificial en los reactores nucleares y aceleradores de partículas. Observaciones llevadas a cabo en el *Kamio-ka liquid scintillator antineutrino detector* (KamLAND) y publicadas en la revista *Nature* 436, 499 (2005), parecen indicar el registro de antineutrinos del electrón procedentes de emisiones radiactivas en el interior de la Tierra; se trataría, por tanto, de los primeros geoneutrinos detectados. Incertidumbres en el modelo del interior de la Tierra hacen que la determinación exacta de su número sea vaga, pero podría

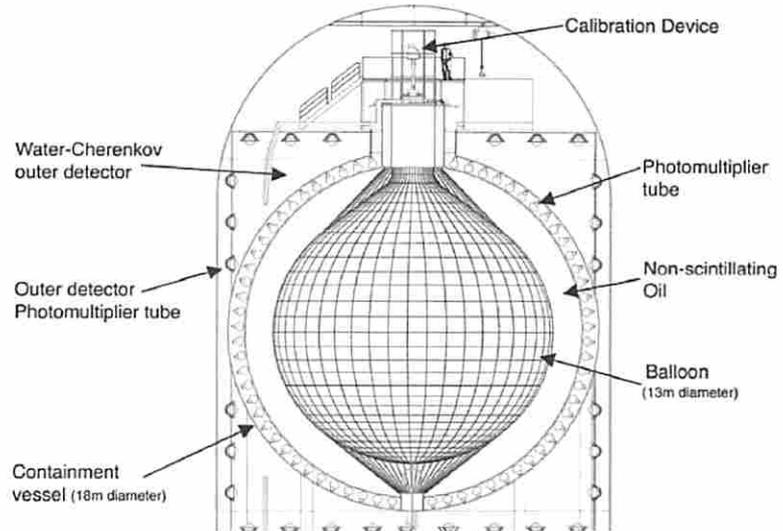


Diagrama esquemático del detector KamLAND.

tratarse de docenas. Presumiblemente provienen de la desintegración de los isótopos U-238 o del Th-232. En este sentido, la observación y medida de los geoneutrinos puede proporcionar una información muy valiosa sobre el interior de la Tierra.

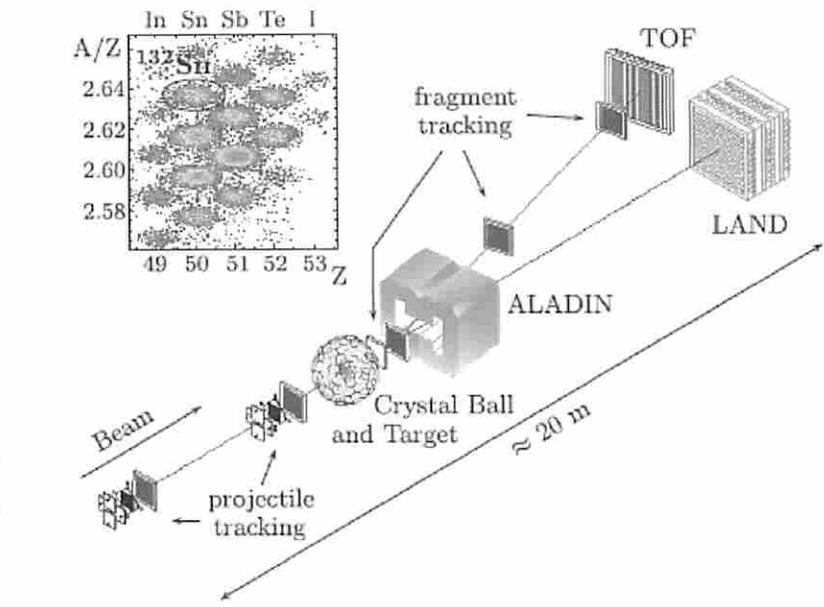
- Se ha diseñado un dispositivo de fusión nuclear del tamaño de una mano y que trabaja a temperatura ambiente. Científicos de la Universidad de UCLA han presentado en la revista *Nature*, 434, 1115 (2005) este revolucionario dispositivo, cuyo componente clave es un cristal piroeléctrico, una clase de material sólido, muy barato, utilizado frecuentemente para filtrar señales en teléfonos móviles (LiNbO_3 , por ejemplo). Cuando se calientan, los cristales piroeléctricos tienen la pro-



Imagen del dispositivo.

pieidad de polarizarse y generar un campo eléctrico, lo cual puede ser utilizado para acelerar electrones a energías relativamente altas (keV). En una cámara de vacío que contiene deuterio, los científicos colocaron un cristal piroeléctrico (LiTaO_3) de forma que una de sus caras tocaba un disco de cobre coronado por una sonda de tungsteno. Al calentar el cristal, se creó un potencial eléctrico en su superficie de 120 kilovoltios aproximadamente. El campo eléctrico en el extremo de la punta de la sonda de tungsteno era tan alto (25 V/nm) que arrancó electrones de los átomos de deuterio cercanos. Repelidos por la punta positivamente cargada y el campo de cristal, los iones de deuterio se aceleraron hacia un objetivo sólido de ErD_2 , chocando con tanta fuerza que algunos iones de deuterio se fusionaron con el deuterio del objetivo. Cada reacción de fusión creó un núcleo de helio-3 y un neutrón de 2.45 MeV de energía, el cual fue recogido como prueba de la fusión nuclear. En un ciclo típico de calentamiento los investigadores midieron un pico de unos 900 neutrones por segundo, aproximadamente 400 veces la radiación natural de fondo de neutrones. Durante este ciclo, que puede durar de 5 minutos a 8 horas, dependiendo de la rapidez del calentamiento del cristal, los investigadores estiman que se crean aproximadamente 10^8 julios de energía de fusión. Utilizando una punta de tungsteno más grande, enfriando el cristal a temperaturas criogénicas y construyendo un objetivo que contenga tritio, los investigadores creen que podrían aumentar en 1000 veces la producción de neutrones, esto es, más de 10^6 neutrones por segundo.

- Físicos del laboratorio GSI en Darmstadt, Alemania, han descubierto un nuevo estado excitado nuclear -*Phys. Rev. Lett.* **95**, 132501 (2005). Generalmente, en su estado no excitado, un núcleo atómico típico consiste en un número de neutrones y protones agitándose entre sí y adoptando una forma aproximadamente esférica. Sin embargo, si el



Esquema del dispositivo experimental que incluye el LAND (Large Area Neutron Detector) y un dipolo magnético ALADIN. En la imagen superior se identifican los fragmentos de la fisión del U-238, que constituyen el haz secundario.

núcleo es golpeado por un proyectil externo —como un flujo de partículas generado en un acelerador—, éste puede deformarse. En una clase de modo excitado llamado resonancia dipolar, los protones pueden moverse ligeramente en una dirección mientras los neutrones van en la otra. En otro tipo de excitación, el núcleo podría consistir en una gota central estable compuesta de nucleones, rodeada por uno o dos neutrones sobrantes, que constituyen una especie de halo alrededor del núcleo. En el nuevo experimento del GSI, un nuevo modo nuclear ha sido observado. Los núcleos usados, dos isótopos del estaño, son los más ricos en neutrones entre los núcleos más pesados que pueden ser producidos actualmente. Sn-130 y Sn-132 son tan pesados en neutrones que son bastante inestables y sólo pueden ser obtenidos artificialmente en el laboratorio. Para ello, los científicos bombardearon con uranio un objetivo de berilio. Los núcleos de U-238, agitados por la colisión, se fisionaron creando un enjambre de más de 1000 tipos de núcleos hijo, de los cuales se extrajeron los isótopos de estaño utilizados en el estudio. Estos núcleos fueron nuevamente excitados haciéndolos pasar por un segundo objetivo de plomo. Los estados excitados se desintegra-

ron más tarde y sus restos permitieron a los investigadores reconstruir la naturaleza turbulenta de los núcleos de estaño. Como se esperaba, se observó la resonancia dipolar. Sin embargo, también se observó una nueva resonancia: un exceso de neutrones alejándose del centro del núcleo. Además, esta nueva resonancia neutrónica aparecía en energías de excitación inferiores a las de la resonancia dipolar. Según los autores, existían evidencias previas del modo neutrónico en trabajos con núcleos ligeros, pero no de la oscilación observada en sus experimentos.

VARIOS

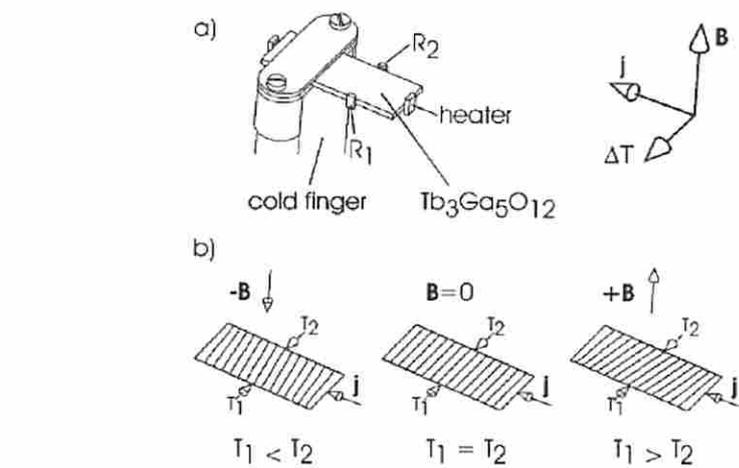
Fotónica

Un nuevo tipo de guía de onda nanofotónica ha sido creada en el MIT -*Phys. Rev. Lett.* **95**, 063901 (2005). Uno de los objetivos de la fotónica (ciencia que estudia los fundamentos y aplicaciones, así como la tecnología, de la generación, el control y la detección de fotones) es el de seguir el paso de la electrónica en su esfuerzo para conseguir circuitos más pequeños, rápidos y de menor consumo. Para lograrlo, es fundamental conseguir que la manipulación del fotón sea llevada

a cabo en escalas de tiempo, espacio y energía, cientos o miles de veces más pequeñas de lo que es posible en la actualidad. Hasta la fecha, se había conseguido reducir uno o dos de estos parámetros (espacio, tiempo, energía) a la vez, pero no se habían conseguido reducir los tres simultáneamente. Sin embargo, científicos del MIT lo han logrado con éxito de la siguiente manera. Para procesar una señal fotónica, la encriptaron en ondas de luz mantenidas sobre la interfaz entre un sustrato metálico y una capa de material aislante. Estas ondas, llamadas plasmones de superficie (del inglés *plasmon*), pueden tener una longitud de onda de propagación mucho menor que la longitud de onda óptica en el espacio libre. De esta forma se consigue una de las reducciones deseadas: con una longitud de onda más corta, la dimensión espacial del dispositivo puede ser más pequeña. Además, un plasmón de estas características es también una onda electromagnética muy lenta. Esto implica que pasa más tiempo “sintiendo” las propiedades no-lineales de los materiales del dispositivo, lo que supone una escala menor de la energía operacional del dispositivo, consiguiendo, por consiguiente, otra de las reducciones deseadas. Finalmente, apilando varias capas de aislante se logra que los plasmones abarquen un ancho de banda de frecuencias sorprendentemente grande. Como la superposición de ondas con diversas frecuencias puede sumar un pulso muy corto en el dominio de tiempos, se consigue la tercera de las reducciones de escala deseadas. Los investigadores han demostrado, además, que la reducción de la pérdida de energía es otra de las virtudes de este nuevo dispositivo. Por todo ello, este avance abre las puertas a numerosas posibilidades dentro del campo de la computación óptica y las telecomunicaciones.

Física del estado sólido

El efecto Hall fonón, equivalente acústico del efecto Hall eléctrico, ha



(a) Dispositivo experimental y geometría del transporte magneto-transversal de fonones. (b) Fenomenología: Isotermas con y sin campo magnético.

sido observado por físicos del Max Planck Institut für Festkörperforschung (MPI) y del Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) en Francia. De acuerdo con el efecto Hall eléctrico, cuando una corriente eléctrica es sometida a un campo magnético externo, los portadores de carga sienten una fuerza perpendicular a la corriente y al campo magnético, provocando una deflexión de la corriente hacia un lado. Una “corriente” de calor puede consistir en electrones libres portando energía térmica o también puede consistir en fonones, vibraciones propagándose a través de la red de átomos de la muestra. Un fonón es un modo cuantizado de vibración que tiene lugar en redes cristalinas como la red atómica de un sólido. Representa una versión mecano-cuántica de los modos normales de vibración en mecánica clásica, en los que cada parte de una red oscila con la misma frecuencia. Cualquier vibración arbitraria de una red puede considerarse como una superposición de modos normales con diversas frecuencias; en este sentido, los modos normales son las vibraciones elementales de una red. Aunque los modos normales admiten una descripción ondulatoria en la mecánica clásica, también adquieren ciertas propiedades de partícula cuando la red es analizada empleando la mecánica cuántica, debido a la dualidad onda-corpúsculo. El estudio de los fonones es una parte importante en la física del estado sólido debido a que los fonones juegan un papel muy

importante en muchas de sus propiedades físicas, incluyendo las conductividades térmica y eléctrica. En particular, las propiedades de los fonones de gran longitud de onda dan lugar al sonido en los sólidos, de aquí el nombre *fonón*. En el aislamiento de sólidos, los fonones son el mecanismo primario por el cual se produce la conducción de calor. Previamente se creía por una parte de la comunidad científica que en ausencia de electrones libres no podía darse una desviación de calor inducida magnéticamente. Sin embargo, los investigadores del MPI-CNRS han demostrado experimentalmente que la desviación magnética de fonones es posible. Para ello, han aislado muestras de una material en el que no hay presencia de cargas libres (*Terbium Gallium Garnet*, muy utilizado por sus propiedades magneto-ópticas). La muestra fue mantenida a una temperatura de 5 grados Kelvin y fue calentada en un lado, creando el equivalente térmico de un voltaje aplicado. La aplicación de un campo magnético de unos pocos Teslas produjo una diferencia de temperatura extremadamente pequeña (más pequeña que una milésima de grado), aunque detectable.

Física del Agua

- Hablar de agua hidrófoba parece una broma, sin embargo, científicos del *Pacific Northwest National Lab* han producido y estudiado mo-

nocapas de moléculas de agua que parecen imposibilitar el posterior crecimiento de hielo *-Phys. Rev. Lett.* **95**, 166102 (2005). Cuando se colocan moléculas aisladas de agua sobre un sustrato metálico a temperaturas inferiores a 60 K, éstas se quedan quietas. A temperaturas más altas, las moléculas se mueven lo suficiente como para formar diminutas islas de hielo bidimensional. Las nuevas moléculas que van aterrizando sobre los cristales caerán por los bordes hacia los espacios entre las islas. De este modo se obtiene una monocapa de hielo que cubre completamente la superficie metálica. Sin embargo, como los cuatro enlaces posibles de la molécula de agua están ocupados (uno al sustrato de Pt, el metal utilizado como sustrato, y tres a sus moléculas vecinas de agua), la adición de más agua no producirá un crecimiento tridimensional del hielo capa a capa. Sólo cuando hay una cantidad de agua para cubrir la superficie, equivalente a 40 ó 50 capas, se consigue que el hielo cristalino 3D cubra completamente la monocapa hidrófoba. Los investigadores del PNL han sido los primeros en observar este efecto. Para que se muestre esta novedosa propiedad hidrófoba, los enlaces del sustrato de agua tienen que ser lo bastante fuertes como para formar una monocapa estable. Enlaces débiles dan lugar a un estado hidrófobo "clásico" en el que el agua di-

rectamente se "apelotona", por lo que no se llega a formar una primera monocapa completa.

- Se ha obtenido hielo a temperatura ambiente sometiendo las moléculas de agua a un campo eléctrico suficientemente alto *-Phys. Rev. Lett.* **95**, 085701 (2005). Algunos físicos habían predicho este fenómeno para campos próximos a 109 V/m, los cuales provocarían la formación de los enlaces ordenados del hidrógeno necesarios para la cristalización. Ha sido observada por primera vez (*Phys. Rev. Lett.* **95**, 085701, 2005) la congelación del agua inducida eléctricamente a temperatura ambiente y en un campo inferior al esperado, sólo 106 V/m. Según los investigadores, las condiciones experimentales en las que se llevó el congelamiento, un campo eléctrico modesto y un hueco espacial muy estrecho, podrían reproducirse en la naturaleza. Se cree, por ejemplo, que campos de 106 V/m pueden darse en nubarrones, en diminutas grietas en la roca y en ciertos dispositivos eléctricos nanométricos.

Óptica

Físicos del JILA, el instituto conjunto del NIST y la Universidad de Colorado, han creado un nuevo proceso óptico para extender la producción de radiación coherente al extremo ultravioleta del espectro

electromagnético *-Phys. Rev. Lett.* **94**, 193201 (2005). El proceso está basado en el hecho de que pulsos láser ultra-rápidos de anchuras de femtosegundos, separados por nanosegundos, se manifiestan como una superposición de luz de diferentes frecuencias sobre una amplia banda espectral. La transformada de Fourier de estos pulsos cortos es una larga serie de picos uniformemente espaciados que se asemeja a las púas de un peine. Los investigadores del JILA han conseguido desplazar este "peine" de frecuencias hacia el ultravioleta extremo. Para lograrlo, han generado una serie de armónicos altos del peine de frecuencias original, cercano al infrarrojo. Estos "peines" de frecuencia han posibilitado la demostración de los relojes atómicos ópticos y son objeto de investigación en óptica no lineal, en espectroscopía de precisión y en manipulación y control de pulsos láser. Los autores creen que el nuevo peine de frecuencias en el ultravioleta proporciona una importante herramienta para la espectroscopía de resolución ultra-alta y para las medidas de precisión en ese dominio espectral. Esto abrirá las puertas a una resolución espectral sin precedentes, haciendo posible el estudio de la estructura fina de átomos y moléculas con luz XUV coherente.

Pedro Córdoba Torres

Dpto. de Física Matemática y de Fluidos

Los retos matemáticos del tercer milenio

Los problemas matemáticos son la quintaesencia de la disciplina. Al recoger retos conceptuales estratégicos, estas barreras técnicas encierran la posibilidad de novedosos avances en la capacidad del lenguaje matemático. De ahí la importancia de los problemas más relevantes, todavía sin resolver. Siete de ellos fueron identificados en París, el año 2000, por la Fundación Clay, y se les ha denominado "*Problemas del Premio del Milenio*", ya que dicha institución ofrece un millón de dólares a quien solucione cualquiera de ellos:

1. P versus NP
2. La conjetura de Hogde
3. La conjetura de Poincaré
4. La hipótesis de Riemann
5. La existencia de soluciones a las ecuaciones de Yang Mills y la falta de masa
6. El problema de la existencia de soluciones y su diferenciabilidad en las ecuaciones de Navier-Stokes
7. La conjetura de Birch y Swinnerton-Dyer

PERO, ¿PARA QUÉ SIRVEN LAS MATEMÁTICAS?

La inmensa mayoría de los matemáticos dirá que las matemáticas son bellas de por sí, que se justifican a sí mismas. Pero las matemáticas son además necesarias, o más bien indispensables. Podrían ser la ciencia invisible: parte de su mérito consiste en estar detrás de múltiples facetas de la vida cotidiana, ocultas pero esenciales. Y son también el motor del cambio: no hay avión, robot, computador... tecnología del futuro que no se alimente de matemáticas. Éstos son algunos ejemplos: