

Physikalisches Fortgeschrittenen Praktikum

DC-Josephson-Effekt

28. Oktober 2010

Wintersemester 2010/11
Universität Stuttgart

1 Theoretische Grundlagen

- **Supraleitung:** Historischer Überblick, Definition, Meissner-Ochsenfeld-Effekt, London'sche Eindringtiefe, Flussquantisierung, BCS-Theorie (Cooper-Paare und BCS-Grundzustand), Zustandsdichte (Energielücke) und deren Temperaturabhängigkeit
- **Tunnelprozesse und Josephson-Effekte:** Tunnelprozesse (zwischen Normalleitern, Normalleitern und Supraleitern sowie zwischen Supraleitern): Modelle und Kennlinien, Josephson-Tunneln (Gleichungen inkl. Herleitung, Interpretation, Schaltbild, Kennlinien), RCSJ-Modell (Ersatzschaltbild, DGL, Waschbrettpotential, Falldiskussion, Shunt-Widerstand), Nachweis AC Josephson, Temperatur- und Magnetfeldabhängigkeit des Josephson-Stromes, SQUID
- **Experimentelle Grundlagen:** Tieftemperatur- und Vakuumtechnik (speziell: Phasendiagramm Helium), Erzeugung von Magnetfeldern (Helmholtz-Spulen, Erdfeld-Kompensation)

Literatur

- [1] W. Buckel: *Supraleitung*, VCH-Verlagsgesellschaft, Weinheim (1990 oder neueres Datum)
- [2] M. Schrade: *Der DC-Josephson-Effekt als Praktikumsversuch*, Staatsexamensarbeit, Universität Stuttgart (2008)
- [3] A. Barone, G. Paternò: *Physics and applications of the Josephson Effect*, John Wiley & Sons, New York (1982)
- [4] C. Enss, S. Hunklinger: *Tieftemperaturphysik*, Springer-Verlag, Berlin (2000)
- [5] H. Ibach, H. Lüth: *Festkörperphysik*, Springer-Verlag, Berlin (1996)
- [6] B.W. Peteley: *Einführung in die Josephson-Effekte*, Dr. Alfred Hüthig Verlag, Heidelberg (1975)
- [7] L. Solymar: *Superconductive Tunneling and Applications*, Chapman and Hall Ltd, London (1972)
- [8] M. Tinkham: *Introduction to Superconductivity*, Dover Publications Inc., Mineola (1996)

2 Versuchsbeschreibung

1. Versuchstag

- a) Einschalten des Netzgerätes zur Kompensation des Erdmagnetfeldes. Die Erdmagnetfeldkompensation (EMK) wird bei einem Spulenstrom von $I_{komp} \approx 460\text{mA}$ betrieben. Betätigen der Drehschieberpumpe zur Erzeugung des Isolationsvakuums. Einschalten der automatischen Stickstoffzufuhr. Befüllen des inneren Dewars mit flüssigem Helium (Hinweise auf Seite 3 sind zu beachten). Warten Sie, bis sich eine konstante Temperatur eingependelt hat (ca. 4,2K).
- b) I-U-Kennlinie eines Josephson-Tunnelkontaktes:
Es ist die I-U-Kennlinie eines Tunnelkontaktes aufzunehmen. *Vor und nach jeder Kennlinienmessung ist die Temperatur mit Hilfe des LabView-Programms zu messen.*
- c) Temperaturabhängigkeit der Kennlinien:
Bei verschiedenen Temperaturen (von 4,2K bis zur Sprungtemperatur von Nb) sind die I-U-Kennlinien des Kontaktes aufzunehmen. Die Regelung der Temperatur erfolgt über ein Netzgerät, mit welchem ein 3W-Heizwiderstand betrieben wird (Heizstrom bis max. 50mA).
Zur Temperaturabhängigkeit der Energielücke $\Delta(T)$: Wie können die zu wählenden Messpunkte für die (nach der BCS-Theorie zu erwartende) $\Delta(T)$ -Kurve sinnvoll verteilt werden?

2. Versuchstag

- a) Siehe a) des ersten Versuchstages!
- b) I-U-Kennlinien bei äußerem Magnetfeld:
Mittels der Helmholtzspule wird ein zur Oberfläche des Kontaktes paralleles Magnetfeld erzeugt. Es sind die I-U-Kennlinien eines der beiden Kontakte bei verschiedenen Spulenströmen aufzunehmen. Es soll mindestens bis zu den zweiten Minima des entstehenden Interferenzbildes gemessen werden (Spulenstrom von -1,3A bis +1,3A, Schrittweite ist geeignet zu wählen).

3 Versuchsauswertung

- a) Beschreibung und Diskussion der am 1. Versuchstag unter b) gemessenen Strom-Spannungs-Charakteristik. Bestimmung des maximalen DC-Josephson-Stroms und der Energielücke 2Δ .
- b) Besitzt der Kontakt einen sog. „Shunt“-Widerstand? Woran ist dies zu erkennen? Es sind aus der Kennlinie die charakteristischen Widerstände und der Stewart-McCumber-Parameter β_c des Josephson-Kontaktes zu bestimmen.
- c) Auswertung der Temperaturabhängigkeit des maximalen Josephson-Gleichstromes $I_c(T)$ und der Energielücke $\Delta(T)$. Anschließender Vergleich mit der Theorie.
- d) Beschreibung und Diskussion der gemessenen Magnetfeldabhängigkeit des maximalen Josephson-Gleichstromes. Vergleich mit dem theoretischen Interferenzmuster.
- e) Abschätzung der London'schen Eindringtiefe λ_L des Niobs mittels Bestimmung der Minima des Beugungsmusters. Aus λ_L und der maximalen Josephson-Stromdichte j_c ist die Josephson-Eindringtiefe λ_J zu bestimmen und zu diskutieren.

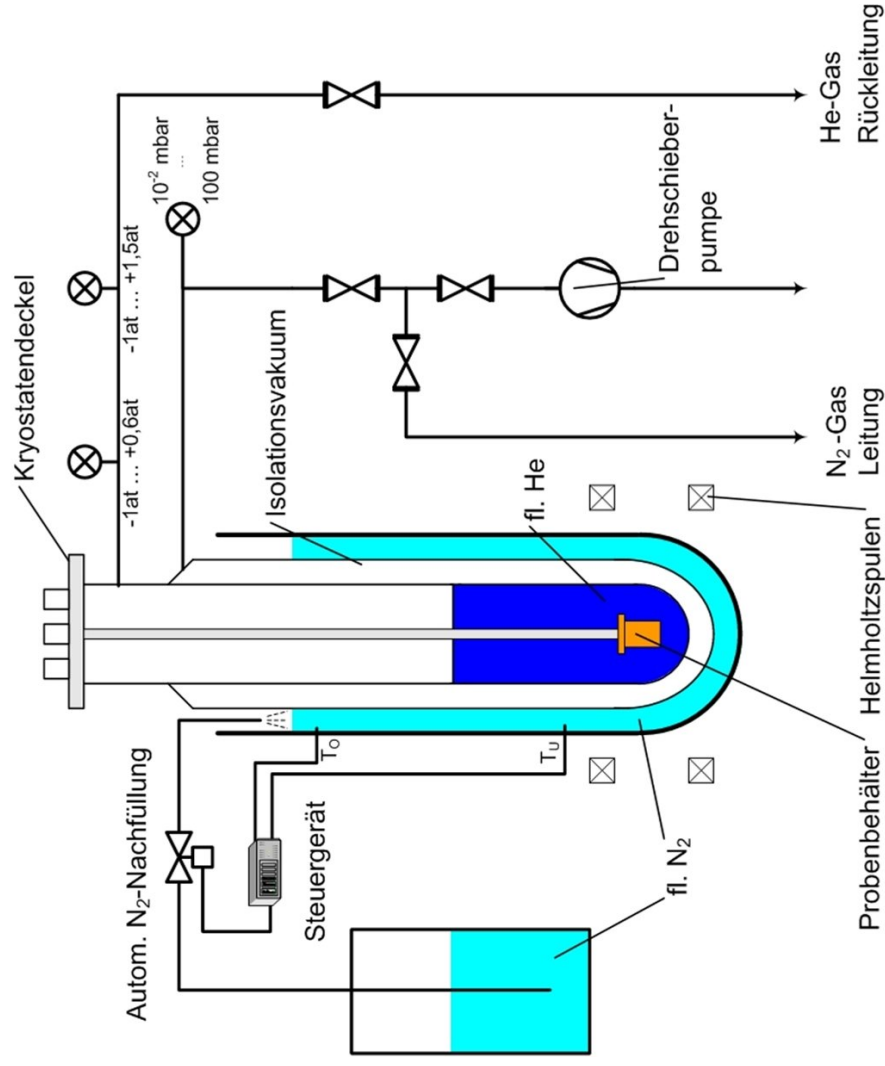
4 Daten

Fläche der Tunnelkontakte:	$100\mu\text{m}^2$
Dicke der Barrierenschicht:	ca. 30nm
Kapazität (lt. Uni Tübingen):	200fF
Verhältnis Windungszahl zu Spulenradius:	$n/R=2144\text{Wdg/m}$

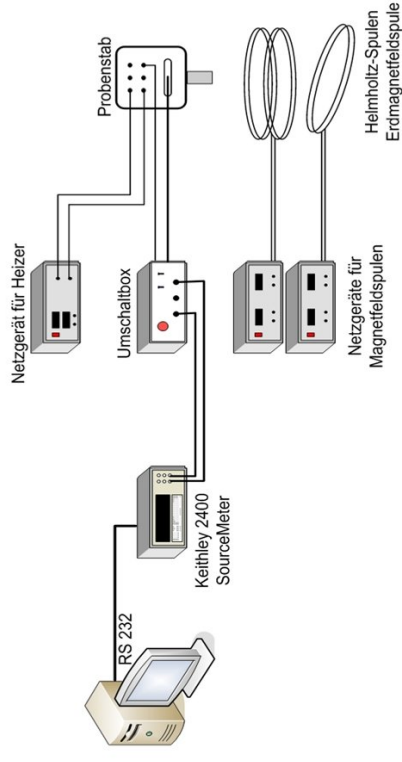
5 Hinweise

- **ACHTUNG: Tiefkalte verflüssigte Gase erfordern eine sehr sorgsame und verantwortungsvolle Handhabung! Unsachgemäßer Umgang mit Helium, Heliumbehältern, Stickstoff und Stickstoffbehältern birgt ein großes Gefährdungspotential für die beteiligten Personen!**
- Die Befüllung des Kryostaten mit flüssigem Helium (LHe) darf nur in Anwesenheit des zuständigen Assistenten erfolgen!
- Niemals die Vakuumkammer belüften, wenn sich schon flüssiges Helium im Kryostaten befindet. Bei Erwärmen des Kryostaten wäre ein Überdruck in der Vakuumkammer die Folge.
- Es ist darauf zu achten, dass sich keine magnetischen Gegenstände - insbesondere während des Abkühlens - in der Nähe der Probe befinden. Die Kompensation des Erdmagnetfeldes ist bereits vor dem Abkühlen einzuschalten.

Versuchsaufbau



Ansteuerung



Messung Keithley 2400

