

On the Magnetism in Hexaborides

Doctoral Thesis

Author(s):

Wigger, Gérald Andreas

Publication date:

2004

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004876408>

Rights / license:

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

Diss. ETH No. 15756

On the Magnetism in Hexaborides

*A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
ZURICH*

*for the degree of
Doctor of Natural Sciences*

presented by

GÉRALD ANDREAS WIGGER

Dipl. Phys. ETH

born on the 07th January 1975

citizen of Flühli (LU)

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. H. R. Ott, examiner

Prof. Dr. G. J. W. Blatter, co-examiner

2004

Preface

The core of this dissertation deals with an investigation of the low-temperature magnetic and electrical transport properties of a large set of single-crystalline samples of the hexaborides XB_6 . This class of materials has been widely investigated due to anomalous electronic and thermodynamic properties. Mainly, we present a combined experimental and theoretical work which aimed at elucidating a number of physical properties of the ferromagnet EuB_6 . Moreover, we exhibit an investigation of the physical properties of alloys, where Eu is replaced by alkaline-earth or other rare-earth elements.

Outline

This dissertation is composed of seven chapters. In the introduction, chapter 1, we present the reasons of our interest in the physical properties of the investigated materials by outlining the problems raised by the results of previous experiments. In this context we also explain the motivation regarding our work on alloys. In chapter 2, we present the theoretical basis which is needed to explain the studied physical quantities of interest in materials with f-electrons, i.e. the resistivity, the magnetoresistance, the Hall effect as well as the specific heat and the magnetization. Keeping it as short as possible, we describe in chapter 3 the experimental methods which we used to collect our set of data. Although we mention the different types of refrigerators and experimental set-ups, we tried to avoid a lengthy discussion which can be obtained from many text books or previous doctoral theses. Important information on how to model hexaborides is contained in chapter 4, where we explain the magnetic and electronic-transport properties of EuB_6 far away from the phase transitions at 12.5 resp. 15.5 K. To this end, we employ the theoretical tools, which we introduce in chapter 3. Chapter 5 is the main part of this thesis. We

present experimental results that were obtained from material, in which magnetic Eu-ions are replaced by non-magnetic Ca-ions and describe the consequences for the magnetic and electrical transport properties. In chapter 6, we replace the divalent Eu-ions with other trivalent and magnetic rare-earth ions, in order to investigate on the consequences of additional itinerant charge carriers on the magnetism in the hexaborides. In chapter 7, we present experimental results of material where magnetic U-ions are inserted into the non-magnetic CaB_6 matrix. We interpret our results as a Kondo effect in a dilute U-system.

Some Remarks about Style

I would like to conclude this abstract with a comment about the general style adopted in this work. I am aware, that this thesis cannot be understood by a non-physicist and even for a physicist who is not working in this vast field of condensed matter, I believe, it is a hard nut to crack. I apologize for this and I hope that at least some people inside this field may find it interesting. Despite the immense abundance of experimental data, I made an effort to compose this dissertation in the shortest form possible.

Vorwort

Der Kern dieser Dissertation handelt über Nachforschungen an magnetischen und elektrischen Transporteigenschaften bei tiefsten Temperaturen an einer grossen Quantität von Hexaboridristallen XB_6 . Diese Klasse von Materialien wurden auf Grund von anomalen elektronischen und thermodynamischen Eigenschaften sehr stark untersucht. Hauptsächlich präsentieren wir eine kombinierte experimentelle und theoretische Arbeit, welche die physikalischen Eigenschaften des Ferromagneten EuB_6 beschreibt. Zusätzlich haben wir Nachforschungen betrieben, wie sich die physikalischen Eigenschaften verändern, wenn Eu durch Erdalkalimetalle oder andere Seltene Erden ersetzt wird.

Ausblick

Diese Dissertation besteht aus sieben Kapitel. In der Einführung, Kapitel 1, nennen wir unser Interesse an den physikalischen Eigenschaften der untersuchten Materialien, indem wir Uneinigkeiten zwischen vorangehende Experimenten aufzeichnen. In diesem Kontext erklären wir auch unsere Motivation betreffend der Arbeit an dotierten Systemen. In Kapitel 2 führen wir die theoretische Basis ein, welche gebraucht wird um die physikalischen Eigenschaften der Materialien mit f-Elektronen zu beschreiben, nämlich den Widerstand, den Magnetowiderstand, den Hall Effekt wie auch die Spezifische Wärme und die Magnetisierung. Indem wir es so kurz wie möglich halten, beschreiben wir in Kapitel 3 die experimentellen Methoden, welche uns erlauben, unsere Daten zu

registrieren. Obwohl wir die verschiedenen Arten von Kühlmaschinen aufzeichnen, versuchen wir eine lange Diskussion zu vermeiden, indem wir auf Textbücher oder vorangehende Dokorthesen verweisen. Einige wichtige Information, wie diese Hexaboriden im Model verstanden werden können, beinhaltet Kapitel 4, wo wir die magnetischen und elektronischen Transporteigenschaften von EuB_6 fern der Phasenübergänge bei 12.5 und 15.5 K erklären. Dazu haben wir das theoretische Model verwendet, was in Kapitel 3 eingeführt wurde. Kapitel 5 ist der Hauptteil dieser Arbeit. Hier ersetzen wir die magnetischen Eu-Ionen durch nicht-magnetische Ca-Ionen und untersuchen dessen Auswirkungen auf die magnetischen und elektrischen Eigenschaften. In Kapitel 6 ersetzen wir die divalenten Eu-ionen durch trivalente, magnetische Selten-Erden Ionen, um so die Auswirkungen von zusätzlichen Ladungsträger auf den Magnetismus in Hexaboriden zu studieren. In Kapitel 7 zeigen wir experimentelle Resultate von Material wo magnetische U-ionen in die nicht-magnetische CaB_6 -matrix eingeführt wird. Wir interpretieren unsere Resultate mit Hilfe des Kondo Effektes.

Bemerkungen zum Schreibstil

Ich möchte dieses Vorwort mit einem Kommentar über den allgemeinen Schreibstil dieses Dokumentes beenden. Ich bin mir völlig im klaren, dass diese Arbeit von Nicht-Physikern nicht gelesen werden kann. Selbst Physiker, die nicht auf dem Gebiet der kondensierten Materie arbeiten, finden hier eine harte Nuss zum knacken. Ich möchte mich dafür entschuldigen und hoffe dennoch, dass diese Arbeit von Interesse sein kann für Leute aus diesem Gebiet. Trotz der immensen Fülle an experimentellen Daten habe ich versucht, diese Dissertation so kurz wie möglich zu halten.