

Efecto Hall cuántico, qué es un Corbino y por qué usar un lock-in.

Mariano Real

Instrumental y Control - primer Cuatrimestre 2019 - Cátedra: Hernán Grecco.
Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA

realmariano@gmail.com

El efecto Hall se presenta cuando uno aplica una corriente y un campo magnético perpendicular a la superficie de una pieza de material, digamos rectangular y muy fina. Se espera que se desarrolle entonces una tensión transversal (V_{xy}) a la corriente (i) y al campo magnético (B) debido a la fuerza de Lorentz, pudiendo definirse una resistencia Hall $R_{xy}(B, i) = V_{xy}/i$. Además existirá una magnetorresistencia R_{xx} , la resistencia que posee el material en la dirección de la corriente. Ambas resistencias resultan proporcionales al campo magnético, por esto graficando su valor en función del campo podemos obtener propiedades del material en cuestión, como por ejemplo el signo y densidad de portadores.

Si el material bajo estudio se logra hacer bidimensional (2DES, sistema de electrones 2D) la naturaleza del sistema hace que su comportamiento cambie radicalmente, presentando efecto Hall cuántico. En este caso el sistema queda regido por niveles de energía (niveles de Landau) y aparece un gap de movilidad, dentro del cual el sistema queda cuantizado. Así la recta que uno obtenía en R_{xy} en el sistema clásico se transforma en una sucesión de escalones (plateaux) cuyo valor es simplemente calculado por $R_{xy} = h/\nu e^2$, donde h es la constante de Planck, e la carga elemental y ν un número entero. En cada uno de estos escalones simultáneamente la magnetoresistencia se anula indicando que el sistema se vuelve un conductor perfecto en esa región. Este es un hermoso caso de aislante topológico, donde el interior del sistema permanece aislante mientras que sus bordes conducen sin scattering alguno y con direccionalidad (quiralidad), se conocen como canales de borde. Por supuesto lograr este 2DES no es sencillo, usualmente se utilizan heteroestructuras de GaAs/AlGaAs muy puras, y cuya medición requieren campos muy altos (del orden de los 10 T) y temperaturas muy bajas (300 mK en nuestro caso). La charla también incluye nuevos materiales, donde el campo o las temperaturas extremas ya no son requeridas.

La cuantización de la resistencia Hall es la que permite utilizar este efecto como patrón de resistencia (realización del ohm), mientras que su quiralidad abre un abanico de posibilidades, es un playground de juego para experimentación, ya que uno puede utilizar la direccionalidad por ejemplo, para transmitir información, generar interferómetros electrónicos o también jugar con la termoelectricidad del sistema.

Justamente la termoelectricidad es de interés en mi grupo de trabajo, donde pretendemos estu-

diarla y controlarla. Para esto hacemos uso de una configuración de anillo conocida como Corbino. En esta configuración, cuando el sistema entra en estado Hall cuántico los canales de borde quedan aislados y su interior sea aislante. Utilizamos esto para poder medir la transmisión de calor en los dispositivos Corbino, creando un heater en el centro del anillo uno puede medir la respuesta del sistema bajo esta excitación. Por esto es necesario el uso de sistemas de Lock-in, la excitación del heater se realiza a una frecuencia senoidal muy baja y se mide la respuesta del disco en segunda armónica. Para entenderlo hay que recordar que la potencia disipada por el heater puede asociarse al cuadrado de la corriente sobre el Corbino, expandiendo en serie de Fourier la segunda armónica entonces contendrá la información de la potencia aplicada al heater.

Para realizar las mediciones requiere entonces un control de lockeo de frecuencia entre la tensión de excitación del heater y de medición de la conductividad, que se realiza a frecuencias del orden de los 10 Hz. Se elijen frecuencias bajas para que la medición sea quasi estacionaria. Esto conlleva una lentitud adicional en la medición y en los tiempos de respuesta del lock-in, cuanto mayor la sensibilidad mayor será el tiempo requerido para estabilizar la medición. Sin embargo las mediciones se realizaro a campo variable, y los cambios de tensión termoeléctricos en los niveles de Landau resultan significativos y rápidos. Así es necesario controlar correctamente la adquisición utilizando un sistema que mire el valor y la derivada de la medición y a partir de ella tome decisiones para establecer si es necesario cambiar el rango del sistema de adquisición en la siguiente medición.