

# Vida Científica

## NOVEDADES CIENTÍFICAS EN 2014

### EN FÍSICA

#### ASTROFÍSICA Y COSMOLOGÍA

Sin duda la noticia más impactante de 2014 fue el anuncio en marzo del descubrimiento de modos B en la polarización de la radiación cósmica de fondo. Éste era el resultado de las observaciones de BICEP (*Background Imaging of Cosmic Extragalactic Polarization*) un detector instalado en el Polo Sur donde se pensaba que la radiación recibida no estaba apenas afectada por el polvo galáctico, de modo que la polarización medida era un reflejo directo de la polarización en el momento de desacoplo, que a su vez estaba determinada por la existencia de ondas gravitatorias primordiales. Ésta sería la prueba definitiva de la existencia de una fase inflacionaria. No obstante, posteriores medidas de la radiación cósmica de fondo por el satélite Planck mostraron que el efecto del polvo cósmico no podía ser descartado y que los resultados de BICEP no eran ni mucho menos concluyentes.

Las teorías cosmológicas actuales sugieren que la materia visible en el universo está distribuida en una malla de finos hilos en cuyos nudos se encuentran los cúmulos galácticos. Estos hilos se pueden hacer visibles gracias a un proceso similar a la fluorescencia. Cuando el gas cósmico es iluminado por radiación ultravioleta emitida por un cuasar, emite radiación Lyman. Así se ha observado un hilo de 460 kiloparsecs iluminado por el cuasar UM287 situado a unos 10.000 millones de años-luz.

La teoría de la nucleosíntesis en el Big Bang da buenas predicciones para las abundancias de hidrógeno y helio en el universo, pero entra en dificultades para explicar la abundancia de litio. El litio se produciría por fusión de núcleos de helio y deuterio. Sin embargo, estudios detallados de este proceso en condiciones similares a las que se dieron en el Big Bang muestran que es muy lento y solo habría podido producir una mínima parte del litio existente. La mayor parte del litio se pro-

dujo mucho después del Big Bang, aunque no está claro el proceso.

La naturaleza de la materia oscura, que constituye casi un 85% de la materia total del universo y un 27% del total de materia y energía, sigue siendo un misterio. Un candidato son las WIMPs (*Weakly Interactive Massive Particles*) que permearían todas las galaxias. En tal caso, el movimiento orbital de la Tierra se enfrentaría a un “viento de materia oscura” que se manifestaría en una variación anual de sucesos “extraños” debidos a interacciones entre wimps y partículas de materia ordinaria. Ya en 1998 el experimento DAMA en el Gran Sasso anunció que había detectado tal variación estacional, aunque esto no fue corroborado por otros experimentos similares. Ahora un experimento CoGeNT (*Coherent Germanium Neutrino Technology*) ha encontrado una variación estacional similar a la anunciada por DAMA.

Por otra parte, una alta tasa de positrones de alta energía detectados en el Espectrómetro Electromagnético Alfa instalado en la Estación Espacial Internacional ha sido interpretada como resultado de la colisión de partículas de materia oscura, aunque esta interpretación está lejos de ser unánimemente admitida.

Una nova se produce cuando una enana blanca absorbe hidrógeno de una estrella compañera. Este hidrógeno absorbido se acumula en la superficie de la enana blanca hasta que la presión a que está sometido es suficiente para desencadenar una reacción termonuclear. En 2014 se han captado las primeras imágenes de una explosión de este tipo en una nova situada a unos 14.800 años-luz de la Tierra. Esto ha permitido seguir la evolución de la bola de fuego que se expande a una velocidad de más de 600 km/s.

#### FÍSICA DE ALTAS ENERGÍAS

El modelo estándar de la física de partículas contempla la existencia de bariones constituidos por 3 quarks y mesones constituidos por un quark y un antiquark. No obstante, se había propuesto también la existencia de mesones constituidos por cuatro quarks, aunque no se había encontrado ninguno hasta la fecha. En 2014 se ha detectado en el LHC una nueva partícula Z(4430) que

parece ser una fuerte evidencia de una partícula tetraquark.

Asimismo, en el acelerador COSY (Cooler Synchrotron) en Julich se ha detectado un dibarión constituido por 6 quarks. Todavía no está claro si estos quarks forman una única entidad compacta o si se trata de una “molécula hadrónica” con una energía de enlace enormemente mayor que las energías de enlace nucleares.

También en un experimento LHCb en el CERN se ha descubierto un nuevo tipo de mesón,  $D_{s3}^*(2860)$ , compuesto por un quark extraño y un antiquark encanto, y con un espín 3. Debido a estas características, esta partícula resulta ideal para una mejor comprensión de las interacciones fuertes.

Un análisis combinado de medidas llevadas a cabo en el Tevatrón y en el LHC ha dado como resultado una masa del quark top de 173,34 GeV con una incertidumbre total de 0,76 GeV. Ésta es la partícula más masiva del modelo estándar (su masa es aproximadamente igual a la de un átomo de wolframio) y su medida es importante para fijar con precisión algunos parámetros del modelo.

En 2010 un equipo ruso-norteamericano en Dubna anunció que había detectado un elemento de número atómico 117. En 2014 este elemento ha vuelto a ser creado y detectado en el acelerador de iones pesados en Darmstadt. Provisionalmente llamado ununseptium, el elemento espera ser reconocido oficialmente por la IUPAC como miembro de la tabla periódica.

## CIENCIA DE MATERIALES

El grafeno sigue siendo protagonista de muchos avances en ciencia de materiales. Así, investigadores chinos han encontrado que arrastrando gotas de agua salada sobre superficies de grafeno se genera un pequeño voltaje entre los extremos de las gotas. El voltaje es proporcional a la velocidad de arrastre y también al número de gotas del mismo tamaño arrastradas. Al parecer los electrones se desorben del grafeno en un extremo de la gota y se absorben en el otro. Dejando resbalar gotas de cloruro de cobre sobre una superficie de grafeno inclinada obtienen voltajes de 30 mV.

Las membranas de óxido de grafeno en aire son impermeables a gases y vapores. Sí son permeables a protones, por lo que en su día se sugirió que podrían ser utilizadas para separar el hidrógeno del aire. Ahora se ha encontrado que tales membranas inmersas en agua se

comportan de un modo ligeramente diferente y actúan como cribas perfectas para moléculas o iones de un diámetro superior a 9 Å. Esto las hace perfectas para filtrado y desalación de agua.

También a partir de óxido de grafeno se han elaborado fibras que podrían tener grandes aplicaciones en tejidos inteligentes que incorporan componentes electrónicos y que reaccionan a cambios en el ambiente.

Aunque la capacidad de absorción de luz de una lámina de grafeno es muy pequeña, se ha construido un fotodetector que abarca todo el espectro infrarrojo, a diferencia de los construidos con semiconductores. Consta de dos láminas de grafeno separadas por una estrecha barrera que se puede atravesar por efecto túnel.

El grafeno es muy buen conductor de la electricidad gracias a la estructura de sus bandas electrónicas que no presentan ningún gap. No obstante había problemas para construir nanocintas conductoras de grafeno sin que los defectos de la red redujesen la conductividad. Ahora se han obtenido nanocintas de grafeno con una conductividad mucho mayor de la esperada. Las nanocintas se crecen sobre carburo de silicio que luego se evapora. Los electrones se mueven por los bordes en “transporte balístico”, como la luz se mueve en una fibra óptica.

Por otra parte, la ausencia de gap en el grafeno es un inconveniente a la hora de utilizarlo en dispositivos que requieren propiedades semiconductoras. Pero en 2014 los propios Geim y Novoselov, los “padres” del grafeno, han encontrado una manera de crear gaps en las bandas del material y hacerlo semiconductor. Consiste en crecer el grafeno en un sustrato hexagonal (de nitruro de boro) de modo que la distancia entre átomos de carbono aumenta ligeramente. El tamaño del gap depende de la falta de alineamiento entre las dos redes.

Pero si se requieren semiconductores, lo más práctico sería partir del fósforo que es un semiconductor natural. Así se han obtenido por primera vez láminas de fósforo por exfoliación, tal como sucedió con el grafeno. El fosforeno, como ha sido bautizado, podría ser un material ideal para construir circuitos digitales.

Investigadores británicos han construido un cristal fotónico que puede reconfigurarse en centésimas de segundo. El cristal está formado por minúsculas esferas de poliestireno ordenadas suspendidas en agua y dispuestas en una red cúbica creada por ultrasonidos. El espaciado de esta red determina las propiedades para la conduc-

ción del sonido. De este modo han encontrado incluso índices de refracción sonora negativos.

Es sabido que un cuerpo negro es un cuerpo ideal que absorbe toda la radiación que recibe. El ejemplo estándar de superficie negra era una abertura en una cavidad con las paredes recubiertas por negro de humo. Ahora una empresa británica ha producido el Vantablack, un material que absorbe el 99,965% de la luz visible. El material está formado por nanotubos de carbono crecidos sobre una lámina de aluminio.

Capas ultrafinas de nanotubos de silicio permiten manipular arbitrariamente la fase de las ondas electromagnéticas y con ello su trayectoria. Acumulando estas capas con técnicas similares a la litografía podrían construirse lentes que curvan la luz de formas imposibles con lentes convencionales.

En 1985 se descubrieron los fullerenos o buckybolos de carbono constituidas por 60 átomos de carbono dispuestos en una estructura casi esférica, similar a un balón de fútbol con caras pentagonales y hexagonales. Modelos teóricos predecían que podrían obtenerse estructuras similares con átomos de boro, el elemento que precede al carbono en la tabla periódica. Ahora se han encontrado tales borosferenos constituidos por 40 átomos de boro aunque con formas algo más irregulares que las de los fullerenos. Uno de sus posibles usos sería el almacenamiento de hidrógeno.

Para formar un compuesto químico los átomos comparten, ganan o ceden electrones. Hasta ahora se pensaba que el número máximo de electrones que un átomo podía ceder, su llamado estado de oxidación, era 8. Ahora se ha encontrado que el iridio puede ceder hasta 9 electrones.

La superconductividad convencional se explica por la teoría BCS: pares de Cooper formados por interacción electrón-fonón. Los modelos teóricos predecían un límite máximo de 40 K para esta superconductividad. En 1986 se observó en óxidos metálicos con tierras raras superconductividad a temperaturas mucho mayores, de hasta 160 K. Pero a finales de 2014 un equipo alemán anunció que había detectado superconductividad en sulfuro de hidrógeno a 190 K, la temperatura más alta registrada hasta ahora. La pega es que el material debe ser sometido a una presión de unos 150 gigapascuales, aproximadamente la mitad de la presión estimada en el centro de la Tierra. Parece ser que se trata de superconductividad convencional (BCS), pero para confirmarlo se

están realizando nuevos estudios que detecten la presencia de efecto Meissner, propio de estos superconductores.

## FÍSICA FUNDAMENTAL

El principio de equivalencia, es decir, la igualdad de las masas inerte y gravitatoria, implica que dos masas cualesquiera caen con la misma aceleración en un campo gravitatorio. Dos nuevas pruebas del principio de equivalencia se han realizado con átomos. En una de ellas se ha medido en un interferómetro de ondas de materia las aceleraciones de átomos de rubidio y de potasio en caída libre. La masa del rubidio es más del doble de la del potasio pero las aceleraciones difieren en menos de una parte en 107. En otro experimento se ha obtenido un resultado similar en la medida de las aceleraciones de isótopos de estroncio-87 y estroncio-88. El interés en este caso es comparar un fermión con un bosón para descartar cualquier posible acoplo del espín con la gravedad.

Un nuevo experimento ha confirmado la dilatación temporal que predice la relatividad especial con una exactitud sin precedentes. Para ello se comparan las transiciones entre niveles electrónicos en un átomo de litio en reposo y en un átomo a una velocidad de un tercio de la velocidad de la luz.

Desde que en 1957 se descubrió que las interacciones débiles violaban la paridad algunos científicos propusieron que esta violación podría ser responsable de la asimetría quiral en muchas moléculas orgánicas con un papel importante en los seres vivos. Según esto, la helicidad negativa de los electrones “zurdos” que resultan de la desintegración beta se reflejaría en los fotones generados en estos procesos que a su vez tendrían un mayor efecto destructivo sobre moléculas de una quiralidad que sobre moléculas de quiralidad opuesta. Sin embargo, nunca se había encontrado un proceso químico que mostrara esta asimetría. Ahora se ha encontrado un proceso semejante: la actuación de electrones sobre moléculas de bromocanfor. No obstante la asimetría es tan pequeña como 3 partes en 20000. Queda por probar la interacción de los electrones “zurdos” con moléculas más complejas tales como aminoácidos<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Aconsejamos a los interesados en este tema ver la colaboración del profesor Cristóbal Viedma en este mismo número de [100@uned](mailto:100@uned) (págs. 52-59).

## FÍSICA CUÁNTICA E INFORMACIÓN CUÁNTICA

Una de las sorprendentes predicciones de la mecánica cuántica es que una partícula puede seguir una trayectoria privada de alguna de sus propiedades, que sigue una trayectoria diferente. Este comportamiento se conoce como Gato de Cheshire cuántico en referencia al gato de *Alicia en el País de las Maravillas*, cuya sonrisa podía aparecer en ausencia del gato. Ahora se ha comprobado en un experimento que envía neutrones a través de un interferómetro construido en un cristal de silicio. Los autores concluyen: “los resultados sugieren que el sistema se comporta como si los neutrones siguiesen un camino del interferómetro y sus momentos magnéticos siguiesen el otro”.

Para obtener una imagen de un objeto hay que iluminarlo y luego detectar la luz dispersada o transmitida por el mismo. Por supuesto, la cámara que detecta debe ser sensible a la longitud de onda de la luz utilizada, y si esta luz debe ser de muy baja energía para no dañar el objeto, la poca sensibilidad de las cámaras al infrarrojo hace casi imposible obtener tales imágenes. Sin embargo se ha desarrollado un método para obtener imágenes de un objeto a partir de una luz que nunca interacciona con el mismo. El método se basa en la creación de fotones entrelazados. El objeto a “fotografiar” se coloca entre dos cristales no lineales. Cuando se iluminan los cristales con un láser en cada uno de ellos se crea un par de fotones entrelazados. Cada par consta de un fotón rojo y un fotón infrarrojo. El fotón infrarrojo procedente de un cristal atraviesa el objeto y se combina con los fotones infrarrojos del otro cristal. Sin embargo, debido al entrelazamiento la información sobre el objeto ha sido ahora transferida a los fotones rojos que nunca han tocado el objeto. A partir de los fotones rojos de ambos cristales se puede obtener la imagen del objeto.

La compresión de información almacenada en bits clásicos es relativamente simple pues basta con registrar los cambios en una secuencia de 0s y 1s. Esto permite reducir de manera notable los recursos de memoria en un computador clásico. Por el contrario, la compresión de información almacenada en qubits es mucho más difícil pues cualquier intento de manipular un qubit alteraría la información. Ahora se ha conseguido por primera vez comprimir en dos qubits la información contenida en tres. Esto se ha hecho con qubits fotónicos. Se confía en que pueda conseguirse una compresión

mucho mayor en otro tipo de qubits como los realizados en iones atrapados.

El problema de Simon consiste en descubrir si una sucesión binaria tiene un periodo. Mientras que un algoritmo clásico necesitaría para resolverlo un tiempo que varía de forma exponencial con el tamaño de la sucesión, Daniel Simon propuso en 1994 un algoritmo cuántico que solo necesitaba un tiempo de ejecución proporcional a la longitud. Ahora se ha implementado por primera vez una versión simple de este algoritmo en un computador con seis qubits.

## ACÚSTICA

Las técnicas de levitación acústica permiten mantener pequeñas partículas suspendidas en los nodos de una onda estacionaria ultrasónica. Normalmente la onda ultrasónica se generaba en la dirección del campo gravitatorio pero ahora estas técnicas se han mejorado de modo que las partículas pueden ser movidas arbitrariamente en tres dimensiones. No obstante estas partículas deben ser muy pequeñas, del orden de 1 mm, minúsculas para que puedan alojarse en los nodos de la onda.

Pero también se ha desarrollado un “tractor acústico” que puede tirar de objetos de un tamaño mucho mayor, similar al de pelotas de ping pong. El aparato consiste en una red cuadrada de unos mil emisores de ultrasonidos colocados en el fondo de una cámara llena de agua. Para tirar de los objetos el aparato crea zonas de baja presión delante de ellos.

## VARIOS

Obtener pulsos fotónicos a demanda es importante para su utilización en comunicaciones cuánticas o en examen de materiales. También es muy difícil debido a la naturaleza bosónica de los fotones, que da lugar a su agrupamiento o “bunching”. Se ha ideado un sistema para obtener pulsos coherentes de fotones de rayos gamma. Los fotones proceden de desintegraciones de cobalto 57 para dar hierro 57. Los fotones son absorbidos y reemitidos por los núcleos de átomos de hierro en una lámina de acero inoxidable. Haciendo vibrar la lámina de la manera adecuada se puede cambiar la forma, número y duración de los pulsos.

La unión de la nanotecnología y la biología vegetal está dando lugar a un nuevo campo de estudio, la nanobiónica. Así se ha comprobado que colocando nanotubos de carbono en las hojas de las plantas se puede aumentar

hasta en un 30% la energía solar capturada. También se ha comprobado que nanotubos combinados con nanopartículas de polímeros que contienen cerio pueden aumentar la actividad fotosintética. Entre las posibles aplicaciones se encuentran los detectores bioquímicos de contaminantes o incluso nuevas tecnologías para mejorar el rendimiento de las cosechas o la producción de biocombustibles.

Los rayos bola constituyen uno de los fenómenos naturales más extraños y controvertidos. Las informaciones respecto a su forma, movimiento y duración son

confusas y en muchos casos contradictorias. Hace dos años, investigadores chinos que estudiaban los rayos ordinarios con cámaras de alta velocidad tuvieron la suerte de captar lo que parecía ser un rayo bola tras la caída de un rayo ordinario. El posterior análisis espectral mostró líneas claras de silicio, hierro y calcio, lo que apoya la idea de que el rayo bola se debe a la combustión en el aire de elementos arrancados del suelo.

J. Javier García Sanz  
*Dpto. de Física Fundamental*