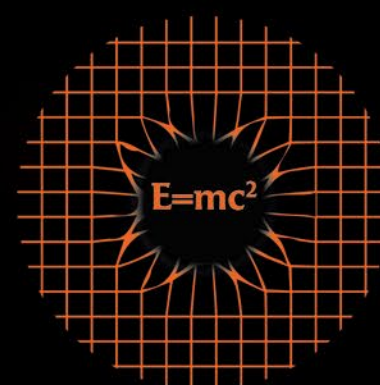
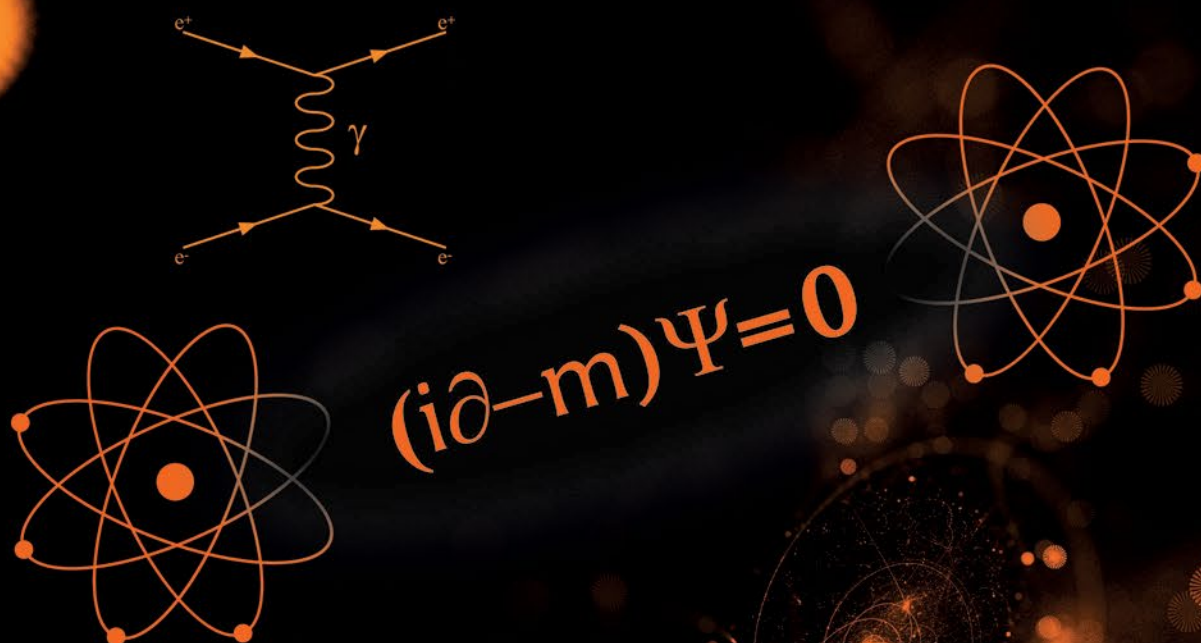




Jarocho Físico Cuántico

Estimados lectores de *El Jarocho Cuántico*, sólo por esta ocasión, nos vamos a tomar la libertad de añadirle la palabra “físico” al nombre de nuestro suplemento de divulgación de la ciencia, ustedes se preguntarán por qué; para contestarles el porqué de esta ocurrencia, permítanos invitarlos a un breve tour a través de la ciencia que establece las leyes que explican los fenómenos naturales, la física.

La física, queridos jarocho, es un esfuerzo por comprender la naturaleza utilizando un puñado de leyes, principios de conservación y mucha imaginación. Su relevancia es muy grande, hoy en día está presente en prácticamente todo. Sin embargo, debemos

admitir —con bastante pena— que nuestra disciplina es tachada de ser muy complicada, citando a muchos: “la física es solo para cerebritos”. Déjenos decirles que esto no es así, el secreto para salir bien librados y agarrarle cariño, es desarrollar “intuición física”; si lo consiguen, van a notar que, detrás de la explicación de un sin fin de fenómenos diferentes que ocurren en la naturaleza están presentes siempre las mismas reglas del juego.

Todos los autores hemos asumido un reto común, sacrificar rigor en aras de transmitirles nuestra pasión por la física. De tal forma que, si deciden acompañarnos a lo largo de las líneas de este suplemento, les prometemos que van a ser seducidos por temas muy

interesantes —algunos de ellos de frontera— que van desde la mecánica cuántica, pasando por la termodinámica, la óptica y el electromagnetismo, hasta explorar las diferentes ventanas que nos ofrece la astronomía. Como recompensa, al final de nuestro tour descubrirán que, como Carl Sagan decía: *la física es el medio que tiene el universo para intentar conocerse así mismo*.

Siéntanse libres pues, de degustar este coctel de conocimiento, cuya meta principal es acercarlos a la ciencia y alejarlos de ese pensamiento mágico y manipulador que no les permite gozar plenamente de su libertad, la charlatanería.

Joel Mendoza-Temis

¿Qué es la segunda revolución cuántica?

► Juan Mauricio Torres*

Desde finales del siglo pasado hemos sido testigos de impresionantes avances tecnológicos relacionados con las computadoras y el Internet, que son producto de la llamada revolución digital. Una nueva revolución tecnológica se avecina y está basada en conceptos de mecánica cuántica, una rama de la física que ha brindado nuevas reglas para describir fenómenos naturales y por tanto nuevas herramientas para resolver problemas. Algunos de estos conceptos y problemas serán brevemente expuestos a continuación.

Mecánica cuántica

Es la teoría física que describe los fenómenos a escalas atómicas y subatómicas. A este nivel las reglas del juego cambian. En nuestra vida diaria no lo notamos porque el tamaño de una persona es alrededor de 10 mil millones de veces más grande que el tamaño de un átomo. Sin embargo, desde el siglo antepasado los científicos se dieron cuenta, que las leyes de la física clásica, aquellas que permiten levantar edificios sin que se derrumben, no son suficientes para describir los fenómenos que se observan con la luz y la materia a nivel atómico. Se necesitan otros conceptos como la dualidad onda partícula, la cual establece que la luz y la materia pueden tener un comportamiento tanto de onda como de partícula. Esta notable propiedad es parte fundamental de la teoría cuántica que ha propiciado impresionantes desarrollos tecnológicos.

Primera revolución cuántica

Uno de los grandes logros de la mecánica cuántica fue la explicación del carácter ondulatorio de los electrones en semiconductores, que son materiales cuyas propiedades de conducción eléctrica pueden ser modificadas. Con ellos se construyen los circuitos integrados o *chips* de las computadoras y teléfonos móviles que utilizamos desde finales del siglo pasado. Es decir, fue gracias a la teoría cuántica que se pudieron construir los cerebros de las computadoras que han cambiado radicalmente la forma en que nos comunicamos y trabajamos hoy en día. Éste es un ejemplo de

los avances tecnológicos de la primera revolución cuántica, que fueron logrados esencialmente con el concepto y consecuencias de la dualidad onda-partícula.

Segunda revolución cuántica

El desarrollo de la teoría y las técnicas experimentales han madurado a tal grado que hoy en día se tienen experimentos controlados hasta con un solo átomo y fotones individuales. Se han puesto a prueba las predicciones teóricas y se ha profundizado en el entendimiento de las propiedades del mundo cuántico. Una de ellas es el principio de superposición, que permite a una partícula cuántica estar en dos o más estados al mismo tiempo. Otra propiedad es el entrelazamiento, que correlaciona dos partículas cuánticas. Esta correlación implica que las mediciones sobre una partícula afectan el estado de la otra incluso si se encuentran separadas a gran distancia. El control sobre estas características netamente cuánticas permite pasar de entender y atestiguar los fenómenos a poder diseñar sistemas cuánticos para fines prácticos. Tecnologías basadas en este nuevo esquema de pensamiento forman parte de la verdadera segunda revolución cuántica.

Computación cuántica

Las propiedades cuánticas, superposición y entrelazamiento, han sido pieza clave en el desarrollo de nuevos algoritmos computacionales. Tal es el caso del algoritmo introducido por Peter Shor en 1994, el cual permite encontrar los factores primos de un número entero. El problema es sencillo para números pequeños, por ejemplo, los factores primos de quince son tres y cinco. Sin embargo, cuando los números son muy grandes el problema se vuelve tan demandante, que resulta imposible de resolver con computadoras convencionales. Esta dificultad, es el secreto detrás de la seguridad electrónica de nuestras claves bancarias o contraseñas de Facebook en Internet. Se basa en que es muy fácil multiplicar números primos, pero es virtualmente imposible encontrar los factores primos de un número muy grande. Entonces, ¿la tecnología cuántica pondría en riesgo nuestras claves electrónicas? Con los

métodos de seguridad clásicos, la respuesta es sí. No obstante, dentro de la futura revolución cuántica se incluyen también otras disciplinas donde se han introducido esquemas cuánticos de criptografía que superarán la seguridad electrónica que tenemos actualmente.

Supremacía cuántica

En octubre del año pasado, Google anunció haber alcanzado la supremacía cuántica, lo cual significa resolver con procesamiento cuántico algún problema imposible de resolver para una computadora clásica. Posteriormente, IBM declaró que el límite aún no había sido alcanzado, pues la tarea propuesta por Google podría ser resuelta por computadoras clásicas en menos de tres días con programas optimizados adecuadamente. En todo caso, el resultado de Google es impresionante y nos indica que estamos en la antesala de un acontecimiento tecnológico de suma importancia.

Conclusión

Las aplicaciones aún no las podemos ver en la vida común, pero cada día se tienen avances importantes en tecnologías cuánticas. Aquí se han expuesto brevemente conceptos relacionados con tareas informáticas. Sin embargo, esta revolución tecnológica tiene alcances mucho mayores e incluye áreas de estudio como la metrología, sensores, comunicación, entre otros. Por tanto, es de esperarse una oleada de técnicas especializadas con el apellido cuántico, que seguramente tendrán influencia positiva y significativa en nuestro entendimiento del universo y en nuestra vida cotidiana.

*Instituto de Física, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
jmtorres@ifuap.buap.mx

Referencias

1. J.P. Dowling and G.J. Milburn, Quantum technology: the second quantum revolution, *Phil. Trans. R. Soc. A* 361, 1655 (2003)
2. F. Arute et al., Quantum supremacy using a programmable superconducting processor, *Nature (London)* 574, 505 (2019)
3. E. Pednault, et al., On “Quantum Supremacy”, IBM Research Blog, www.ibm.com/blogs/research/2019/10/on-quantum-supremacy/

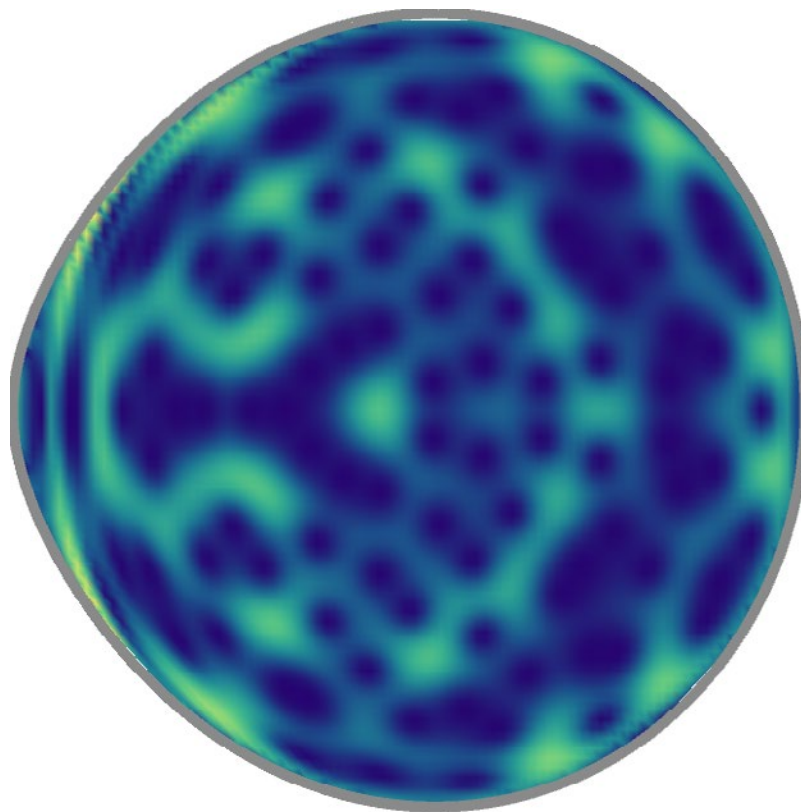
Director: Tulio Moreno Alvarado / Subdirector: Leopoldo Gavito Nanson / Coordinador: Manuel Martínez Morales / Edición: Moxel Alberto Pola Sánchez / Corrección: José Armando Preciado Vargas

Comité Editorial: Lilia América Albert Palacios, Lorenzo M. Bozada Robles, Isela Pacheco Cabrera, Adalberto Tejeda Martínez, Beatriz Torres Beristain, Georgina Vidriales Chan

Correspondencia y colaboraciones: eljarochocuantico@gmail.com • [Facebook.com/ElJarochoCuántico](https://www.facebook.com/ElJarochoCuántico) • [Twitter: @jarochocuantico](https://twitter.com/jarochocuantico)

Caos en el mundo cuántico

► Sergio Lerma Hernández*



Representación de un estado cuántico en una región de energía caótica, mostrando sus llamadas cicatrices cuánticas. Foto: Baldemar López-del-Carpio (egresado de la Maestría en Física de la UV)

El caos en la Física Clásica

Una de las características de la ciencia es su capacidad predictiva. A partir de sus principios y métodos podemos anticipar lo que ocurrirá y aprovechar ese conocimiento para desarrollar nuevas tecnologías. Un paradigma en el avance de la ciencia es la llamada mecánica clásica, cuya mayor síntesis vino en el siglo XVII con las famosas tres leyes de Newton. Una importante suposición de la mecánica Newtoniana o clásica es que las posiciones y velocidades de un sistema físico poseen valores perfectamente definidos a cada instante. En principio, a partir del conocimiento de estas velocidades y posiciones en un instante dado, se puede predecir lo que ocurrirá con el sistema físico en cualquier tiempo posterior. Sin embargo, nuestra capacidad predictiva está fuertemente limitada debido al Caos. La mayoría de los sistemas físicos son caóticos, lo que significa que son extremadamente sensibles a los valores iniciales, es decir un pequeño error en la determinación de los valores de las velocidades y posiciones iniciales producirá resultados muy distintos. Este error puede venir de un conocimiento insuficiente de las condiciones iniciales o de un redondeo en los cálculos. Por ejemplo, si en una computadora realizamos la operación 1 entre 3, obtendremos 0.3333... La secuencia de dígitos 3 a la derecha del punto decimal debe ser infinita, pero las capacidades finitas de la computadora obligan a cortar esta secuencia, de manera que obtenemos un número muy cercano, pero no exactamente, a un tercio. Este tipo de errores que son inevitables

en el estudio de sistemas caóticos, limitan nuestra capacidad predictiva. Podremos predecir el comportamiento de un sistema pero sólo hasta un cierto tiempo que depende de la capacidad que tienen nuestras computadoras para manejar la precisión de los números. A mayor precisión, nuestra ventana predictiva aumentará.

La mecánica cuántica

A finales del siglo XIX parecía que la Física había alcanzado su cúspide y determinado los principios fundamentales con los cuales podrían explicarse todos los fenómenos naturales. Le restaba entonces simplemente aplicar estos principios a los diversos fenómenos naturales y su tarea estaría acabada. Esto fue una falsa expectativa. Ciertos fenómenos no lograban encajarse en la física clásica. Uno de ellos es la luz emitida por un gas cuando lo atraviesa una corriente eléctrica. A finales del siglo XIX se sabía que esta luz estaba formada por unos cuantos colores, característicos de cada elemento químico que constituyen al gas. Desde la física clásica no había explicación para esto y hubo que esperar al desarrollo de la mecánica cuántica para explicar este y otros fenómenos. Es notable, sin embargo, que, de los distintos elementos químicos, solamente los colores de la luz emitida por el gas de hidrógeno podían explicarse a detalle desde la teoría cuántica. Esto fue así porque, de todos los elementos, el hidrógeno es el que tiene los átomos más simples, los cuales están formados por un sólo electrón orbitando alrededor de un protón. El espectro de luz emitido por el siguiente elemento en la tabla periódica, el helio, cuyos átomos están formados por dos electrones orbitando alrededor del núcleo atómico, resultó, en los albores de la mecánica cuántica, un problema imposible de resolver incluso para las mentes más brillantes de la época como Einstein, Heisenberg y Bohr.

Caos en mecánica cuántica

La razón que impidió deducir desde la mecánica cuántica el espectro de emisión del helio fue el caos. El problema de dos electrones con carga negativa girando alrededor de un núcleo con doble carga positiva es matemáticamente idéntico al de dos planetas orbitando alrededor de una pesada estrella. Desde finales del siglo XIX, el matemático francés Poincaré tenía claro

que el problema gravitatorio de tres cuerpos es muchísimo más complicado que el de dos cuerpos. Un sistema de tres cuerpos es caótico y su estudio requiere de intensos cálculos numéricos que fueron posibles hasta la segunda mitad del siglo XX con el desarrollo de las computadoras. La popularización de esta herramienta computacional permitió grandes avances en el entendimiento del caos. Así, fue hasta la década de los 80 y 90 del siglo XX que se logró explicar desde la teoría cuántica las líneas de emisión luminosa del átomo de helio.

La manera en que el caos se manifiesta a nivel cuántico continúa siendo de interés para muchos físicos y aún hoy continúa provocando numerosos debates y estudios. El llamado caos cuántico está en el centro de otros importantes asuntos, como el de la interpretación de la mecánica cuántica y sus contraintuitivos resultados, así como en entender dónde está la frontera entre la física cuántica del mundo atómico y la física clásica de nuestro día a día. Adicionalmente, el desarrollo de nuevas tecnologías, como las computadoras cuánticas, requiere un entendimiento profundo y detallado de la manera en que evolucionan los sistemas cuánticos, incluyendo aquellos que son caóticos.

La Facultad de Física de la Universidad Veracruzana (FF-UV)

En la FF-UV, se contribuye al debate anterior a través de investigación teórica y numérica, realizada en colaboración con colegas de otras instituciones y con la participación de estudiantes de licenciatura y posgrado tanto de la UV como de otras universidades. Nuestro interés ha girado en torno a modelos cuánticos que son suficientemente simples como para permitir identificar en detalle las manifestaciones cuánticas del caos, en particular en el rol que juega éste en el proceso que sigue un estado cuántico para alcanzar un estado de equilibrio. Estos modelos son realizables experimentalmente y nos han permitido identificar mecanismos que, a pesar de ser derivados en modelos simples, tienen aplicabilidad general en los sistemas cuánticos caóticos.

Facultad de Física,
Universidad Veracruzana
slerma@uv.mx

El Jarocho a la décima potencia

FÍSICA-MENTE

Cómo un controlado sismo
al calor del movimiento,
desarrolla el pensamiento
eléctrico magnetismo,
la Vía Láctea es un abismo
por estrellas relleno,
Y con el ojo cuadrado
los átomos del papel,
ofrecen este cóctel
de Física sazonado.

Mauro Domínguez Medina

Hablar de los conceptos de energía y entropía es relativamente sencillo, no porque lo hayamos entendido del todo, pero es bastante común que lo aprendamos en las aulas, debo enfatizar aquí que entender y aprender son dos cosas distintas. Por ejemplo, ayer aprendí cómo grabar un video y posteriormente reproducirlo en sentido inverso, pero no entiendo exactamente cómo funciona la aplicación que lo hace. Algo así sucede con muchos conceptos que aprendemos, pero no es hasta que experimentamos con ello que empezamos a entender realmente su importancia. Aunque es difícil tener acceso a un laboratorio todos los días podemos entrar a uno de los mejores y lo tenemos en casa, así es, me refiero a la cocina.

Viendo los videos correr en sentido contrario me llamó mucho la atención que, comparado con las cosas que ocurren en la dirección normal, muchas de ellas se ven raras o curiosas y algunas hasta imposibles de que ocurran en la realidad. Para ilustrarlo, les sugiero realizar los siguientes experimentos con el uso de materiales y equipo que podemos encontrar en nuestra propia cocina como es sal, azúcar, flor de jamaica, aceite, jabón, agua, refrigerador y horno de microondas o estufa. Debo recordar aquí que si eres pequeño busques el apoyo y la autorización de una persona mayor. Dicho lo anterior empecemos.

Basado en tus experiencias intenta predecir qué es lo que pasará y escríbelo en una hoja antes de hacer los siguientes experimentos, posteriormente compara tu respuesta con lo que observaste después de llevar a cabo las experiencias. Si tu predicción no concuerda ¡genial!, estamos a punto de aprender algo nuevo y es el momento indicado para buscar una buena explicación.

Primer experimento (agua de jamaica)

Toma dos vasos y llénalos de agua simple uno colócalo dentro del refrigerador y déjalo ahí por un par de horas, pero no dentro de la nevera, posteriormente coloca el otro vaso dentro del horno de microondas o estufa y pon a calentar el agua un par de minutos. Saca los dos vasos y ponlos sobre una mesa donde puedas verlos de frente.

Deja caer en cada vaso algunas flores de jamaica, ¿qué es lo que sucede en cada uno de los vasos?

Graba un video con tu teléfono ce-

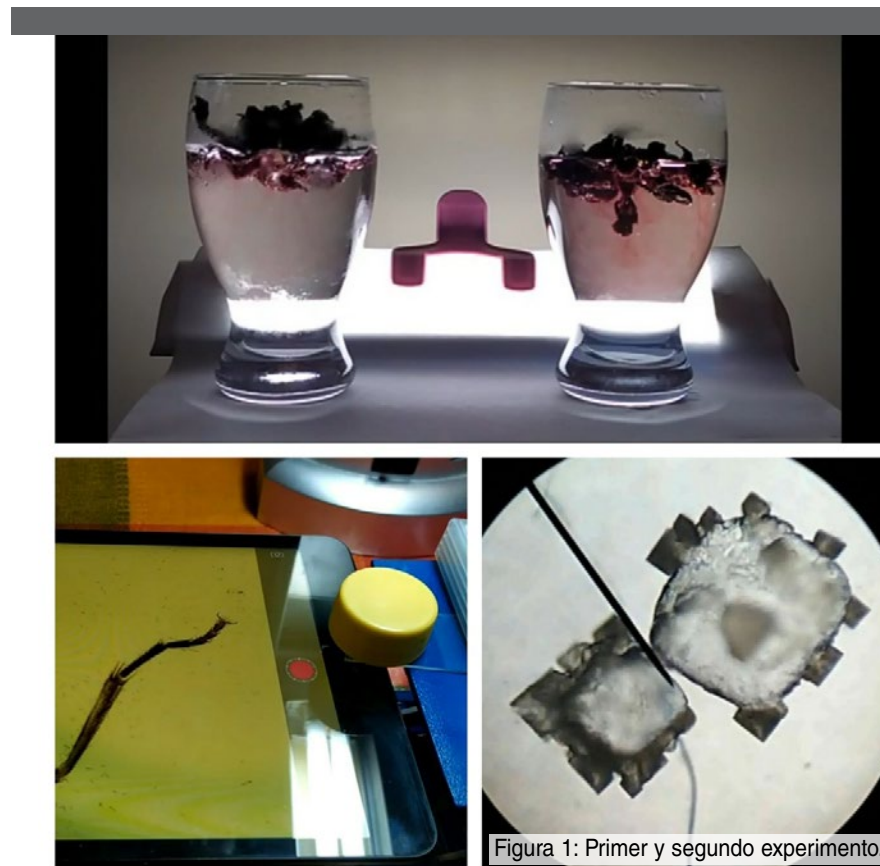


Figura 1: Primer y segundo experimento.

lular, para observar el fenómeno muchas veces tanto en la dirección normal como en sentido contrario. ¿Será posible que ocurra de manera natural lo que observamos en el video visto en sentido contrario? Es decir, que el colorante del agua de jamaica que se ha caído y difundido regrese a su posición original.

Explicación

Si la diferencia de temperaturas es lo suficientemente grande observarás que el colorante tardará más tiempo en difundirse en el agua fría, comparando con el agua caliente. Pero de cualquier forma no es posible que el sistema regrese a su posición original. ¿A qué se debe esto? La entropía juega un papel fundamental en estas experiencias. La manera en que el colorante se ha difundido dentro de los vasos es tan intrincada y los caminos que han seguido las partículas del colorante tan largas que difícilmente podríamos pensar que pudieran seguir todas las direcciones originales, pero en sentido inverso. En otras palabras, ha ocurrido un fenómeno irreversible que se caracteriza por producir entropía, lo cual a los sistemas termodinámicos les gusta mucho y proceden generalmente de esta forma. Sin embargo, una vez generada la entropía

disminuirla de manera natural es bastante difícil, por lo que a los sistemas en la naturaleza generalmente les gustan los estados de mayor entropía. Esto ocurre con la contaminación tanto del agua como del aire y desafortunadamente no se puede correr la película en sentido contrario para limpiar el agua y aire de contaminantes.

Segundo experimento (cristalización)

Construcción de un “microscopio portable”: Con ayuda de un gotero pon una gotita de agua sobre la cámara frontal de tu teléfono celular o tableta.

En un portaobjetos coloca otra gota de agua y añade granitos de sal hasta que se disuelvan completamente. Pon el portaobjetos sobre tu “microscopio portable” y cúbrelo con un tapa rosca (ver panel inferior izquierdo en la figura 1).

Una vez que se haya saturado el agua con sal, espera hasta que por evaporación empiecen a aparecer nuevos granitos de sal, graba un video. De ser necesario, añade otra gotita de agua para usarla como lente.

Repite el experimento, pero esta vez usando granitos de azúcar. Compara tus resultados, ¿existe alguna diferencia?, si es así, ¿a qué crees que se deba?

Explicación

Notarán que los tamaños y las formas en los cristales de sal son diferentes a los de azúcar, esto se debe a que la sal está compuesta únicamente por iones de sodio (Na^+) con carga positiva y cloro (Cl^-) con carga negativa, en tanto que el azúcar está formada por una molécula más compleja, lo cual,

dificulta su proceso de cristalización por el número de formas en que pueden acomodarse sus constituyentes, esto también está relacionado con la entropía.

Tercer experimento (Preparación de una emulsión)

Usando un poco de agua en un vaso, añade unas gotas de aceite e intenta mezclar con una cucharita, observarás que después de un rato las gotitas de aceite coalescen y se separan del agua.

Agrega una gotita muy pequeña de jabón lava trastes y vuelve a mezclar. Observarás que el agua se torna blanca, pero el aceite ahora ya no se separa. ¿Qué fue lo que ocurrió?

Toma una gotita de esa agua blanca y obsérvala con tu “microscopio portable”, observarás que en esa gotita existen millones de gotitas de aceite suspendidas en el agua, lo cual conforma una emulsión.

Si tienes acceso a un microscopio en tu escuela podrás apreciar el movimiento browniano usando un objetivo 40X o mayor. El movimiento browniano es un movimiento aleatorio, el cual es el resultado del choque entre las partículas y las moléculas del medio en el que se encuentran suspendidas.

Explicación

El jabón es un tensoactivo el cual tiene una parte hidrofóbica (i.e. no le gusta el agua) y otra hidrofílica (i.e. sí le gusta el agua) las cuales envuelven a las gotitas de aceite formando una capa con la cual dan estabilidad a las gotitas de aceite dejándolas en suspensión, por la agitación térmica de las moléculas de agua. Por ejemplo, la leche es una emulsión natural que tiene en suspensión grasas y otros nutrientes.

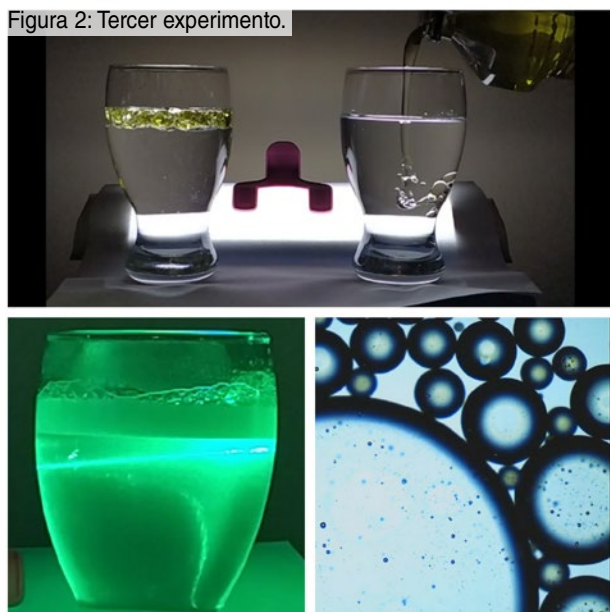
En el siguiente código QR podrás observar estas y muchas otras actividades

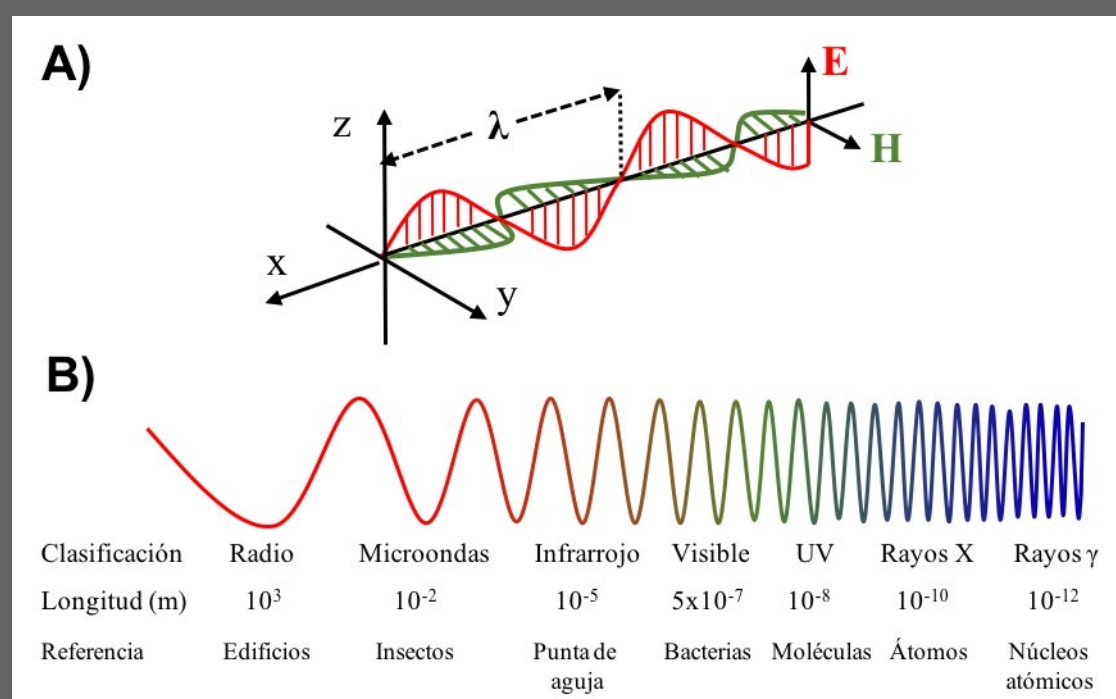


Esperamos que estos experimentos los ayuden a visualizar y entender conceptos del mundo de la termodinámica e introducirlos en el mundo de la microscopía, la cual usa conceptos de la ciencia básica donde coexisten tanto la química, biología, así como la física. ¡Hasta la próxima!

*Facultad de Física,
Universidad Veracruzana
adhuerta@uv.mx

Figura 2: Tercer experimento.





La visión y la vitamina A: Una relación íntima

► Marcelino Arciniega Castro*

Figura 1. A) Onda electromagnética. Los campos eléctrico E y magnético H oscilan de manera coordinada y periódica, la longitud de onda (λ) señala dicha periodicidad. B) Clasificación del Espectro electromagnético (descripción cualitativa).

La visión permite establecer un flujo de información entre un sujeto y su entorno, para conseguirlo hace uso de la luz. El ojo es el lugar donde la luz es transformada en una señal; este proceso recibe el nombre de fototransducción y la vitamina A tiene un papel protagónico. Es importante enfatizar que la fototransducción no constituye *per se* el proceso de visión, dado que es en el cerebro donde las señales son integradas e interpretadas como una imagen. Como habrán notado, sin la presencia de un impulso luminoso externo, la reconstrucción de imágenes del ambiente no tiene lugar; un claro ejemplo, son los sueños; durante los cuales, es posible “ver” imágenes, pero éstas no proporcionan información de lo que está ocurriendo en ese instante a nuestro alrededor.

La luz y el espectro electromagnético

La luz visible es —en términos más formales— una onda electromagnética (OEM) compuesta por dos campos oscilantes y perpendiculares a su dirección de propagación (ver fig. 1A), es ésta sincronía geométrica, la que permite clasificarlas de acuerdo a su longitud de onda o a su frecuencia (ver fig. 1B). En términos de su longitud de onda, las OEM abarcan desde varios miles de metros (ondas de radio) hasta dimensiones subatómicas (rayos gamma); en este contexto, la luz visible, compuesta por ondas con longitudes entre los 380 y 700 nm (un nanómetro, nm, es la millonésima parte de un milímetro), corresponde a un segmento muy pequeño dentro del amplio espectro electromagnético. Es importante enfatizar que a menor longitud de onda, mayor energía contenida en la OEM y viceversa. En consecuencia, podemos pensar en un conjunto de ondas de radio como “haces de luz” de muy baja energía. En contraste, una proposición similar podría ser establecida para los rayos X; “haces de luz” de alta energía.

El rol de la vitamina A

Si tanto las ondas de radio como los rayos X son en el fondo el mismo fenómeno que la luz visible, ¿Por qué no las podemos ver?. Pues bien, resulta que la longitud de onda, además

de estar asociada con la energía que posee la misma, también determina el tamaño de los objetos con los cuales puede intercambiar energía. En los animales, tanto vertebrados como invertebrados, una molécula de nombre “retinal” es la responsable de capturar la luz que incide en el ojo. Las OEM con longitudes de onda mayores a la luz visible no interactúan con el retinal, porque no proveen energía suficiente, aquellas con longitudes de onda menores pueden proveer tanta energía que dañan su estructura, consecuentemente, únicamente las OEM en el rango visible son capaces de interactuar adecuadamente con

ésta molécula. El retinal es una de las formas de la vitamina A y es incorporado al organismo en mediante la dieta (Fig. 2A). Por tanto, es recomendable ingerir alimentos como zanahoria y melón para tener una buena vista.

Configuraciones *cis* y *trans* del retinal

Desde el punto de vista estructural, el retinal es un isómero geométrico, ustedes se preguntarán ¿qué es eso?, la respuesta es, que el retinal es una molécula que posee dos configuraciones geométricamente distintas y altamente estables, las cuales, se definen a partir de un enlace covalente (unión química

entre dos átomos donde se comparten electrones) sobre el cual los átomos adheridos a los extremos rotan con respecto a un eje definido por el doble enlace (ver Fig. 2B). Si los átomos unidos a ambos extremos del doble enlace son equivalentes y se encuentran del mismo lado del eje de rotación, entonces se dice que la molécula se encuentra en configuración *cis*, en cambio, si los átomos equivalentes se encuentran en lados opuestos, se dice que la molécula está en configuración *trans*. Estas dos configuraciones son altamente estables debido a que la transición, de *trans* a *cis* o viceversa, no ocurre de manera espontánea; sino que es necesario suministrar una cantidad considerable de energía para lograrlo. Cuando esa energía proveída por un haz de luz incide en la retina del ojo animal, el proceso de transición es denominado fotoisomerización y se traduce en un cambio en la configuración del retinal, el cual pasa de ser una molécula capaz absorber la luz a una molécula más lineal, rígida y por ende energéticamente menos favorable (ver Fig. 2C).

Fototransducción y la visión

El proceso de fototransducción tiene lugar dentro de las células fotosensibles que conforman la retina. En estas células, el retinal se encuentra unido a unas proteínas llamadas opsinas. La fotoisomerización del retinal (descrita con anterioridad) es únicamente el paso inicial. El cambio conformacional inducido por la OEM desencadena una serie de reacciones y procesos fisicoquímicos dentro de la célula, los cuales culminan con el envío de una señal sináptica al cerebro a través del nervio óptico. Para darles una idea, una OEM activa solo a una molécula de retinal, pero en realidad son millones de OEM las que inciden; es en el cerebro donde se realiza la integración y procesamiento de todas estas señales para su interpretación como una imagen. Así de sorprendente es, queridos lectores, el proceso de visión.

*Instituto de Fisiología Celular,
Universidad Nacional
Autónoma de México
marciniega@ifc.unam.mx

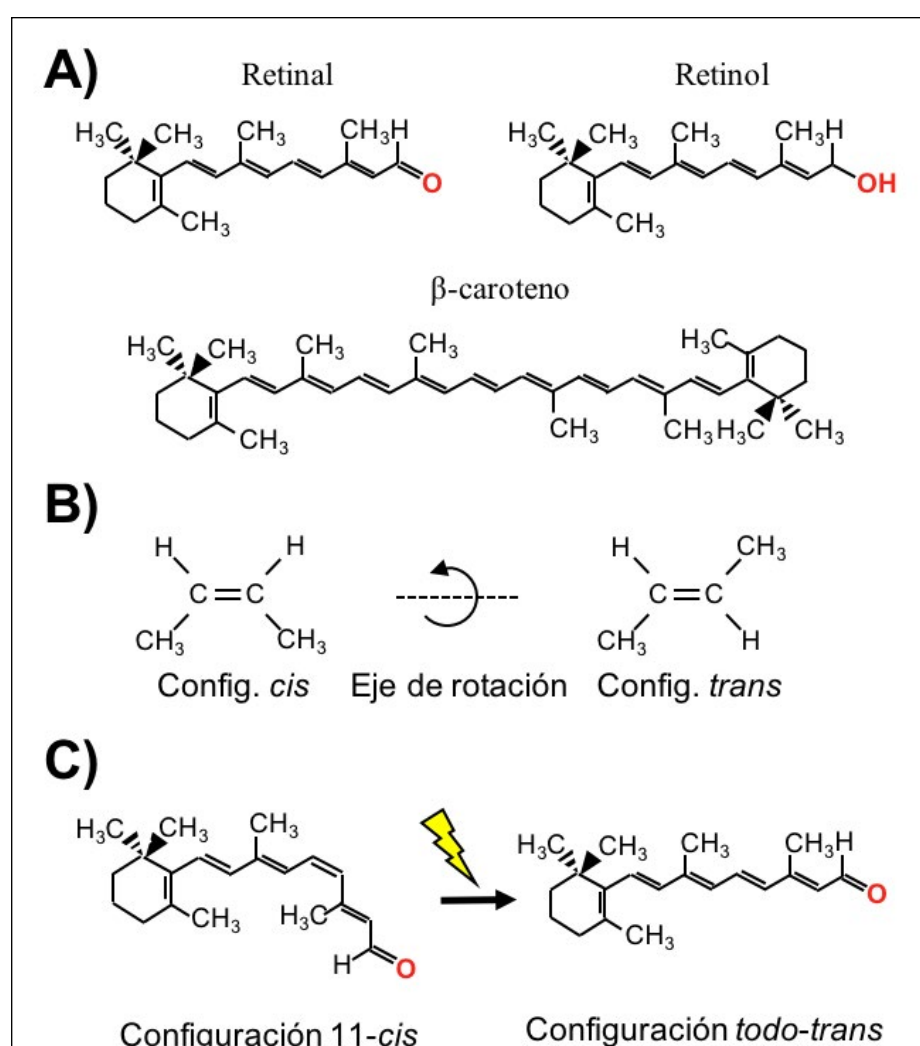


Figura 2. A) Diferentes formas de la vitamina A, el β-caroteno, precursor de la vitamina A, puede ser ingerido en alimentos como la zanahoria. B) Ejemplo de isómeros geométricos, el doble enlace define el eje de rotación. C) Fotoisomerización del retinal.



Figura 1. Descomposición de la luz blanca en los colores del arcoíris.

“Sobre **cielos azules** y **rojos atardeceres**”

► Adiv González Muñoz*

La vida en las ciudades, sobre todo en megalópolis como la Ciudad de México, nos ha robado el cielo. Por el día ya es normal verlo con un velo gris. Durante la noche, las intensas luces en las calles han opacado las estrellas. El crecimiento vertical de la ciudad ha hecho cada vez más difícil contemplar un amanecer o un atardecer. Para lo que la gente del campo es tan común, para los ciudadanos causa maravilla: un cielo azul, una noche estrellada, un amanecer o un atardecer. Voltear al cielo y preguntarse “¿por qué el cielo es azul?” ya es cada vez más raro. Una pregunta muy simple en su planteamiento, pero que le tomó a la humanidad miles de años responder.

La primera persona (de la que se tiene registro) que intentó dar una explicación del color del cielo fue Aristóteles. Lo que dijo, hace ya más de 2300 años, fue que el cielo es transparente a distancias cercanas y azul a distancias lejanas así como el agua parece transparente a poca profundidad pero se oscurece cuando esta aumenta. En lo que dijo hay algo de verdad. Lo podemos incluso ver cuando divisamos montañas lejanas: estas ya parecen tener un tono azulado. Sin embargo, esto no explica por qué es de ese color. Para ello, había que entender primero el fenómeno de la luz y cómo interactúa con el aire.

El secreto está en la luz

Fue hasta la revolución científica del siglo XVII cuando se iniciaron las discusiones modernas sobre qué es la luz. Por un lado, estaban los que proponían que la luz era un fenómeno ondulatorio que se propagaba en el espacio así como se propagan las ondas en el agua. Por el otro, estaban los que

proponían que la luz estaba compuesta por pequeñas partículas, corpúsculos. Del lado ondulatorio, el científico holandés Christiaan Huygens hizo toda una formulación matemática con la que podía explicar fenómenos de la luz como la reflexión, difracción y refracción. Además también propuso que a cada color le correspondía una diferente longitud de onda. Sin embargo, a Isaac Newton no le convencía que la luz fueran ondas ya que la luz viaja en línea recta mientras que las ondas pueden bordear obstáculos en su camino, así que apoyó la idea corpuscular de la luz. Dada su enorme influencia científica, esto hizo que la teoría ondulatoria perdiera popularidad.

Otro punto clave que dividía las opiniones sobre la luz era el fenómeno de la refracción. De acuerdo con la teoría ondulatoria, el cambio en la dirección de la luz se debía a que una onda reduce su velocidad al entrar en un medio más denso, por ejemplo, al pasar del aire al agua, mientras que la teoría corpuscular afirmaba que en realidad la velocidad de la luz aumentaba. Newton lo justificaba usando su propia teoría de gravedad: “la luz, al ser pequeñas partículas, sienten mayor atracción gravitacional en un medio más denso y por lo tanto se aceleran”. La medición experimental de la velocidad de la luz en distintos medios probaría que su idea era incorrecta, dándole la razón a la teoría ondulatoria.

En la segunda mitad del siglo XIX, James Clerk Maxwell, al crear su teoría para describir fenómenos eléctricos y magnéticos, demostraría que la luz efectivamente son ondas, producidas por cargas eléctricas que son aceleradas y desaceleradas, es decir, que oscilan. Una carga eléctrica

produce un campo eléctrico y cuando esta carga se mueve produce un campo magnético. Así, la oscilación de cargas eléctricas produce campos eléctricos y magnéticos que oscilan y que están ligados entre sí, es por ello que la luz pueda ser descrita como ondas electromagnéticas.

Una onda electromagnética alcanza su velocidad máxima en el vacío, reduciéndose en medios como el aire o el agua. Otra idea ondulatoria que también probaría ser cierta es que a cada color corresponde una longitud de onda. Así, de los colores primarios que podemos ver, la longitud más corta la tiene el violeta, luego el azul, cian, y así va aumentando pasando por el verde, amarillo, naranja hasta llegar al rojo. Cuando hay refracción, la desviación que puede sufrir la luz de un cierto color va a depender de su longitud de onda. Longitudes de onda cortas se van a desviar más que longitudes de ondas larga. Es por ello que

la luz blanca del sol, que contiene muchas longitudes de onda, al pasar por un prisma se refracta y se descompone formando un arcoíris (Figura 1).

La luz blanca del Sol al interactuar con las moléculas del aire en nuestra atmósfera es sometida al fenómeno de refracción, en donde las longitudes de onda más cortas (azul y violeta) sufren mayor desviación que las más largas (naranja y rojo). Entonces cuando uno mira hacia un cielo limpio y despejado, la luz del Sol ha sufrido tantas desviaciones que los colores que principalmente son dirigidos a nuestros ojos son el violeta y el azul (Figura 2). Si vemos el cielo azul y no violeta es porque la intensidad en esa longitud de onda es menor a la del azul; además de que el violeta es más rápidamente absorbido en la atmósfera y nuestros ojos son menos sensibles a él.

Cuando el sol se aproxima al horizonte, su luz tiene que atravesar más atmósfera. Entonces, como las longitudes de onda más cortas van siendo desviadas en su camino y la que sufre menos desviaciones es el rojo, es por ello que el sol y su luz se van haciendo rojizos. Este efecto es más acentuado cuando hay más obstáculos entre el Sol y nosotros. Así, en una tarde (o un amanecer) con mucha humedad, humo o polvo flotando en el aire, el sol se ve prácticamente rojo.

En las grandes metrópolis tal vez sea el único espectáculo en el cielo que es diferente al campo: atardeceres con una mezcla exótica de colores. Después del medio día la luz del sol pasa de ser blanca a un amarillo intenso para luego volverse naranja, mientras que en el horizonte empieza una mezcla de tonos rosados, naranjas hasta llegar al rojo. Si el día es realmente malo, la luz del sol nunca llega a ser blanca, sólo amarilla.

Si logramos eliminar nuestra dependencia a la quema de combustibles fósiles tal vez las ciudades vuelvan a tener cielos limpios la mayor parte del año. Entre rascacielos, anuncios espectaculares, cables y nubes se volvería a asomar un cielo azul. Un color puro es más difícil de ignorar que un color empobrecido como el que tenemos ahora. Y así, tal vez, los niños se vuelvan a hacer esa misma pregunta que nos tomó milenios responder.

*Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México
vidadiv@gmail.com

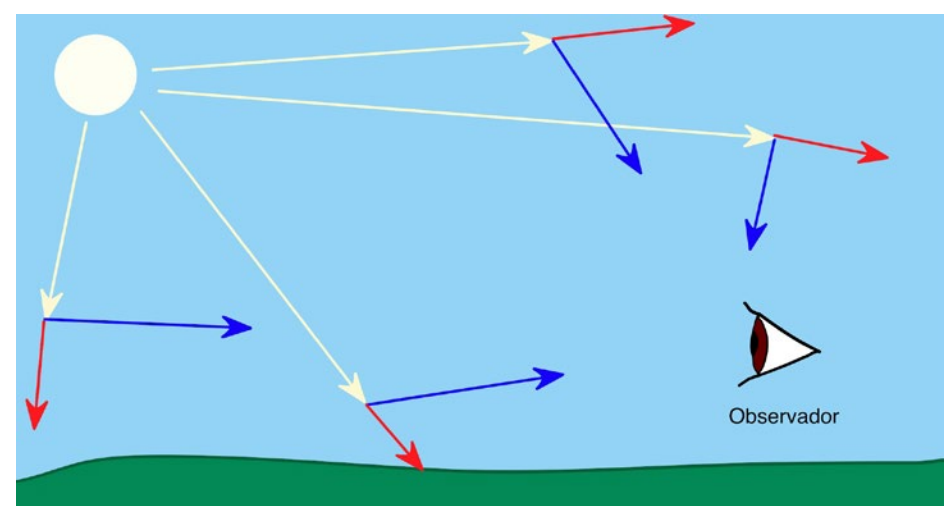


Figura 2. La componente azul de la luz del Sol tiene mayor desviación que la componente roja (ángulos de desviación exagerados para ilustrar el efecto).

En búsqueda de la luz más energética del Universo

► Hermes León Vargas*

En las faldas del volcán Sierra Negra, en el estado de Puebla, se encuentra el mejor observatorio de rayos gamma de muy alta energía en el mundo: el observatorio HAWC (acrónimo de High Altitude Water Cherenkov).

Podrá sonar muy técnico o complicado, pero un rayo gamma no es otra cosa que un tipo particular de luz, similar a la que nuestros ojos detectan cotidianamente, pero con energía billones de veces más alta. El concepto de energía asociada a la luz es más común de lo que podríamos pensar, pues nuestros ojos son capaces de detectar luz de distintas energías que nuestro cerebro interpreta como colores. Cada color que observamos es producido por partículas de luz que tienen diferentes energías. Sin embargo, el rango de energías accesible a nuestros ojos es muy limitado. Existe un muy amplio espectro de posibles valores para la energía que la luz puede tener y que no podemos observar. De manera muy general podemos pensar en dos grandes categorías, tomando a la luz visible como referencia:

Luz de baja energía

En este grupo tenemos por ejemplo a la luz infrarroja (con unas mil veces menor energía que la luz visible) que es emitida por objetos calientes, incluso por los seres vivos. A energías aún más bajas se encuentran las microondas que utilizamos por ejemplo para calentar alimentos de manera rápida.

Luz de alta energía

El uso de este tipo de luz también se ha vuelto común en la actualidad. Por ejemplo, cuando un médico pide que

nos hagan una radiografía, este estudio se trata simplemente de que tomemos una fotografía de nuestro cuerpo utilizando luz de alta energía, miles de veces más energética que la luz visible y que tiene la propiedad de poder viajar a través de nuestros tejidos y mostrarnos la estructura interna de nuestro cuerpo. A energías mucho más altas, tenemos a los rayos gamma.

Rayos gamma en el Universo

La luz más energética que existe es llamada radiación gamma y tiene connotaciones un tanto más sombrías al estar asociada por ejemplo con las armas nucleares. Pero la naturaleza tiene muchas otras maneras de producir este tipo de luz.

Detectores espaciales de rayos gamma

Durante el transcurso de la guerra fría, tanto los Estados Unidos como la Unión Soviética invertían muchos recursos con el objetivo de espiar las actividades del otro. Gracias al desarrollo de satélites artificiales se hizo posible que los adversarios pudieran realizar observaciones desde el espacio, sin el riesgo de realizar sobrevuelos que podían poner en peligro a sus pilotos. Una de las actividades que atraía mayor atención era el poder monitorear el desarrollo y pruebas de armamento nuclear. Esto sin embargo traía consigo un importante problema tecnológico: ¿cómo poder detectar detonaciones nucleares eficazmente? Cuando ocurre una explosión nuclear se libera una gran cantidad de energía, de la cual una fracción toma la forma de rayos gamma. El detectar destellos de rayos gamma (de origen terrestre),

es una señal muy particular de que una explosión nuclear ha ocurrido y permite rastrear de qué región provienen.

Una señal de otro mundo

Inesperadamente, unos satélites militares estadounidenses cuya función era buscar rayos gamma de explosiones nucleares, fueron capaces de detectar flashazos de rayos gamma cuyo origen se pudo determinar que no era terrestre ni originado por el Sol. A pesar de lo interesante de estas observaciones los satélites eran un proyecto militar y la información obtenida tuvo que esperar un tiempo antes de poder estar disponible para la comunidad científica. La información de estos destellos de rayos gamma fue finalmente accesible en 1973 y desde entonces se ha trabajado para comprender cuál puede ser el origen de los rayos gamma que provienen de algún lugar del cosmos, y que actualmente sabemos están asociados a algunos de los fenómenos más energéticos del Universo como las supernovas y las colisiones de estrellas de neutrones.

¿Cómo detectar la luz más energética?

La detección de rayos gamma no es precisamente sencilla, especialmente si se busca detectar aquella con la más alta energía. La radiación que llega a la Tierra tiene la característica de que conforme su energía es mayor, es cada vez menos frecuente su presencia, y por ende más difícil de medir. Es por esto que para detectar los rayos gamma de mayor energía en el Universo se requieren detectores muy grandes, para incrementar la probabilidad de poder capturar esta radiación. Como resulta muy costoso el poder construir

satélites con dimensiones muy grandes, la mejor opción es construir los detectores en la Tierra. Pero esto trae un inconveniente (que a su vez es muy útil para la existencia de la vida en nuestro planeta); la presencia de la atmósfera sirve como un escudo para la radiación gamma. Lo que sucede es que una vez que los rayos gamma chocan con las partículas que constituyen a la atmósfera se producen una gran cantidad de partículas llamadas secundarias, las cuales después de un mecanismo un poco complicado terminarán formando una especie de disco gigantesco de radiación (de varias decenas de metros de radio) que finalmente impactará en la superficie terrestre. Dado este fenómeno, lo que necesitamos es construir un detector de radiación que cubra una superficie lo suficientemente grande como para poder medir con precisión el paso de este grupo de partículas. Es con este objetivo por el cuál construimos el observatorio HAWC.

El observatorio HAWC

El observatorio HAWC (ver figura 1) está conformado por gigantescos tanques de agua que cubren una superficie de más de 20 mil metros cuadrados. Se utilizan como detectores a tanques de agua porque existe un fenómeno físico llamado luz de Cherenkov, en honor al físico que lo descubrió, que hace que cuando la radiación pase a través de los tanques se produzcan débiles pulsos de luz azul. Estos pequeños destellos de luz son tan sutiles que es muy difícil observarlos con nuestros ojos, pero utilizando instrumentos especializados podemos medirlos. El siguiente paso es, por medio de computadoras, reconstruir en sentido inverso lo que ocurrió, es decir, inferir de qué dirección del firmamento provino ese rayo gamma que inició la lluvia de partículas que medimos con HAWC, y así poder generar un mapa que nos indique de qué regiones del cosmos proviene la luz más energética del Universo.

*Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México.
hleonvar@fisica.unam.mx



Fig.1. El observatorio HAWC. Foto: Jordan A. Goodman

El plasma de cuarks y gluones (PCG) está formado por los constituyentes más básicos de la materia, los cuales se encuentran libres de la interacción nuclear fuerte, situación opuesta a las condiciones ordinarias donde se encuentran confinados dentro de protones y neutrones. El PCG requiere condiciones de presión y/o densidad extrema que solo se han producido y estudiado en laboratorios a través de colisiones de iones pesados en donde los núcleos de átomos pesados se fusionan alcanzando temperaturas y densidades muy altas. Sin embargo, existe otro lugar en donde el PCG podría también existir, solo que a temperaturas más bajas: en el centro de las estrellas de neutrones.

Una estrella de neutrones representa el episodio final de la vida de una estrella (con masa de al menos 8 veces la masa del sol), la cual explota como supernova y cuyo núcleo se contrae comprimiendo su interior. Para darles una idea, dicha estrella es como un gran núcleo atómico, con alrededor de dos masas solares confinadas por la fuerza de gravedad a una esfera del tamaño de la Ciudad de Xalapa.

Durante los últimos años el estudio de la materia en el interior de las estrellas de neutrones ha tenido un gran avance gracias a la llamada *Astronomía Multi-mensajera*, es decir la com-

¿Existe el plasma de cuarks y gluones dentro de las estrellas de neutrones?

David Álvarez Castillo*

binación de todas las posibles vías de observación: ondas de radio, luz visible, rayos gamma, rayos X, rayos cósmicos y *ondas gravitacionales*.

¿Qué son las ondas gravitacionales y cómo podrían responder la interrogante planteada?

La respuesta la tiene la fuerza gravitacional que rige la forma del espacio tiempo en nuestro universo. Objetos extremadamente masivos como estrellas de neutrones u agujeros negros pueden perturbar el espacio tiempo produciendo ondas gravitacionales que pueden llegar hasta nuestro planeta.

Es precisamente en el último momento de la existencia de las dos estrellas de neutrones, segundos antes de fusionarse y convertirse en un sólo objeto estelar, en un agujero negro, que las ondas gravitacionales pueden indicarnos que tan suave o que tan dura es la materia de la que están hechas estas estrellas, es decir su rigidez. Fuerzas de marea, similares a las que sufre nuestro planeta produci-

das por la Luna y que son causantes de las mareas altas y bajas, actúan en ambas estrellas de neutrones, produciendo ondas gravitacionales. Estas ondas pueden entonces ser detectadas en la Tierra usando sofisticados interferómetros láser como los del laboratorio LIGO, y mediante un proceso de ingeniería inversa es posible estimar la deformación y rigidez estelar.

Asimismo, existe la posibilidad de que en el núcleo de las estrellas de neutrones, donde la presión es mayor que en su superficie, la materia sufra una intensa transición de fase de primer orden, como la que sufre el agua al pasar del estado sólido al líquido. Esta transición de fase convertiría la materia ordinaria en PCG, resultando en estrellas híbridas de dos capas. La densidad en la cual esta transición ocurre determinará si la estrella está compuesta de sólo materia ordinaria o si es una estrella híbrida con PCG en su interior. Se espera que las estrellas más ligeras correspondan al primer caso mientras las estrellas más masi-

vas sean estrellas híbridas.

Ya que ambos tipos de estrellas tienen diferentes propiedades de deformación es entonces posible determinar mediante ondas gravitacionales, complementadas con observaciones de radiación electromagnética, la naturaleza de la materia que las compone y posiblemente entender más de las propiedades del PCG. Hasta este momento se han detectado dos eventos denominados GW170817 y GW190425 en el que un par de estrellas de neutrones se han fusionado por lo que ya se tienen las primeras estimaciones de deformaciones estelares. Con un mayor número de detecciones de ondas gravitacionales será posible estudiar estrellas de diferentes tamaños y masas y por lo tanto descubrir si algunas de las estrellas de neutrones son estrellas híbridas las cuales poseen un núcleo compuesto por PCG.

Instituto Central de Investigaciones Nucleares; Dubná, Rusia
alvarez@theor.jinr.ru

Del polvo de estrellas a nuestra joyería

Joel Mendoza-Temis*

Pumba: ¿Timón?
Timón: ¿Qué?
Pumba: ¿Nunca te has preguntado qué son esos puntos brillantes de arriba?
Timón: Pumba, no me lo pregunto. Lo sé.
Pumba: ¡Ah! ¿Y qué son?
Timón: Son luciérnagas. Luciérnagas que se quedaron pegadas en esa cosa negra y azul de arriba.
Pumba: Ah... ¿sí? Siempre pensé que eran bolas de gas quemándose a millones de kilómetros de aquí.
El Rey León (Disney, 1994)

Y sí, en efecto Pumba sabía de qué estaba hablando, las estrellas son una especie de horno en el cual se funden los elementos más ligeros; de hecho el físico nuclear Hans Bethe obtuvo el Premio Nobel de Física en 1967 por demostrarlo.

A continuación, los invito a que imaginen una escena, en la cual, Simba regresa muy emocionado y lleno de interrogantes de la escuela, lo recibe Mufasa, quien al notar su entusiasmo da inicio al siguiente dialogo:

Mufasa: Simba, cuéntame él porqué de tanto entusiasmo.

Simba: Fíjate papá, que el profesor Rafiki mencionó al final de su clase una frase que

me dejó muy intrigado, dijo que "somos polvo de estrellas", ¿qué quiso decir con eso?

Mufasa: Ese Rafiki siempre tan poético, verás Simba, las estrellas mucho más masivas que nuestro sol mueren explotando como supernovas, todo aquello que se cocinó en sus interiores durante millones de años sale expulsado en fracciones de segundo, contaminando el medio interestelar. Cabe mencionar que no todo se destruye en una explosión de supernova.

Simba: wow, ¡qué impresionante!, cuéntame más, porfa, no seas malito.

Mufasa: Fíjate mijo, que existen dos posibilidades para el destino final del núcleo de esas estrellas, ya sea que colapsen en una estrella de neutrones o en un agujero negro.

Simba: Papá, tengo otra duda, el profesor Rafiki también nos contó que esas estrellas únicamente pueden fundir en su interior hasta un elemento de nombre hierro (Fe), entonces, ¿cómo produce la naturaleza el resto de sus elementos?

Mufasa: ¿Y este pequeñín tan curioso de dónde salió?, ja,ja,ja. Se sabe que el origen de la mayoría de los elementos más pesados que el hierro, ocurre en la naturaleza mediante una serie de procesos de captura de proyectiles (protones, neutrones) sobre núcleos más pesados que actúan como blancos, seguidos de decaimientos radiactivos.

Simba: mmm... y ¿cuál es el escenario astrofísico que reúne esas condiciones?

Mufasa: Pese a que el candidato natural es una explosión de supernova, la

fusión de un par de estrellas de neutrones libera una mayor cantidad de proyectiles, aumentando con ello la probabilidad de producir elementos más exóticos.

Simba: A ver papá, tienes alguna evidencia observacional.

Mufasa: Que chamaco tan abusado. Recientemente escuchamos el eco de las ondas gravitacionales procedentes de la colisión de un par de estrellas de neutrones, las cuales estuvieron danzando cósmicamente hasta fusionarse hace 130 millones de años, cuando los dinosaurios aún habitaban la faz de la tierra. Adicionalmente, este singular evento produjo curvas de luz, las cuales, contenían evidencia de la formación de oro, platino, así como del resto de nuestra joyería. Dando origen a una nueva forma de astronomía, la denominada *Astronomía Multi-mensajera*.

Conclusión

En sentido estricto, queridos *jarochos físico cuánticos*, no somos polvo de estrellas, más bien somos desechos radiactivos procedente de la muerte de estrellas masivas.

Instituto Interdisciplinario de Investigaciones de la Universidad de Xalapa, A. C.
temisnike@gmail.com

álef
LIBERA EL CONOCIMIENTO

Ciencia, Tecnología, Arte

<http://www.alef.mx>

