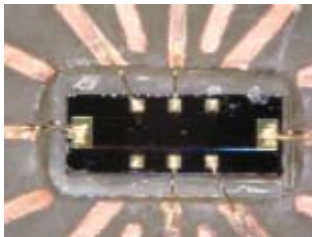


Labor „Elektrische Quantennormale“

Der Quanten-Hall-Effekt in der Metrologie

Der Quanten-Hall-Effekt (QHE) wird heute in zahlreichen Nationalen Metrologieinstituten als Primärnormal für Widerstandsmessungen eingesetzt. Zusammen mit dem Josephson-Effekt, einem weiteren wichtigen Quanteneffekt in der Metrologie, hat der QHE zu einer verbesserten weltweiten Konsistenz der elektrischen Messungen geführt.

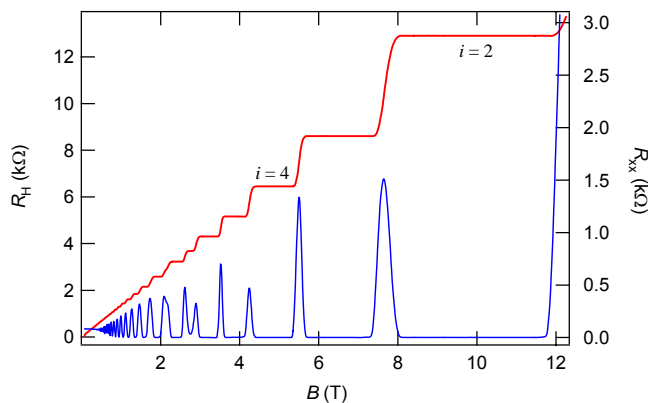


Der Quanten-Hall-Effekt (QHE) wird bei sehr tiefen Temperaturen (<1 K) in einem zweidimensionalen Elektronengas hoher Mobilität ($\mu > 2$ T $^{-1}$) beobachtet, das einem senkrecht zur Leitungsebene verlaufenden, hohen Magnetfeld ausgesetzt ist. Ein zweidimensionales Elektronengas kann z.B. in einem MOS-Feldeffekt-Transistor oder in einer GaAs/AlGaAs-Heterostruktur realisiert werden. Misst man unter diesen experimentellen Bedingungen die Hall-

Spannung in Funktion der magnetischen Flussdichte B , so treten Plateaus mit konstanter Hall-Spannung auf (siehe Figur). Auf diesen Plateaus ist der Hall-Widerstand R_H quantisiert und es gilt:

$$R_H = \frac{h}{i \cdot e^2}$$

wobei i eine ganze Zahl ist. Das Widerstandsquantum h/e^2 wird auch als von-Klitzing-Konstante R_K bezeichnet.



Die Längsspannung entlang der Probe seinerseits zeigt ein markantes oszillatorisches Verhalten (Shubnikov-de-Haas-Effekt) auf. Die Plateaus in der Hall-Spannung fallen dabei mit ausgedehnten Minimas in der Längsspannung zusammen. Bei genügend tiefer Temperatur wird die Spannung in diesen Minimas unmessbar klein, und zumindest beim absoluten Nullpunkt der Temperatur ist als Folge der Stromtransport durch die Probe verlustfrei.

Metrologische Anwendung

Seit dem 1. Januar 1990 wird der Quanten-Hall-Effekt in den meisten Staatsinstituten als primäres Widerstandsnormal eingesetzt. Zu diesem Zweck hat das internationale Komitee für Mass und Gewicht (CIPM) die nicht genau bekannte Konstante R_K (=quantisierter Hall Widerstand auf dem Plateau 1) auf den nach dem damaligen Stand des Wissens besten Wert von $R_{K-90} = 25812.807 \Omega$ fixiert.

Die relative Unsicherheit dieser Konstanten innerhalb des SI liegt bei 1×10^{-7} und ist damit um 2 Größenordnungen schlechter als die Reproduzierbarkeit auf der Basis des Quanten-Hall-Effekts. Die Unsicherheit innerhalb des SI spielt aber nur dort eine Rolle, wo elektrische Einheiten mit mechanischen verknüpft werden.

Mit Hilfe einer hochgenauen Widerstandsmessbrücke werden traditionelle Widerstandsnormale mit dem quantisierten Hall-Widerstand verglichen und damit absolut kalibriert. Diese Widerstandsnormale dienen in einem weiteren Schritt als TransfERNormale für die Kalibrierung von Kundennormalen. Mit Hilfe des Messaufbaus bei METAS kann ein 100-Ω Widerstandsnormal mit einer relativen Genauigkeit von 1×10^{-9} gegen den quantisierten Hall-Widerstand verglichen werden. Diese Messunsicherheit wurde im November 1994 in einem direkten Vergleich mit einem transportierbaren Quanten-Hall-Normal des Internationalen Büros für Mass und Gewicht (BIPM) bestätigt.



Das Bundesamt für Metrologie METAS realisiert und vermittelt international abgestimmte Masseinheiten mit der erforderlichen Genauigkeit. Es beaufsichtigt die Verwendung von Messmitteln in den Bereichen Handel, Verkehr, öffentliche Sicherheit, Gesundheit und Umweltschutz. METAS überwacht den Vollzug der gesetzlichen Bestimmungen durch die Kantone und durch die ermächtigten Stellen, instruiert und berät Eichmeister und Eichstellen. Forschung, Industrie und Gewerbe stellt es seine Dienstleistungen zur Verfügung.

Kontakt

Dr. Blaise Jeanneret
Laborleiter

Bundesamt für Metrologie METAS
Lindenweg 50, CH-3003 Bern-Wabern
Tel. +41 31 32 33 303
blaise.jeanneret@metas.ch
www.metas.ch

Februar 2007