

Supraleitung / Quanten-Hall-Effekt

1 Übersicht

Der Praktikumsversuch soll einen ersten Einblick in das Gebiet der Tieftemperaturphysik am Beispiel von Supraleitung und des Quanten-Hall-Effekts geben. Hierzu wird ein superisolierter Helium-Badkryostat mit einem supraleitenden Solenoid-Magneten aus NbTi mit Hilfe von flüssigem Helium auf eine Temperatur von $T = 4,2\text{ K}$ gekühlt. Beim Abkühlen kann die Sprungtemperatur eines Supraleiters gemessen werden. Im Anschluss können die Quantisierungen des Hallwiderstandes R_{xy} sowie Shubnikov-de-Haas-Oszillationen des Magneto- oder Längswiderstandes R_{xx} einer Hallbar als Funktion des äußeren Magnetfeldes gemessen werden.

2 Vorausgesetzte Kenntnisse

Informieren Sie sich über die folgenden Themen bzw. Stichworte.

- Klassischer Hall-Effekt
- Quanten-Hall-Effekt
- Zweidimensionales Elektronengas (2DEG)
- Landau-Quantisierung
- Modell der Randkanäle
- Shubnikov-de-Haas-Oszillationen
- Badkryostaten
- Supraleitende Magnete
- Handhabung und Transfer von tiefkalten Flüssigkeiten
- Funktionsweise eines Lockin-Verstärkers

3 Fragen zur Selbstkontrolle

1. Was ist Supraleitung?
2. Welche drei physikalischen Größen begrenzen den Supraleitungszustand?
3. Beschreiben Sie die Eigenschaften eines zweidimensionalen Elektronengases.
4. Wie ist die Zustandsdichte $D(E)$ im 2DEG? Wie sieht $E(\vec{k})$ aus? Was ändert sich bei Anlegen eines starken Magnetfeldes?
5. Warum kann man den Quanten-Hall-Effekt nur bei tiefen Temperaturen und hohen Magnetfeldern beobachten?
6. Skizzieren Sie den erwarteten Verlauf für den Hallwiderstand R_{xy} und den Magneto- oder Längswiderstand R_{xx} als Funktion des Magnetfeldes.
7. Warum ergeben sich die Plateaus im Hallwiderstand? Warum verschwindet der Längswiderstand, wenn die Fermienergie zwischen zwei Landauniveaus liegt?
8. Welchen Einfluss hat die Zeeman-Aufspaltung?

9. Wie lässt sich die zweidimensionale Flächenladungsträgerdichte n_s aus der klassischen Steigung der Hallspannung dU_H/dB bestimmen?
10. Wie kann man die Ladungsträgerdichte alternativ aus den Shubnikov-de-Haas-Oszillationen bestimmen?
11. Welche Widerstandswerte sollten die Plateaus im Hallwiderstand haben?
12. Wie können Sie eine Widerstandsmessung mit Hilfe eines Lockin-Verstärkers realisieren?
13. Wofür benötigt der Lockin-Verstärker das Referenzsignal?
14. Welche Signale liefern die Ausgänge X bzw. Y eines Lockin-Verstärkers?
15. Welche Rolle spielt die Phaseneinstellung beim Lockin-Verstärker und wie gleicht man die Phase ab?
16. Welchen Einfluss hat die Zeitkonstante auf die Messdauer?
17. Warum kann man das Ausgangssignal des Lockin-Verstärkers als die Fourierkomponente des Eingangssignals bei der Referenzfrequenz auffassen?

4 Versuchsdurchführung

Eine genaue Einweisung in die Versuchsdurchführung erhalten sie vor Ort am Praktikumstag.

5 Auswertung und Protokoll

Das Protokoll sollte (mindestens) die folgenden Punkte behandeln:

- Kurze Übersicht über die Theorie.
- Skizze und Erläuterung des Messaufbaus.
- Erläuterung der Versuchsdurchführung, Präsentation der Messdaten und ausführliche Auswertung der Messungen.
- Kopie des Laborbuchs vom Praktikumstag

Literatur

- [1] Harald Ibach, Hans Lüth *Festkörperphysik: Einführung in die Grundlagen*, Springer Verlag, Berlin, 4. Auflage, 1995
- [2] Bergmann / Schaefer *Lehrbuch der Experimentalphysik, Band 6, Festkörper* Walter de Gruyter, Berlin, 2. Auflage, 2005
- [3] S.Datta *Electronic Transport in Mesoscopic Systems*, Cambridge University Press (1997)
- [4] K. v. Klitzing, G. Dorda, M. Pepper *New Method for High-Accuracy Determination of the Fine-Structure Constant Based on Quantized Hall Resistance* Physical Review Letters, Vol. 45, 494 (1980)
- [5] Klaus von Klitzing *The quantized Hall effect*, Reviews of Modern Physics, Vol 58, 519
- [6] Klaus von Klitzing, Rolf Gerhardt, Jürgen Weis, *25 Jahre Quanten-Hall-Effekt*, Physik Journal 4 (2005) Nr. 6

- [7] N H Balshaw *Practical Cryogenics*, published by Oxford Instruments Superconductivity Limited, 2001
- [8] CryoVac *Zeichnung He-Badkryostat* aus Bedienungsanleitung Helium-Badkryostat mit 9T-Magnet
- [9] M L Meade *Lock-In Amplifiers: principles and applications* published by Peter Peregrinus Ltd., London UK, 1989
- [10] Stanford Research System *SR830 Basics* Auszug aus der Bedienungsanleitung Model SR830 DSP Lock-In Amplifier

Hinweis

Die folgende Literatur kann als Kopie im Praktikum entliehen werden:

- Die Originalarbeit von Klaus von Klitzing [4], der Vortrag anlässlich der Nobelpreisverleihung [5] sowie [6] können als Einführung in die Thema des Quanten-Hall-Effekt benutzt werden.
- [7] enthält Grundlagen zum Verständnis und zur Arbeit mit Geräten der Tieftemperaturphysik. Relevant sind:
 - Kapitel 4.1: Badkryostaten
 - Kapitel 6: Supraleitende Magnete
 - Kapitel 7: Transfer von tiefkalten Flüssigkeiten
- [8] enthält Schnittzeichnungen von dem benutzen Helium-Badkryostaten.
- [10] dient als gute Einführung in die Funktionsweise eines Lockin-Verstärkers. Da im Praktikum ein anderes Lockin-Modell benutzt wird, sind typenspezifische Details nicht von Belang.