



Doctoral Thesis

Magnetic relaxation effects in organic, high-T_c, and classical superconductors flux-creep by thermal activation and quantum tunneling

Author(s):

Giovanni, Juri

Publication Date:

1992

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000667006> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No. 9674

**Magnetic Relaxation Effects in Organic, High-T_c,
and Classical Superconductors: Flux-Creep by
Thermal Activation and Quantum Tunneling**

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
ZURICH

for the degree of
Doctor of Natural Sciences

presented by

JURI GIOVANNI
Dipl. Phys. ETH
born on the 22nd March 1961
citizen of Quinto (Ticino)

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. A.C. Mota, examiner
Prof. Dr. J. L. Olsen, co-examiner
PD Dr. H. Keller, co-examiner

1992

ABSTRACT

A systematic study of magnetic relaxation phenomena in classical (NbTi, PbIn), Chevrel Phase, high- T_c ($Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$, $Y_1Ba_2Cu_4O_{8+x}$ and $Sr_{0.2}La_{1.8}CuO_4$) and organic $[(BEDT-TTF)_2Cu(SCN)_2]$ superconductors was carried out at 4.2 K. Measurements of the time relaxation of the remanent magnetization show that at this temperature relaxation effects are much stronger in high- T_c and organic superconductors than in classical or Chevrel Phase superconductors. The logarithmic time dependence predicted by the Kim-Anderson theory of flux-creep is verified only for classical superconductors, where relaxation effects are very small. The relaxation curves measured for all the other superconductors exhibit marked deviations from the logarithmic law. All these curves can be well fitted by a power law of the type $M_{rem}(t) = M_{rem}(\infty) + b(t/t_0)^{-\beta}$ within the time window of our experiments ($1 \text{ s} \leq t \leq 10^5 \text{ s}$, $t_0 = 1 \text{ s}$). The values of β obtained from the fits range between 0.02 and 0.20.

From the initial logarithmic rates $R = -\partial \ln M_{rem}(t) / \partial \log t \big|_{t \approx 1 \text{ s}}$ values of the average pinning energies U_c at 4.2 K were calculated. For the organic and the high- T_c superconductors the values of U_c range between 3 and 35 meV, whereas for Chevrel Phase and classical superconductors the values of U_c are between 0.15 eV and 0.7 eV.

Isothermal dc magnetization cycles and relaxation curves of $M_{rem}(t)$ were measured on $(BEDT-TTF)_2Cu(SCN)_2$ single crystals between 5 mK and 8 K for applied fields H perpendicular and parallel to the superconducting planes (bc -plane) of the specimens. The values of the critical currents $J_c^{bc}(0)$ and $J_c^{a^*}(0)$ obtained from the remanent magnetization data are about 2000 and 30 A/cm², respectively. At temperatures $T < 300 \text{ mK}$ the values of the initial logarithmic slopes $S = -\partial M_{rem}(t) / \partial \log t \big|_{t \approx 1 \text{ s}}$ of the relaxation curves are constant for both field orientations. The corresponding constant values of the normalized decay rates R are of the order 0.015 and 0.005 for $H \perp bc$ and $H \parallel bc$, respectively. These results provide clear evidence of non-thermally activated flux motion. They can be, both qualitatively and quantitatively, explained by the theory of quantum collective creep (QCC) for layered superconductors in the limit of strong dissipation and for $T \rightarrow 0$. At higher temperatures the values of R follow

a T^2 -dependence for both field orientations, as predicted by the QCC theory for the case of thermally-assisted quantum tunneling. For $H \perp bc$ the temperature dependence of R above about 1 K deviates from the T^2 -dependence and shows two peaks. This feature can be explained by the Kim-Anderson theory of flux-creep, if one assumes that pinning centres characterized by two different pinning strengths are effective in this material. For these two types of pinning centres we obtain values of the activation energy U_c equal to 3 ± 1 meV and 14 ± 4 meV.

The analysis of the magnetization curves indicates that the organic superconductor $(BEDT-TTF)_2Cu(SCN)_2$ behaves essentially as a stack of superconducting layers (bc-planes) with extremely weak interlayer coupling in most of the temperature range. In fact, for $H \parallel bc$ the values of H_{c1}^{\parallel} are smaller than 0.5 Oe at all temperatures between 5 mK and 8 K. For $H \perp bc$, the $H_{c1}^{\perp}(T)$ -curve exhibits an upward curvature and the values of H_{c1}^{\perp} increase strongly below 4 K [$H_{c1}^{\perp}(0) \approx 380$ Oe]. This temperature dependence can be explained in terms of a gain of condensation energy due to proximity-induced superconductivity between the layers as the temperature is lowered. It turns out that the $H_{c1}^{\perp}(T)$ -data follow an exponential temperature dependence, that is typical of the breakdown fields in proximity systems. It is noteworthy, that the exponential temperature dependence of the "irreversibility line" observed at low temperatures for the highly anisotropic high- T_c compound Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O has also been explained with this approach.

The relaxation of the remanent magnetization was measured at 4.2 K on a single crystal of $Y_1Ba_2Cu_4O_{8+x}$ as function of the (previously) applied field H_i ($0 \leq H_i \leq 800$ Oe) and of the field orientation ($H_i \parallel a$ -, b - and c -axis). The values of the relaxation rates R (~ 0.05 - 0.08) are about the same as in $Y_1Ba_2Cu_3O_{7.8}$. Unfortunately, due to the limited field range of our experiments the fully critical state was not reached in the field orientation with $H_i \parallel c$, so that a conclusive study of the anisotropy of the relaxation rates was not possible.

KURZFASSUNG

Eine systematische Untersuchung magnetischer Relaxationseffekte ist an verschiedenen Supraleitern durchgeführt worden. Die Proben bestehen aus klassischen Supraleitern (NbTi, PbIn), Chevrel-Phase- (PbMo_6S_8), Hochtemperatur- ($\text{Y}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, $\text{Y}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_4\text{O}_{8+x}$ und $\text{Sr}_{0.2}\text{La}_{1.8}\text{CuO}_4$) und organischen $[(\text{BEDT-TTF})_2\text{Cu}(\text{SCN})_2]$ Supraleitern. Messungen der Zeitrelaxation der remanenten Magnetisierung M_{rem} bei 4.2 K zeigen, dass magnetische Relaxationseffekte in Hochtemperatur- und organischen Supraleitern viel stärker sind als in Chevrel-Phase- oder klassischen Supraleitern. Die Gültigkeit des logarithmischen Zeitgesetzes (Anderson-Flusskriechen) wurde im Fall der klassischen Supraleitern, die sehr schwache Relaxationseffekte aufweisen, festgestellt. Die an allen anderen Supraleitern gemessenen Relaxationskurven zeigen klare Abweichungen vom logarithmischen Zeitgesetz innerhalb der typischen Zeitspanne unserer Relaxationsexperimente ($1 \text{ s} < t < 10^5 \text{ s}$). Solche Relaxationskurven konnten mit einem Potenzgesetz der Art $M_{\text{rem}}(t) = M_{\text{rem}}(\infty) + b(t/t_0)^{-\beta}$ gefittet werden (mit $t_0 = 1 \text{ s}$ und β zwischen 0.02 und 0.2). Die durchschnittliche Aktivierungsenergie U_c bei 4.2 K wurde aus der anfänglichen logarithmischen Relaxationsrate $R = -\partial \ln M_{\text{rem}} / \partial \log t|_{t \approx 1 \text{ s}}$ der Relaxationskurven berechnet. Die Werte von U_c liegen im Bereich von 3 bis 35 meV für organische und Hochtemperatursupraleiter und zwischen 0.15 und 0.7 eV für Chevrel-Phase- und klassische Supraleiter.

Magnetisierungskurven und Relaxationskurven von M_{rem} bei konstanter Temperatur sind an zwei Einkristallen aus $(\text{BEDT-TTF})_2\text{Cu}(\text{SCN})_2$ im Temperaturbereich von 5 mK bis 8 K durchgeführt worden. Dabei wurde das magnetische Feld parallel bzw. senkrecht zu den stark supraleitenden Ebenen (bc-Ebenen) der Kristalle angelegt. Aus den Werten von M_{rem} im vollständig kritischen Bereich (Bean's critical state model) sind die kritischen Stromdichten $J_c^{\text{bc}}(0)$ und $J_c^{\text{a}}(0)$ abgeschätzt worden. Für die zwei anisotropen Komponenten von J_c erhalten wir 2000 bzw. 30 A/cm². Die normierte Relaxationsrate R ist bei tiefer Temperatur für beide Feldrichtungen konstant ($R \sim 0.01$). Dieses Resultat zeigt, dass ein nicht thermisch aktivierter Relaxationseffekt bei tiefer Temperatur wirksam ist. Die in diesem Gebiet erhaltenen Relaxationsraten sowie ihre Abhängigkeit von der Feldrichtung können im Rahmen der Theorie des Quantum Collective Creep (QCC) für geschichtete Supraleiter im Grenzfall $T \rightarrow 0$

erklärt werden. Unsere experimentellen Daten zeigen bei höheren Temperaturen eine T^2 -Abhängigkeit, die ebenfalls im Rahmen der QCC-Theorie verstanden werden kann. Die Relaxationsrate R für $H \perp bc$ weist bei noch höheren Temperaturen ($T > 1.5$ K) ein aussergewöhnliches Verhalten mit zwei Maxima auf. Eine solches Verhalten kann mit Hilfe der Flux-Creep-Theorie von Anderson erklärt werden, wenn man annimmt, dass zwei verschiedene Arten von Haftzentren im Material vorhanden sind. Für diese zwei Typen von Haftzentren erhalten wir für U_c Werte von 3 ± 1 meV und 14 ± 4 meV.

Die Analyse der Magnetisierungskurven als Funktion der Temperatur zeigt, dass $(BEDT-TTF)_2Cu(SCN)_2$ sich wie ein geschichteter Supraleiter mit sehr schwacher Kopplung zwischen den supraleitenden Schichten (bc-Ebenen) verhält. Die Werte von H_{c1} für $H \parallel bc$ sind nämlich im ganzen Temperaturbereich (5 mK-8 K) kleiner als 0.5 Oe. Für $H \perp bc$ zeigt H_{c1} eine unkonventionelle Temperaturabhängigkeit, die durch eine starke Zunahme unterhalb 4 K charakterisiert ist. Die Werte von H_{c1}^\perp sättigen bei tiefer Temperatur ($T < 1$ K) bei etwa 380 Oe. Eine solche Temperaturabhängigkeit kann durch eine Zunahme der Kondensationsenergie bei tiefer Temperatur auf Grund von Proximity-Effekten zwischen den supraleitenden Schichten verstanden werden. Es stellt sich heraus, dass die $H_{c1}^\perp(T)$ -Kurve einem Exponentialgesetz gehorcht. Dies entspricht dem typischen Verhalten von "breakdown fields" von Proximity-Systemen. Es ist bemerkenswert, dass das Auftreten eines Exponentialgesetzes bei tiefer Temperatur für die "irreversibility line" der stark anisotropen Hoch- T_c -Verbindung Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O auch durch Proximity-Effekte erklärt werden kann.

Die Relaxation von M_{rem} wurde bei 4.2 K an einem $Y_1Ba_2Cu_4O_{8+x}$ Einkristall als Funktion des angelegten Feldes ($H \lesssim 800$ Oe) und der Feldrichtung (H parallel zur a-, b- und c-Achse) untersucht. Für die Relaxationsrate erhalten wir etwa die gleichen Werte ($R \sim 0.05-0.08$) wie für $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$. Wegen des beschränkten Feldbereichs unserer Experimente wurde der vollständig kritische Bereich für $H \parallel c$ -Achse nicht erreicht, so dass eine abschliessende Studie der Anisotropie der Relaxationsrate nicht möglich war.