



Doctoral Thesis

Properties of fermions coupled to gauge fields

Author(s):

Hlubina, Richard

Publication Date:

1993

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000926238> →

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. 10227

Properties of Fermions Coupled to Gauge Fields

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZÜRICH

for the degree of
Doctor of Natural Sciences

presented by
Richard Hlubina
Dipl. Phys. (Comenius University Bratislava, Slovakia)
born December 19, 1963
citizen of Slovakia

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. T. M. Rice, examiner
Prof. Dr. W. Kohn, co-examiner

1993

Kurzfassung

In der vorliegenden Dissertation untersuchen wir Möglichkeiten eines Versagens der Landauschen Theorie der Fermi Flüssigkeiten ohne Symmetriebrechung.

Im ersten Kapitel wird die kürzlich vorgeschlagene Idee der Separation von Spin und Ladung in stark korrelierten Systemen untersucht. Dabei wird ein Elektron in Partonen zerlegt, welche jeweils eine der beiden verschiedenen Quantenzahlen (die Ladung und den Spin) des Elektrons tragen und mit langreichweitigen Eichfeldern wechselwirken. Dieses Konzept wurde erfolgreich bei der Erklärung verschiedener anomaler Transporteigenschaften der Kupferoxide angewendet. Wir betrachten die Frage, ob eine solche phänomenologische Beschreibung durch eine Reihe wohldefinierter Näherungen für ein realistisches mikroskopisches Modell abgeleitet werden kann. Ein Vergleich der freien Energie und der Entropie mit den exakten numerischen Resultaten für das zweidimensionale t - J Modell zeigt eine überraschend gute Übereinstimmung. In unserem Formalismus werden sowohl die Partonen als auch die Eichfelder als Gitterfelder betrachtet, was zu einer Instabilität des untersuchten metallischen Zustandes führt. Die Selbstkonsistenz der in der phänomenologischen Theorie benutzten Näherungen wird geprüft. Wir finden, dass die in der Herleitung der Theorie als klein vorausgesetzten chiralen Fluktuationen in Wirklichkeit gross sind und dass man berücksichtigen sollte, dass das Eichfeld kompakt ist.

Im Gegensatz zum ersten Kapitel, wo das Versagen der Landauschen Theorie *vorausgesetzt* wird und die Konsequenzen einer solchen Annahme untersucht werden, wird im zweiten Kapitel nach den Bedingungen für ein solches Verhalten gefragt. Wir betrachten den Fall der schwachen Kopplung und auch in diesem Sinne sind die beiden Kapitel komplementär. Ein zweidimensionales Modell wird konstruiert, das unter der Benützung einer direkten Verallgemeinerung der Bosonisierungsmethode lösbar ist und dessen Grundzustand sich als eine 'Luttinger-Flüssigkeit' herausstellt. Dieses Modell dient als eine Realisierung des neuen Fixpunkt-Hamilton-Operators von Haldane. Wegen der spezifischen Bandstruktur kommt es zu einem Zusammenbruch der Landauschen Fermi Flüssigkeit in diesem Modell selbst ohne langreichweitige Wechselwirkungen. Um dasselbe Verhalten auch in Systemen mit einem realistischem Dispersionsgesetz zu erhalten, ist es jedoch notwendig, singuläre langreichweitige Wechselwirkungen zu betrachten. Die durch den Austausch des transversalen Eichfeldes verursachten Wechselwirkungen werden untersucht und das resultierende Versagen der Landauschen Theorie der Fermi Flüssigkeiten wird demonstriert.

Abstract

In this thesis we investigate possibilities for a breakdown of Landau's theory of Fermi liquids without symmetry breaking.

In the first Chapter we discuss the recent proposal of spin-charge separation in strongly correlated systems. In this scheme, the electron is split into two partons, each carrying one of the different quantum numbers (charge and spin) of the electron and interacting via long ranged gauge forces. This concept proved to be successful in explaining various anomalous transport properties of the copper oxides. We consider the question whether such phenomenological description can be derived by a series of well defined approximations to a realistic microscopic model of the copper oxides. A comparison of the free energy and entropy to the exact numerical data on the two-dimensional t - J model is made and a surprisingly good agreement is found. In our formalism, both the partons and the accompanying gauge field are lattice fields. This feature is shown to lead to an instability of the considered metallic phase. We also investigate the self-consistency of the approximations used in the phenomenological gauge theory. We find that the chiral fluctuations which were assumed to be small in the derivation of the theory, are actually large and the compact nature of the gauge field should be taken into account.

Contrary to the first Chapter, where the breakdown of Landau's theory is *assumed* and the consequences of this assumption are explored, in the second Chapter we ask what are the conditions for such a breakdown. We are investigating the weak coupling limit and also in this respect the approaches of both Chapters are complementary. We construct a two-dimensional interacting model which we can solve using a straightforward generalization of the bosonization technique and whose ground state is a 'Luttinger liquid'. This model is recognized as a realization of a novel fixed point Hamiltonian constructed recently by Haldane. Due to the particular bandstructure, the breakdown of the Landau Fermi liquid behavior in this model occurs already for nonsingular interactions. To arrive at the same conclusion with more realistic electron dispersions, we have to specialize to long ranged singular interactions. We investigate the interactions mediated by the exchange of a transverse gauge field and demonstrate the resulting breakdown of Landau's theory of Fermi liquids.