



行政院國家科學委員會專題研究計劃成果報告

混合態高溫超導之霍爾效應

計劃編號：NSC 87-2112-M-032-004

執行期限：86年8月1日至87年7月31日

主持人：陳惟堯 淡江大學物理系

一. 中文摘要

本研究提出一個解釋二類超導反常霍爾效應的模型。此模型考慮釘扎磁通晶格之多體相關效應。霍爾電阻系數之變號是由於熱助(thermal assistant)釘扎晶格運動及熱激發引起之反磁通子的熱助運動相互競爭所致。此模型可解釋很多重要實驗結果。

關鍵詞：霍爾效應；釘扎晶格

Abstract

We present a new model for the anomalous Hall effect in the mixed state type II superconductors. In this model a pinned vortex lattice, and the many body correlation effects of the vortex lattice are considered. The sign change of the Hall resistivity is due to the competition between the thermal activated motion of the thermal induced effective antivortices and that of the pinned vortex lattice together with the thermal induced interstitial vortices. Within this model many essential experimental results can be explained.

Keyword: Hall effect; vortex lattice

二. 緣由與目地

雖然在實驗中很早便發現了反常的混合態超導霍爾效應，但在理論上一直是一個沒有解決的問題。最近幾年中有許多理論及實驗的論文討論此一問題。本論文探討磁通晶格的本徵態以及由熱振動而引起的反磁通子的熱助運動進而應用 Bardeen-Stephen 所提出正常核模型(normal core model)解釋此一反常現象。他們考慮的磁通結構，係由中心區其 $n_s = 0$ ；然後慢慢增加至邊界。其消耗(dissipation)是由於準粒子被晶格散射所致。

P. Nozières 及 W. F. Vinen, 則提出一個 n_s 在磁通邊界不連續的模型。還有許多其它個理論模型，但均不能說明負的反常霍爾角的實驗結果。C.S. Ting 等人，提出一個包括回流的磁通運動模型，並考慮雜質釘扎效應，它們大致可以解釋負的反常霍爾角。

我們詳細研究此一現象，考慮磁通中準粒子

能量弛耗的機制，包含準粒子與晶格散射，以及準粒子間相互碰撞；再由力平衡方程式，來討論磁通的運動。由於以往為求解此一混合態超導霍爾效應，許多人曾經嘗試了有異於磁通子運動模式的理論。起初 M. Galffy 和 E. Zirmgihl 等人，認為此一現象可能由於轉換區邊界所引起；亦有雙帶模型，漲落模型，等來解釋此現象；不過後來越來越多的實驗顯示，霍爾效應為一混合態的特性。

除了前面已提到 Bardeen-Stephen 等人的理論外，尚有 S. N. Artemenko 與 Hagen 等人提出的磁通運動模型，由於不論是理論，或是實驗方面，均留下許多疑問是引發我們對此一議題深入討論的原因。

所以，我們在處理此問題上，係考慮將磁通分為核心區 (core region)，及轉換區 (transition region)，並分別從準粒子晶格散射，及準粒子間相互碰撞 (quasiparticle relaxation through lattice, and quasiparticle - quasiparticle collisions)，來討論準粒子能量弛耗機制 (energy relaxation mechanism)。然後我們將深入研究，各類磁通的作用力，例如像是電磁力 (electromagnetic force)，轉換力 (convert force)，接觸力 (contact force)，摩擦力 (viscous - drag force)，與及雜質的釘扎力 (pinning force) 等。再進一步由力平衡方程式，來討論磁通運動，隨後計算出霍爾電阻。最後我們可將計算所求出的結果，與現有的實驗數據作一比較。

三. 結果與討論

本文以磁通晶格本徵態能量，及由熱激發所產生之磁

通子數，利用 M. V. Feigel'man 等人計算所求出的熱助磁通子及反磁通子流的勢位能，以及 Bardeen - Stephen 所提出的正常核模型，計算出霍爾電阻，及霍爾角，再進一不和實驗的數據作深入的比較。

我們的計算發現：

(1). 反常的霍爾效應，在磁場大於 B_l ，小於 B_u 時，才會發生。同時所使用的樣品，也須不是很純淨的時候才會產生霍爾效應。

(2). 致於我們的模型，是不需要依賴樣品種類的，亦即不論我們所採用的是層狀 (layered)，薄膜 (film)，亦或是單晶 (crystal) 結構，皆可使用。因此霍爾反常效應，亦是與上述樣品種類無關的。

(3). 同時計算還發現，所求得的，負的霍爾效應區間，在高的磁場時候，是小於低磁場區間。

(4). 而當系統的磁場 B 相當弱的時候，反常的霍爾效應，係與磁場 B 無所關聯的；而當系統是處於高溫時，其霍爾效應，將正比於溫度 T ，而當溫度 T 大於超導的臨界溫度 T_c 時，則將回復到正常的霍爾效應。

(5). 計算同時顯示，當我們若將溫度此項加以固定，而另一方面，則將磁場由 B_l 開始增加時，其霍爾角則將開始由負值，漸減至一個極小值後，再逐漸增加一直到正值。

我們所計算出的結果，再與各項實驗相加分析比較，顯示確實與相關的實驗一致。

四. 參考文獻

[1]. A. A. Abrikosov, JETP, 5,

- 6, 1174 (1957) .
- [2]. E. H. Brandt , Rep. Prog. Phys. 58, 1465 (1995) .
- [3]. W. Y. Chen and S. Y. Chang , Chinese Journal of Physics , 31, 6 - II , 1019 (1993) .
- [4]. E. H. Brandt , R. G. Mints , and I. B. Snapiro , Phys. Rev. Lett. 76, 827, (1996) .
- [5]. J. Bardeen , and M. J. Stephen , Phys. Rev. 140 , A1197 (1965) .
- [6]. S. J. Hagen , A. W. Smith, M. Rajeswari , J. L. Peng, Z. Y. Li, R. L. Greene, S. N. Mao, X. X. Xi, S. Bhattacharya, QiLi, and C. J. Lobb, Phys. Rev. B, 47, 1064 (1993) .
- [7]. P. Nozie' res and W. F. Vinen, Philo. Mag. 14, 667, (1966) .
- [8]. P. Ao, J. Supercond. 8, 503 (1995).
- [9]. S.J. Hagen, C. J. Lobb, R. L. Green, M. G. Forrester and J. H . Kang, Phys. Rev. B. 41, 11630 (1990) .
- [10]. L. C. Ho, Can. J. Phys. 48, 1939 (1970).
- [11]. J. E. Hirsch and F. Marsiglio, Phys. Rev. B. 43, 424 (1991).
- [12]. A. Freimuth, C. Hohn, and M. Galffy, Phys. Rev. B. 44, 10396 (1991).
- [13]. R. Ferrel, Phys. Rev. Lett. 68, 2524 (1992).
- [14]. S. J. Hagen, C. J. Lobb, R.L. Green, M. G. Forrester and J. Talvacchio, Phys. Rev. B. 42, 6777 (1990) ; S. J. Hagen, C. J. Lobb , R. L. Greene and M. Eddy , Physica, C 185-189, 1769 (1991).
- [15]. N. V. Zavaritsky, A. V. Samoilov and A. A. Yurgens, Physica C. 180 , 417 (1991).
- [16]. S. J. Hagen, C. J. Lobb, R. L. Greene and Eddy, Phys. Rev. B. 43, 6246, (1991).
- [17]. M. Galffy and E. Zirngiebl, Solid State Commun. 68, 929 (1988) ; L. Forro and A. Hamzic, ibid. 71, 1099 (1989) ; Y. Iye, S. Nakamura and T. Tamegai, Physica C. 159 , 616 (1989) ; S. N. Artemenko , I. G. Gorlova and Y. L. Latyshev, Pis'ma Zh. Eksp. Tror. Fix. 49, 352 (1989) [JETP LETT. 49, 403 (1989)] ; j. Luo et al., Phys. Rev. Lett. 68, 690 (1992).
- [18]. K. C. Woo, K. E. Gray, R. T. Kampwirth and J. H. Kang, Physica C. 162- 164 , 1011 (1989).