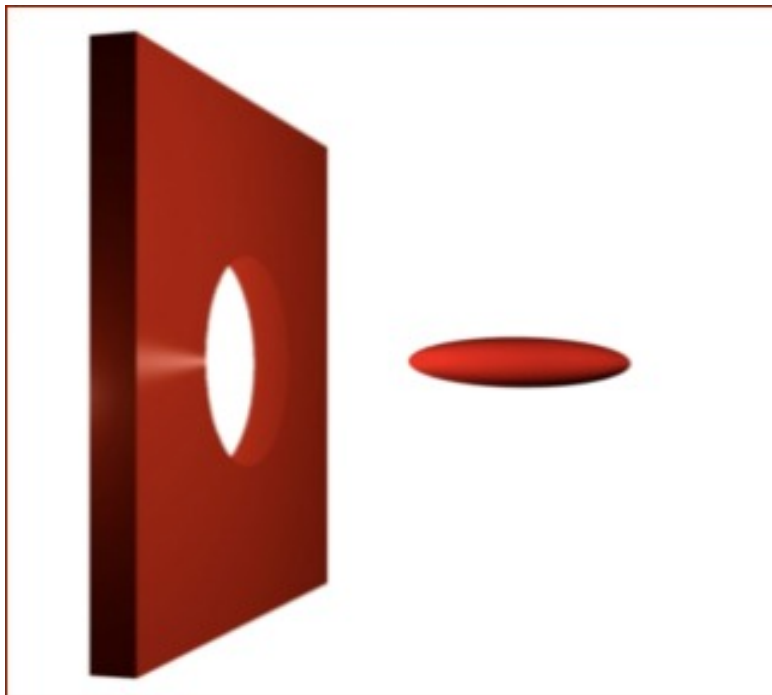


03/2012

Réplicas y contrarréplicas cuánticas



En este artículo, dos investigadores de la UAB y la UPC responden a un artículo que señalaba posibles errores en su teoría, que comparaba la radiación de un agujero negro con la de un efecto llamado de Casimir dinámico. Su trabajo que, aseguran, sigue siendo válido, relaciona de manera pionera fenómenos del vacío cuántico como la fuerza debida a sus fluctuaciones (muy relevantes en nanotecnología) con fenómenos de radiación de los agujeros negros nunca observados hasta ahora, como la radiación de Hawking. La física cuántica nos dice que el vacío no es realmente vacío sino que en él tienen lugar formación y destrucción de partículas que generan energía. Los investigadores han aprovechado las fluctuaciones del vacío cuántico para obtener un modelo de radiación de Hawking (aquella que se escapa de los agujeros negros).

El trabajo de Emili Elizalde (ICE / CSIC y IEEC, UAB) y Jaume Haro (UPC) *Comment on Semitransparency effects in the moving mirror modelo for Hawking radiation* es, como indica su título, un comentario al artículo homónimo de Nistor Nicolaevici que, a su vez, se basaba fundamentalmente en un trabajo de los primeros autores pionero en el campo: *Black hole collapse simulated by vacuum fluctuaciones with a moving semitransparente mirror*.

Resulta del todo imposible hablar del trabajo primeramente citado sin empezar por este último, que es el origen de la disquisición científica en torno a la comparación de la famosa radiación de Hawking con el fenómeno cuántico de efecto Casimir dinámico, que tiene lugar cuando se perturba el estado de vacío cuántico del campo electromagnético introduciendo un espejo.

Según la física cuántica, el vacío no es realmente vacío sino que en el tiene lugar la formación de pares como electrón-positrón i fotón-fotón (pares de partículas virtuales). A este nuevo concepto de vacío se le denomina vacío cuántico. El efecto Casimir es la fuerza de atracción que surge entre dos objetos metálicos separados una distancia pequeña comparada con su tamaño. Este efecto perturba el vacío cuántico y tiene mucha importancia en nanotecnología (donde los objetos y las distancias que los separan son muy pequeños).

La radiación de Hawking es aquella que se escapa de un agujero negro, con una temperatura inversamente proporcional a la masa del agujero, y que es fruto de esta creación de partículas-antipartículas en la frontera de los agujeros negros. De todos modos, esta radiación no ha sido jamás observada.

La historia viene de lejos, la versión original de Casimir es de 1948 y, para observar las fluctuaciones del vacío cuántico, hace uso de dos placas paralelas ideales, perfectamente reflectantes y de extensión infinita. Al comparar la energía del vacío del sistema cuando hay las placas con la que tiene en su ausencia, uno se da cuenta -haciendo los cálculos adecuados- que las fluctuaciones cuánticas del vacío (habilitadas por el importantísimo principio de indeterminación de Heisenberg) provocan que las dos placas se atraigan.

Es la famosa fuerza del vacío (esto quiere decir, en lenguaje usual, de la "nada") cuántico que, en principio, se trata de una fuente inagotable de energía a coste cero. El problema que tiene para la nanotecnología es que los pequeños elementos se atraen siempre y los aparatos dejan de funcionar. Por eso es muy importante la búsqueda de materiales o configuraciones de los dispositivos en que esto no ocurra (ver figura de cabecera), es decir, que la fuerza sea repulsiva y controlable.

El efecto Casimir dinámico se produce cuando tenemos en este vacío una placa (o más, con una hay más que suficiente) que se mueve; generalmente se hace vibrar a alta frecuencia. El resultado de la acción del vacío cuántico en este caso se pone de manifiesto en la producción de fotones, que permanecen una vez la placa se detiene (hay que decir, sin embargo, que este experimento nunca se ha podido llevar a cabo de este modo; es muy difícil, aunque hay una determinación indirecta del efecto). Es aquí donde la imaginación científica nos puede llevar a pensar que podría haber una relación con el fenómeno (cuántico también) de la radiación de Hawking de los agujeros negros, cosa que hicimos explorar en nuestro trabajo del 2008.

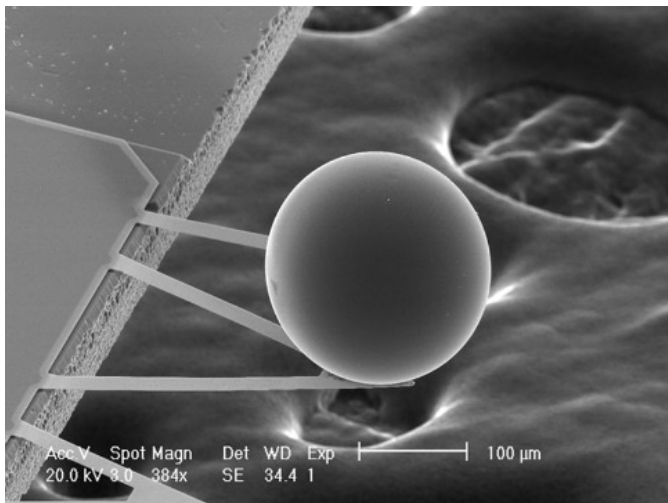
Pero no ha quedado explicado todavía qué papel juega el término semitransparente del título del artículo. Cabe decir que nuestro trabajo en el tema ha sido más de rigorizadores de las técnicas

y resultados que de primeros descubridores de los fenómenos en cuestión. En este sentido, todos los cálculos de efecto Casimir dinámico que se habían llevado a cabo por importantes científicos (empezando por Davies y Fulling, a los que sigue una larga lista que podréis encontrar en nuestros artículos) tenían el problema, no bien resuelto, de la regularización, esto es, del tratamiento de los infinitos que inevitablemente aparecen al considerar una placa que vibra como *ideal*, en particular, perfectamente reflectante.

Esta es la situación en la teoría original del efecto dinámico (llamado a veces de Fulling-Davies). Lo que ya vimos con Jaume Haro en un trabajo de cierto eco publicado en Phys. Rev. Lett. 97, 130,401 (2006), es que si se abandona la condición de reflexión perfecta (de hecho ningún espejo que se pueda construir en el laboratorio puede nunca satisfacer esta condición, siempre será del todo transparente a frecuencias suficientemente elevadas!) y se pone en las ecuaciones una condición matemáticamente precisa (en términos de una matriz de *scattering* analítica) -y que corresponde a la vez a cómo es todo espejo real (la condición de semitransparencia)- resulta que esta aproximación a la realidad ya es suficiente para regularizar todos los infinitos que aparecían en la teoría ideal, que no tenía nada de física. Se trata de un ejemplo precioso de cómo la propia naturaleza es capaz de regularizar las singularidades de la teoría inicial, ideal, pero, además, de una manera absolutamente rigurosa y clásica desde el punto de vista matemático. Es un paradigma perfecto de la conexión que hay entre la matemática bien hecha y el mundo real.

En su trabajo, Nicolaevici hace mención de unos aparentes errores de nuestro trabajo de 2008. De hecho, este autor hace unas interpretaciones absolutamente equivocadas de algunos de nuestros resultados, comparando de manera claramente errónea dos regiones totalmente diferentes del espacio de parámetros de la teoría y superponiéndose de manera inadecuada. Sí que descubrió un lamentable error de cálculo en una de nuestras expresiones, que no invalidan en absoluto ninguno de nuestros resultados y hemos corregido adecuadamente en el trabajo de 2010, que es la base de este comentario. Y con ello se cierra el círculo argumental.

Por último, un descubrimiento ciertamente interesante que hicimos en el trabajo del 2008 es que, en determinadas condiciones, el efecto Casimir dinámico con espejos semitransparentes puede dar origen a la emisión de partículas con la estadística cambiada, en un sentido específico. Precizando, si sólo nos basamos en los signos de los coeficientes de Bogoliubov correspondientes, un espejo semitransparente radia un flujo térmico que obedece la estadística de Fermi-Dirac. Pero si nos fijamos en el número de partículas producidas por modo, en cambio, la estadística vuelve a ser la usual. Se trata de un fenómeno muy curioso, que aún no sabemos si puede llegar a tener una importancia práctica, o puede ser teórica, para el caso de la radiación de Hawking de los agujeros negros en las condiciones correspondientes adecuadas.



"Una fuerza del espacio vacío: el efecto Casimir". Esta pequeña bola podría proporcionar evidencia de que el universo se expandirá para siempre. El balón mide poco más de una décima de milímetro y se mueve hacia una placa lisa, en respuesta a las fluctuaciones de energía en el vacío del espacio. La atracción se conoce como efecto Casimir, llamado así por su descubridor quien, hace 65 años, estaba tratando de entender por qué los fluidos como la mayonesa se mueven tan lentamente. En la actualidad, se está acumulando evidencia de que la mayor parte de la densidad de energía en el universo está en una forma desconocida llamada energía oscura. La naturaleza y el origen de la energía oscura no se conocen, pero se postula que está relacionada con las fluctuaciones del vacío similares al efecto Casimir pero generadas de alguna manera por el espacio mismo y con el signo repulsivo correcto, lo que se puede conseguir en algunas teorías de branas-mundo. Esta energía oscura parece repeler gravitacionalmente toda la materia y, por tanto, es probable que cause que el universo se expanda para siempre. Comprender las fluctuaciones del vacío está en la vanguardia de la investigación no sólo para entender mejor nuestro universo, sino también para impedir que las partes micro-mecánicas de las máquinas se peguen entre sí.

Autor: Umar Mohideen (U. de California en Riverside)

Emili Elizalde

elizalde@ieec.uab.es

Referencias

"Comment on Semitransparency effects in the moving mirror model for Hawking radiation". J. Haro; E. Elizalde. Phys. Rev. D 81, 128701 (2010).

"Semitransparency effects in the moving mirror model for Hawking radiation". N. Nicolaevici. Phys. Rev. D 80, 125003 (2009).

"Black hole collapse simulated by vacuum fluctuations with a moving semitransparent mirror". J. Haro; E. Elizalde. Phys. Rev. D 77, 045011 (2008).

[View low-bandwidth version](#)