



La interacción de electrones de baja energía con luz revela efectos cuánticos

Investigadores del ICFO lideran un estudio teórico sobre la interacción entre electrones de baja energía y la luz, mostrando por primera vez la aparición de efectos cuánticos y de retroceso. Los resultados podrían mejorar la microscopía electrónica ultrarrápida, entre otras aplicaciones potenciales.

July 05, 2024

Los electrones libres y la luz (o, más precisamente, los campos ópticos), cuando se acoplan, desempeñan un papel fundamental en la microscopía electrónica de última generación. Su relación sinérgica mejora la resolución espaciotemporal y energética de los microscopios electrónicos hasta el rango de picómetro-attosegundo-microelectrónvoltio (es decir, a escalas de una billonesima de metro, un quintillón de segundo y una millonésima de electrónvoltio). De esta manera, se pueden estudiar procesos dinámicos y fenómenos cuánticos en la materia con una resolución que alcanza el nivel atómico y escalas de tiempo

ultrarrapidas.

En general, los haces de electrones empleados en este tipo de dispositivos tienen energías cinéticas significativamente superiores a las de los campos ópticos. Entonces, la probabilidad de que un solo electrón interactúe con un solo fotón se vuelve mucho menor que la unidad, lo que a su vez implica un débil acoplamiento electrón-luz. A pesar de los muchos avances que se han logrado en este régimen, donde el haz de electrones se describe mediante una carga puntual clásica que sigue una trayectoria rectilínea, esta característica conlleva algunas limitaciones fundamentales. En particular, el desajuste entre energía y momento obstaculiza las capacidades de estas técnicas para obtener imágenes de excitaciones atómicas y acceder al sinfín de efectos cuánticos no lineales presentes en las nanoestructuras.

Por lo tanto, para acceder a tales fenómenos es necesario cerrar la brecha energética reduciendo las energías de los electrones hasta que sean comparables a las de los fotones. Este enfoque ha sido abordado ahora por los investigadores del ICFO **Adamantios P.**

Synanidis y el **Dr. P. Andre D. Goncalves**, dirigidos por el **Prof. ICREA Javier Garcia de Abajo**, junto con el Prof. Dr. Claus Ropers del Instituto Max Planck de Ciencias Multidisciplinares y la Universidad de Gotinga. En un artículo de Science Advances, **muestran teóricamente efectos cuánticos exóticos que surgen de interacciones entre electrones de baja energía y luz que no se manifiestan en el régimen convencional de alta energía.**

Entre los fenómenos descritos se encuentra un fuerte acoplamiento electrón-fotón en las superficies de los cristales, la clásicamente prohibida retrodispersión de electrones al encontrarse con superficies que, en el escenario tradicional, serían transparentes a estas partículas, y una fuerte absorción y emisión selectiva de fotones.

Adamantios P. Synanidis, primer autor del artículo, aclara: ¿Al reducir la energía de los electrones y utilizar una superficie de dispersión adecuada, el acoplamiento electrón-luz puede aumentar drásticamente (incluso divergiendo hasta el infinito en configuraciones especiales), ya que el desajuste cinemático entre ambos se minimiza o se elimina por completo?

½. Los investigadores demostraron que cuando los electrones libres de baja energía encuentran un campo óptico evanescente (por ejemplo, de un polaritón superficial) en una lámina transparente a los electrones, estos últimos pueden retrodispersarse. Este efecto, prohibido en el régimen clásico donde la energía de los electrones es mucho mayor que la de la luz, muestra la importancia de los efectos de retroceso y el carácter cuántico de la interacción. El equipo también mostró las consecuencias de los electrones de baja energía difractados por una red atómica iluminada, donde el acoplamiento electrón-luz puede mejorarse selectivamente ajustando correctamente la energía del electrón.

Nuevas direcciones futuras para la microscopía electrónica, la metrología y el control cuántico coherente

Además del interés fundamental que intrínsecamente conlleva la exploración de las interacciones electrón-luz-materia, este estudio encuentra aplicaciones potenciales en microscopía electrónica ultrarrápida o metrología.

"Debido al excelente control espaciotemporal que ofrecen los haces de electrones, esperamos que surjan varias aplicaciones nuevas e interesantes en los campos de la espectromicroscopía electrónica ultrarrápida y el control cuántico coherente", explica Synanidis. "Un posible nuevo desarrollo sería utilizar haces de electrones no solo como sondas de procesos físicos en la materia, sino también como herramienta para transferir coherencia a la muestra entrelazándola con excitaciones materiales, introduciendo así nuevas técnicas con haces entrelazados".

A largo plazo, estos resultados también contribuyen al objetivo futuro de construir microscopios electrónicos más compactos, ya que los electrones de baja energía pueden simplificar en gran medida algunos aspectos de las columnas de los microscopios electrónicos actuales. Además, el uso de electrones de baja energía aumenta el acoplamiento entre electrones y luz sin la necesidad de campos de luz intensos, lo que permite la espectroscopía electrónica de muestras sensibles, como las biológicas.