

SQUID

Philipp Stegmann

30. November 2010

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

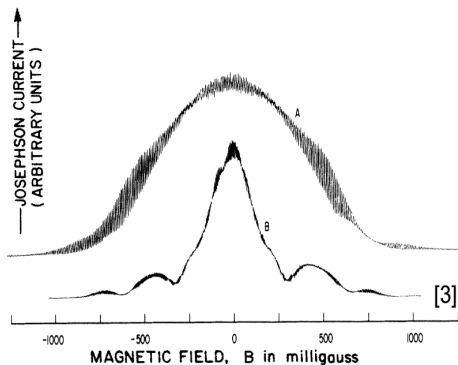
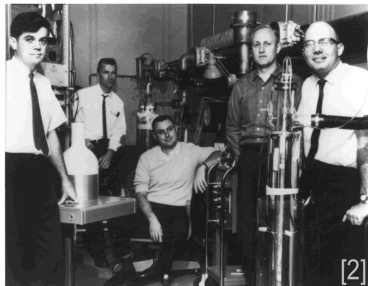
PHYSIK

E=

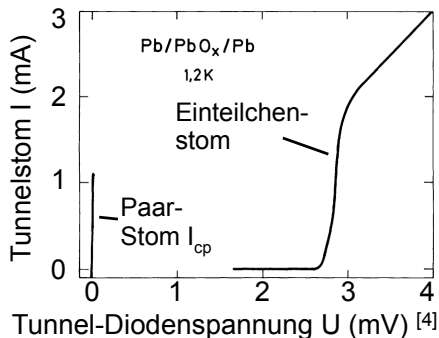
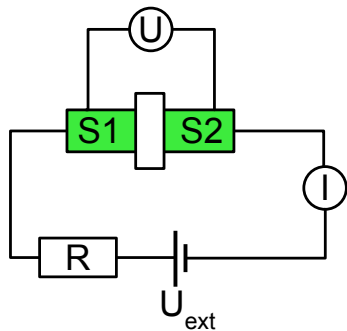
- Einleitung
- dc SQUID
- FLL
- rf SQUID
- Flusstransformatoren
- Messungen

SQUID (superconducting quantum interference device)

- Messung von Feldern bis zu $5 * 10^{-18}$ T [1]
- Flussquantisierung (1961)
- Josephson-Effekt (postuliert 1962 und verifiziert 1963)
- R. C. Jaklevic, J. Lambe, A. H. Silver, J. E. Mercereau, Phys. Rev. Lett. 12, 159 (1964)



Josephson-Effekt

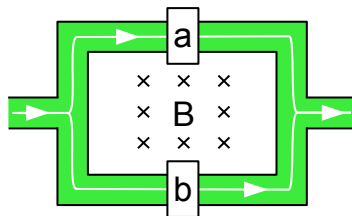


Gleichstrom-Josephson-Effekt (bei $U=0$) bei Phasendifferenz $\delta = \varphi_2 - \varphi_1$:

$$I = I_0 \sin \delta$$

Wechselstrom-Josephson-Effekt ($U \neq 0$):

$$I = I_0 \sin \left(\frac{2eU}{\hbar} t + \delta \right)$$



$B=0$

Gleichstrom-Josephson-Effekt (bei $U=0$):

$$I_{a/b} = I_0 \sin(\delta_{a/b})$$

$B \neq 0$

$$\Delta\varphi_{a/b} = \delta_{a/b} \pm \frac{2e}{\hbar} \int_{a/b} \mathbf{A} ds \quad \text{und} \quad 0 = \Delta\varphi_a - \Delta\varphi_b$$

$$\Rightarrow \delta_b - \delta_a = \frac{2e}{\hbar} \oint \mathbf{A} ds = \frac{2\pi\Phi}{\Phi_0} \quad \text{mit} \quad \Phi_0 = \frac{h}{2e}$$

dc SQUID

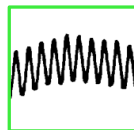
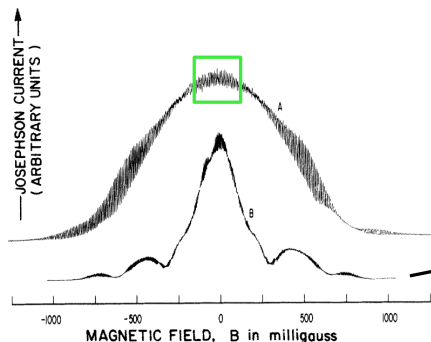
$$I = I_0 (\sin \delta_a + \sin \delta_b)$$

$$\delta_{a/b} = \delta_0 \mp \frac{\pi\Phi}{\Phi_0}$$

\Rightarrow

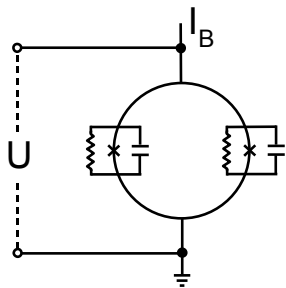
$$I = I_0 \sin \delta_0 \cos \frac{\pi\Phi}{\Phi_0}$$

- für $\Phi = n\Phi_0$ maximal und für $\Phi = (n + \frac{1}{2})\Phi_0$ minimaler Strom
- einzelne Flussquanten sichtbar



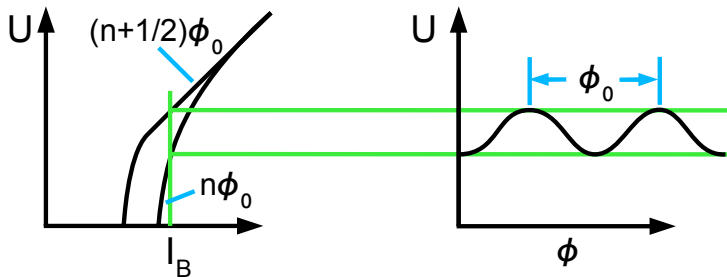
Fraunhofer
-Figur [5]

dc SQUID - dynamischer Zustand $U \neq 0$

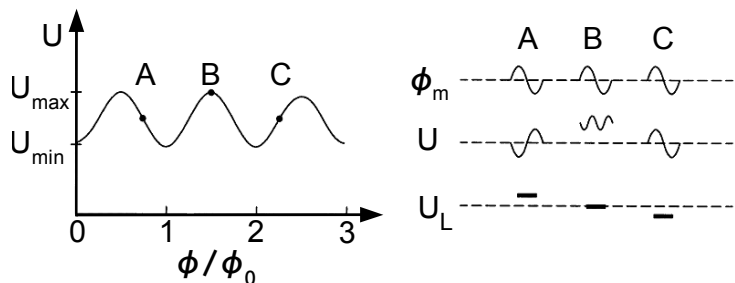


RCSJ-Modell
(Resistively and Capacitively Shunted Junction)

$$I = I_0 \sin \delta + \frac{U}{R} + C \dot{U} \quad \text{mit} \quad U \propto \dot{\delta}$$

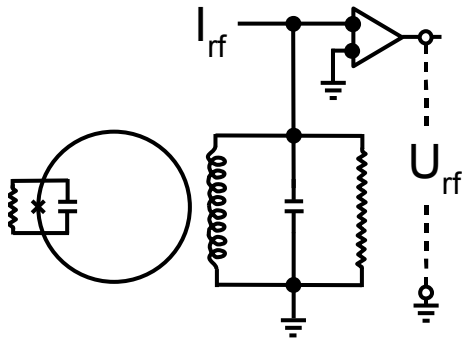


FFL (flux-locked loop)



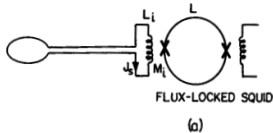
- kleine Flussmodulation $\Phi_m(\omega) \Rightarrow$ Spannungssignal U
- Über Flussmodulation bei Extremum bleiben (flux-locked)
- Abweichung im Spannungssignal (Fehler-Signal) werden zur Remodulation genutzt (loop)

rf SQUID

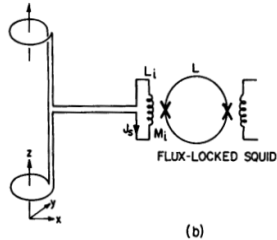


- Induktive Kopplung an Tankkreis
- Amplitude I_{rf} des Wechselstroms wird konstant gehalten
- U_{rf} ist periodisch zu Φ
- erneut Verwendung von FLL

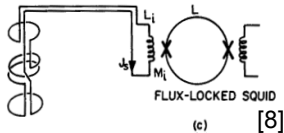
Magnetometer:
 $U \sim B_z$



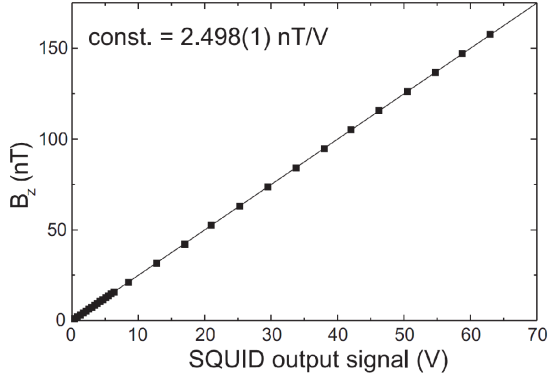
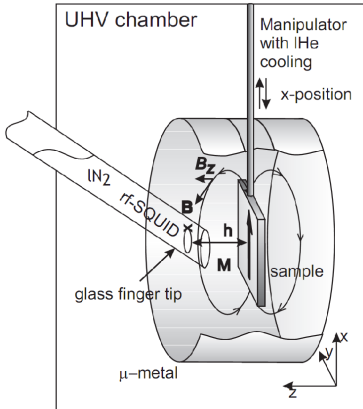
Gradiometer
(1.Ordnung):
 $U \sim dB_z/dz$



Gradiometer
(2.Ordnung):
 $U \sim d^2B_z/dz^2$

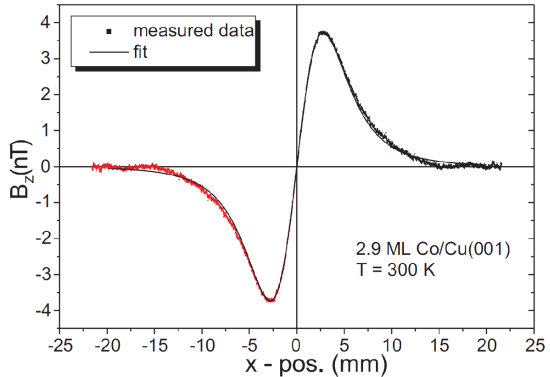
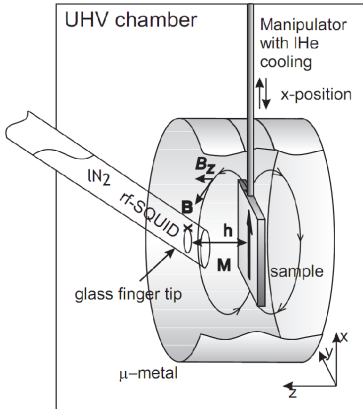


Magnetometer



Kalibrierung des SQUIDs^[9] über Spulen

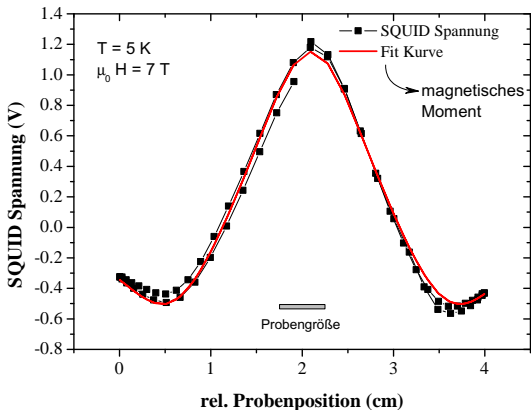
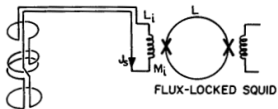
Magnetometer



$$B_Z(u, v, h) = \frac{3\mu_0}{4\pi} M \cdot d \cdot h \cdot \int_{-a/2}^{a/2} \int_{-a/2}^{a/2} \frac{u-x}{R^5} dx dy \Rightarrow M$$

mit Magnetisierung M , Filmdicke d , Probenbreite a , Relativposition des SQUIDs zu einem Dipol $\mathbf{R} = (u - x, -y, h)$

Gradiometer (2.Ordnung)



Nach Kalibrierung (z.B. Ni-Probe) und bei bekanntem Probenvolumen
 $\Rightarrow M$

Zusammenfassung

- dc SQUID bei $U = 0$: $I = I_0 \sin \delta_0 \cos \frac{\pi \Phi}{\Phi_0}$
- dc SQUID bei $U \neq 0$:
RCSJ-Modell (Resistively and Capacitively Shunted Junction)
- Messung über FLL (flux-locked loop):
Über Flussmodulation bei Extremum bleiben
- rf SQUID: Induktive Kopplung an Tankkreis
- Flusstransformatoren: Magnetometer und Gradiometer

Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!

- [1] S. K. Range, Gravity Probe B: Exploring Einstein's Universe with Gyroscopes, NASA, 27 (2004), http://einstein.stanford.edu/content/education/GP-B_T-Guide4-2008.pdf.
- [2] A. H. Silver, How the SQUID was born, Supercond. Sci. Technol. 19, S173 (2006).
- [3] R. C. Jaklevic et al, Phys. Rev. Lett. 12, 159 (1964).
- [4] H. Ibach und H. Lüth., Festkörperphysik. Springer-Verlag (2009).
- [5] K. Kopitzki und P. Herzog, Einführung in die Festkörperphysik, Teubner Verlag (2007).
- [6] F. Ruede, Hochempfindliche Stromsensoren auf DC-SQUID-Basis für den Betrieb in elektromagnetisch gestörter Umgebung, Dissertation, Technischen Universität Berlin (2008).
- [7] W. G. Jenks et al, SQUIDs for nondestructive evaluation, J. Phys. D: Appl. Phys. 30 293 (1997)
- [8] H. Weinstock, SQUID sensors: fundamentals, fabrication, and applications, Kluwer Academic Publishers (1996)
- [9] A. Ney, A New Design of an UHV-High- T_c -SQUID Magnetometer: Absolute Determination of Magnetic Moments of 3d-Transition Metal Films, Dissertation, Freie Universität Berlin (2001)