

mio (Ni/Cd) o las de níquel/hidruro metálico (Ni/HM). En primer lugar, hay que destacar el elevado voltaje de las baterías de ión litio. Típicamente, el voltaje de una batería de ión litio es próximo a 4V, esto es, más de tres veces el valor del voltaje de las baterías de Ni/Cd o Ni/HM (1.2 V). Por su elevado voltaje, una de las principales ventajas de las baterías de ión litio es su alta densidad de energía, tanto en volumen como en masa. Ambas densidades presentan valores superiores entre un 20% y un 40% a las baterías de Ni/Cd o Ni/HM. Estos valores significan que, para una densidad de energía dada, una batería de ión litio pesa notablemente menos que una batería de níquel-hidruro metálico. Algo similar ocurre si nos referimos al volumen de la batería. No es difícil comprender que ambos aspectos, masa y volumen,

son determinantes en cualquier aplicación portátil. Otra ventaja importante de estas baterías es la ausencia del conocido efecto memoria que tienen las baterías de Ni/Cd o Ni/HM. Esto significa que una batería de ión litio puede ser recargada en cualquier momento sin peligro de que la batería pierda parte de su capacidad inicial. Por último, las baterías de ión litio presentan un bajo impacto medioambiental, como consecuencia de que no contienen elementos tóxicos como cadmio, mercurio o plomo, generalmente utilizados en otros tipos de baterías. Todas estas ventajas explican el por qué las baterías de ión litio están consideradas como la última generación de las baterías avanzadas, siendo además, un claro ejemplo de aplicación de un compuesto de intercalación en la vida cotidiana.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Intercalation compounds, R Schöllhorn, en *Inclusion compounds*, Vol. I. Eds. J.L. Atwood, J.E: Davies y D.D. MacNicol. Academic Press, Londres, 1984.
- [2] Inorganic intercalation compounds, Dermot O'Hare, en *Inorganic Materials*, 2º Ed. Eds. Duncan W. Bruce y Dermot O'Hare. John Wiley & Sons, New York, 1997.
- [3] Intercalation Chemistry, Allan J. Jacobson, en *Encyclopedia of Inorganic Chemistry*, Vol. 3, Ed. R. Bruce King. John Wiley & Sons, Chichester, 1994.
- [4] Intercalation Chemistry, Eds. M.S. Whittingham y A.J. Jacobson, Academic Press, New York, 1982.

**M.ª Luisa Rojas Cervantes**  
Dpto. de Química Inorgánica y  
Química Técnica

## NOVEDADES CIENTÍFICAS

### Novedades científicas en Física en el año 2003

#### ASTROFÍSICA Y COSMOLOGÍA

- Cada año aparecen nuevos datos y más precisos sobre la radiación cósmica de fondo que aportan nueva información sobre la estructura y la historia del Universo. En 2003 se hicieron públicos los primeros estudios de los datos suministrados por la sonda *Wilkinson Microwave Anisotropy Probe* (Wilkinson es el apellido de uno de sus diseñadores, muerto recientemente). El WMAP fue lanzado en junio de 2001 para situarse en el Punto Lagrangiano L2 a 1,5 millones de kilómetros de la Tierra. (De este modo, el satélite orbita alrededor del Sol con el mismo periodo que la Tierra, pese a estar a una distancia mayor.) Lo que se deduce de estos datos es que el Big Bang tuvo lugar hace  $13,7 \pm 0,2$  miles de millones de años y la radiación cósmica refleja el estado

del Universo  $379 \pm 8$  miles de años después. Los datos confirman que hubo una etapa inflacionaria aunque queda descartado el modelo de inflación caótica. Además de la anisotropía, el WMAP ha medido la polarización de la radiación, de donde se puede deducir la época de la reionización debida a la formación de las primeras estrellas (ver 100cias@uned nº 5, 2002). Esto ocurrió 200 millones de años después del Big Bang, es decir, unos 500 millones de años antes de lo que se pensaba hasta ahora. Estos datos de WMAP se complementan con los del *Sloan Digital Sky Survey* (SDSS) basado en tierra que ha examinado más de 200.000 galaxias. De ellos se deduce que el Universo contiene un 4% de materia bariónica, un 23% de materia oscura y un 73% de energía oscura. También fija una cota superior de 0,6 eV para la masa del neutrino.

- No obstante lo anterior, tan sólo una tercera parte de este 4% que constituye la materia bariónica está en forma de estrellas y galaxias. Ahora se han descubierto en el grupo local nubes de oxígeno de baja densidad que podrían dar cuenta del otro tercio.
- La abundancia de elementos químicos en las estrellas más antiguas de la Vía Láctea es de sólo entre 1/10 y 1/100 de las abundancias en el Sol. Por ello se pensaba que la evolución de los elementos químicos requería mucho tiempo. Para estudiar esta evolución a lo largo de la historia del Universo se comparan los espectros de galaxias con edades diferentes, es decir, situadas a diferentes distancia de la Tierra y con diferentes desplazamientos hacia el rojo. El problema es que las galaxias muy lejanas son muy poco brillantes. Este problema se puede soslayar cuando detrás de la galaxia a estudiar y exactamente en la misma visual hay un cuasar que proporciona la

luz necesaria. Las rayas espectrales del quasar pueden distinguirse de las de la galaxia. La sorpresa es que en galaxias de 12.000 millones de años de edad se han detectado abundancias químicas de hasta 1/3 de las abundancias solares.

- En los últimos años, el estudio de algunos espectros de galaxias sugería que la constante de estructura fina  $\alpha$  podía haber variado ligeramente (ver 100cias@uned nº 5, 2002). Sin embargo, ahora se ha propuesto una explicación de los espectros por la sobreabundancia en magnesio en una primera generación de estrellas de masa intermedia, lo que descartaría la variación de  $\alpha$ .
- La sonda espacial Voyager I ha alcanzado los confines del Sistema Solar a más de 85 UA (es decir, 85 veces la distancia Tierra-Sol). Durante el segundo semestre de 2003 la sonda detectó un aumento importante de la densidad de partículas energéticas. Parece que ello se puede explicar por el frenado del viento solar hasta velocidades subsónicas cuando se alcanza el límite del Sistema Solar.

## FÍSICA DE PARTÍCULAS

- Ya Heisenberg supuso en su primer modelo nuclear que, con respecto a las fuerzas nucleares, protón y neutrón podían considerarse como dos estados diferentes de una misma partícula, llamada genéricamente nucleón. Esto es lo que se denomina simetría de carga en las interacciones fuertes. Según el modelo estándar, el protón está compuesto por dos quarks u y un quark d, mientras que el neutrón está formado por un quark u y dos d. Así, la permutación de u por d transforma un protón en un neutrón y viceversa. Sin embargo, la simetría no es perfecta, y esto tiene consecuencias trascendentales y afortunadas. En efecto, el quark u tiene una carga doble que el quark d, de modo que la interacción electrostática daría una masa ligeramente mayor al protón. Sin embargo, este efecto queda compensado

por el hecho de que la masa del quark d es mayor que la del quark u. El resultado global es que la masa del neutrón es algo mayor que la del protón. Así, el neutrón puede desintegrarse espontáneamente en un protón y un electrón, y protones y electrones darán lugar finalmente a los elementos químicos. La asimetría de carga se ha puesto ahora de manifiesto en procesos elementales: la fusión de dos deuterones para dar un núcleo de helio y un pión neutro o la fusión de un protón y un neutrón para dar un deuterón y un pión. El estudio de estos procesos ayudará a explicar la ruptura de la simetría de carga y la diferencia de masas entre los quarks.

- Normalmente los bariones están formados por tres quarks y los mesones por un par quark-antiquark. Ya existía alguna evidencia de partículas formadas por 5 quarks, entre ellos un par quark-antiquark del mismo sabor (algo así como la unión de un barión y un mesón ordinarios). Ahora se han descubierto nuevas partículas exóticas formadas por 5 quarks sin pares quark-antiquark.
- Es sabido que, además del hidrógeno ordinario, existen en la naturaleza mínimas cantidades de deuterio y tritio, cuyos núcleos contienen, además de un protón, uno y dos neutrones respectivamente. Hace algunos años se obtuvieron artificialmente núcleos de  $^5\text{H}$  con cuatro neutrones. En 2003 se han obtenido núcleos de  $^7\text{H}$  con seis neutrones. Para ello se bombardea hidrógeno ordinario con  $^8\text{He}$ . Éste cede sus 6 neutrones al H y quedan dos protones libres.
- Los átomos de los gases nobles tienen sus capas electrónicas completas, por lo que son difícilmente reactivos. No obstante, hace unos diez años se detectaron por primera vez moléculas de  $\text{He}_2$  formadas por interacción dipolar. Puesto que la interacción es muy débil, los átomos que componen la molécula están muy alejados. Ahora se han obtenido moléculas de He de tamaños desde 8 a 60 nm; es decir,

la distancia interatómica es cientos de veces mayor que el tamaño de los propios átomos. A estas largas distancias hay que tener en cuenta incluso efectos de retardo en el potencial de interacción, que del tipo  $r^{-6}$  típico del potencial de van der Waals pasa a tener componentes a  $r^{-7}$ . Para crear estas moléculas se enfrían previamente los átomos individuales hasta una temperatura de 10  $\mu\text{K}$ , cuando su energía cinética es  $10^{10}$  veces menor que su energía interna. Luego, con la ayuda de un láser, se generan dipolos inducidos que unen los átomos. Las moléculas así formadas duran hasta 50 ns.

## FÍSICA CUÁNTICA

- El primer paso para la construcción de un computador cuántico es la construcción de puertas lógicas. De entre éstas, una de las más importantes es la puerta CNOT (no-condicionada) o puerta de Hadamard, que es una puerta que relaciona dos qubits. Hace 5 años Cirac y Zoller propusieron un modelo en el que los estados de cada qubit son dos estados internos de un ión y la interacción entre los qubits se consigue gracias a la excitación de los modos de vibración de los dos iones en una trampa iónica. Ahora, dos grupos en Innsbruck y en el NIST de Colorado han construido estas puertas. La puerta construida en Innsbruck sigue la propuesta original en la que los qubits son iones  $^{40}\text{Ca}$  y la excitación de los modos vibracionales depende de la dirección del los láseres que actúan sobre cada qubit. En la puerta del NIST los qubits son iones de  $^9\text{Be}$  y la excitación vibracional se hace gracias a la fuerza debida al campo dipolar de un láser que actúa simultáneamente sobre los dos iones. No obstante, la eficacia de estas puertas es de solo un 80%.
- Otro sistema propuesto hace años como puerta lógica CNOT era el de una cavidad resonante atravesada por un haz de iones. Un ión podía interactuar con el campo

de la cavidad, de modo que el comportamiento de un segundo ión que atraviesa la cavidad dependía del estado de ésta tras el paso del primer ión. Ahora se ha utilizado la misma cavidad con un único átomo encerrado en ella como forma de crear un láser de un sólo átomo, es decir, un átomo que emite continuamente fotones idénticos. Además, no hay antibunching, es decir, los fotones se emiten de uno en uno a un ritmo constante. Esto es fundamental si se quieren utilizar los fotones para la transmisión de datos.

- Ya se ha dicho que para la transmisión de datos en criptografía es conveniente que los fotones se emitan de uno en uno. Si en cada pulso hubiera más de un fotón, estos fotones redundantes podían ser utilizados por un posible espía para descifrar la clave. El problema es que las fuentes de fotones individuales son muy difíciles de conseguir. Por ejemplo, si se quiere reducir la intensidad de un láser ordinario para asegurarse de que los pulsos emitidos no contienen más de un fotón, la estadística implica que más del 95% de los pulsos no contiene ningún fotón. No obstante, ahora se ha propuesto un sistema de codificación en pulsos de unos 100 fotones. Con esto se ha conseguido transmitir información a una velocidad de 75000 bits por segundo.
- En los escasos experimentos de computación cuántica realizados hasta ahora, los diferentes qubits eran átomos en una molécula organo-metálica, sobre los que se podía actuar de forma individual debido a sus diferentes frecuencias de resonancia RMN. Esto supone que el número de qubits posible está muy limitado. Para construir un computador con un gran número de qubits sería necesario que estos estuvieran situados en una matriz de estado sólido, pero suficientemente separados para que se pueda actuar sobre ellos individualmente. Por otra parte, para que puedan hacerse operaciones de dos qubits es necesario conseguir entrelaza-

miento (entanglement) entre ellos a estas distancias mesoscópicas. Hasta ahora solo se había conseguido entrelazamiento a distancias del orden de una micra. Ahora se ha conseguido entrelazamiento entre qubits a 0,7 mm. Los qubits eran en este caso uniones Josephson acopladas a condensadores.

- Todos los años se bate el record de distancia en la transmisión de claves codificadas cuánticamente a través de fibra óptica. El tema es importante porque la señal no se puede amplificar en estaciones intermedias (pues se rompería la coherencia cuántica) y sólo se pueden utilizar determinadas frecuencias para las que la absorción óptica de la fibra es muy pequeña. El nuevo record establecido en 2003 es de algo más de 100 km.

## ÓPTICA

- La propuesta de materiales con índice de refracción negativo (familiarmente llamados "materiales ópticamente zurdos") provocó una intensa discusión, especialmente la posibilidad de utilizar láminas de estos materiales como lentes perfectas (ver 100cias@uned nº 4, 2001). Para ello era necesario que la parte imaginaria del índice de refracción fuese nula, pues de otro modo la intensidad de la luz refractada decrecería rápidamente con la distancia a la lente. Nuevos experimentos, con detectores situados a distancias mayores respecto a la lámina, han mostrado que la intensidad transmitida decrece muy poco.
- También se han obtenido cristales zurdos ferroelásticos con dominios gemelos que muestran refracción positiva y refracción negativa dependiendo del ángulo de incidencia.
- En los últimos años se han hecho varios experimentos sobre frenado e incluso congelación de un pulso luminoso en diferentes medios. Para reducir drásticamente la velocidad de grupo hay que hacer que la variación del índice de refracción con la frecuencia sea muy

alta. Esto puede conseguirse con transparencia inducida electromagnéticamente (ver 100cias@uned nº 3, 2000). Ahora se ha conseguido frenar la luz en un sólido mediante oscilaciones de población coherentes que se obtienen modulando la población del estado fundamental a la frecuencia de batido de dos láseres pulsados. Así se crea un agujero espectral muy estrecho para el que la velocidad del pulso se reduce a 57,5 m/s.

- También hace dos años se consiguió almacenar un pulso de luz en las orientaciones del espín en los átomos de un vapor (ver 100cias@uned nº 5, 2002). Recientemente se ha realizado un experimento más completo. Si a través del vapor se hacen pasar dos haces láser contrarios se puede reconstruir la luz almacenada, creando una onda estacionaria entre los átomos que ahora actúan como espejos: el pulso queda congelado en el espacio. Si a continuación se desconecta uno de los haces, el pulso viaja en la dirección del otro haz.
- La construcción de un interferómetro de rayos X sería importante para la calibración de patrones de longitud y tiempo. Sin embargo, esto es muy difícil dada la dificultad de hacer espejos para rayos X con incidencia frontal. Ahora se ha construido un interferómetro en el que las paredes reflectoras son cristales de zafiro que actúan como espejos perfectos para rayos X en una estrecha franja de energías alrededor de una energía determinada por la ley de Bragg. En una cavidad de 50 mm se han observado hasta 60 reflexiones de rayos X de 14,3 keV.

## MAGNETISMO

- Hace unos años se hizo famoso el experimento que mantenía una rana viva flotando sobre un electroimán, basado en el carácter diamagnético de algunos tejidos animales. Esta levitación magnética se basa en efecto en la fuerza repulsiva que un gradiente de campo magnético ejerce sobre una

- sustancia diamagnética. Este efecto aumenta cuando la sustancia diamagnética está rodeada de un medio paramagnético: es el llamado efecto magneto-Arquímedes, similar a la fuerza de flotación originada por una diferencia de densidades. La susceptibilidad paramagnética, como la densidad, es inversamente proporcional a la temperatura. Por ello, si se utiliza un ambiente de oxígeno paramagnético a una temperatura de 90 K, próxima al punto de licuefacción, la fuerza de empuje sobre una sustancia diamagnética es 10 veces mayor que a temperatura ambiente. Este efecto podría utilizarse también para separar fácilmente materiales con diferentes susceptibilidades.
- La magnetorresistencia es la variación drástica de la resistencia eléctrica debida a la presencia de un campo magnético. Este efecto se aprovecha especialmente en las cabezas de lectura-escritura en los ordenadores. Hay muchos tipos de magnetorresistencia (ver 100cias@uned nº 4, 2001). Ahora se ha descubierto otro basado en el efecto Hall planar gigante. En el efecto Hall ordinario aparece una diferencia de potencial entre los extremos de un conductor plano sometido a un campo magnético perpendicular tanto a la corriente como al plano del conductor. Por el contrario, en el nuevo efecto Hall el campo magnético forma un ángulo con la corriente. Con esta configuración se observan saltos abruptos en el voltaje Hall. El efecto en un semiconductor magnético (GaMnAs) es hasta  $10^4$  mayor que en un metal.
  - Hoy día los detectores más sensibles de campos magnéticos son los SQUID (Superconducting Quantum Interferometer Device). Éstos se basan en la cuantización del flujo magnético que atraviesa un anillo superconductor en unidades del magneton de Bohr. Los SQUID más sensibles alcanzan una sensibilidad de  $1 \text{ fT/Hz}^{1/2}$ , pero para ello deben trabajar a una temperatura de 4 K. Los que trabajan a tempe-

raturas del nitrógeno líquido son menos precisos. Los magnetómetros atómicos basados en el efecto Zeeman eran muy grandes y tenían poca resolución espacial, pues para detectar bien las líneas espectrales hacía falta un volumen de gas relativamente grande. Recientemente se ha conseguido evitar estos problemas y se ha construido un magnetómetro atómico de gran resolución espacial y con una sensibilidad de  $0,5 \text{ fT/Hz}^{1/2}$ , y se espera aumentar esta sensibilidad en un orden de magnitud.

## VARIOS

- El comportamiento de un fluido que circula por una tubería depende evidentemente de la velocidad y las propiedades físicas del fluido así como del diámetro de la tubería. Pero hace más de un siglo Osborne Reynolds descubrió que el carácter del flujo no depende de cada una de estas características por separado sino que lo hace a través de un número adimensional  $Re = ua/v$ , siendo  $u$  la velocidad del fluido,  $a$  el diámetro de la tubería y  $v$  la viscosidad del fluido. Por debajo de un valor  $Re \sim 2000$  el flujo es laminar, mientras que por encima de este valor el flujo es turbulento. Sin embargo, la solución laminar de las ecuaciones del flujo (las ecuaciones de Navier-Stokes) es linealmente estable para cualquier número de Reynolds, lo que quiere decir que para que aparezca la turbulencia el flujo debe ser perturbado por una perturbación de tamaño finito. Evidentemente el tamaño de la perturbación necesaria es menor cuanto mayor es el número de Reynolds. Existían varias teorías sobre cómo escalan las perturbaciones con dicho número pero ahora un experimento muy preciso ha establecido que el tamaño de la perturbación varía como  $Re^{-1}$  al menos para valores de  $Re$  comprendidos entre 2.000 y 20.000.
- En años recientes se ha propuesto que una desviación de la dependencia  $1/r^2$  de la fuerza gravitatio-

ria a distancias submilimétricas sería indicio de la existencia de dimensiones espaciales extra (ver 100cias@uned nº4, 2000). Sin embargo, experimentos realizados el último año muestran que la dependencia  $1/r^2$  sigue siendo válida a distancias de  $100 \mu\text{m}$ .

- Las propiedades superficiales de un cristal son diferentes de las de volumen. Un átomo próximo a la superficie ve un entorno muy diferente al de un átomo de volumen. Así, los enlaces interatómicos próximos a la superficie se reorientan dando lugar a estados superficiales localizados, tanto vibracionales como electrónicos. Incluso la estructura de la superficie puede diferir de forma importante de la estructura de volumen. La reconstrucción superficial es particularmente importante en el Si, que es el material semiconductor por excelencia, ya sea puro o en forma de SiC (carburo de silicio) que se mantiene semiconductor hasta  $2.800 \text{ }^\circ\text{C}$ . Ahora se ha descubierto que cuando se adsorbe hidrógeno en una superficie de SiC se forman hileras de dos átomos con propiedades metálicas. Esto podría utilizarse para mejorar los contactos entre metales y semiconductores en ciertos circuitos eléctricos.
- Todos los años se produce alguna afirmación espectacular con poca o nula credibilidad entre la comunidad física. Probablemente la que se llevó la palma en 2003 fue la afirmación de un físico de la Universidad de Pretoria en el sentido de que el diamante dopado con oxígeno se hace superconductor a temperatura ordinaria. Esto era básicamente una conjetura basada en meros experimentos de conductividad eléctrica en el contacto con la punta de un STM (microscopio de efecto túnel). Curiosamente, cuando se le pidió al científico en cuestión que realizara experimentos más detallados, éste declaró que se acababa de jubilar y no contaba con el equipamiento necesario.

J. Javier García Sanz  
Dpto. de Física Fundamental