



Doctoral Thesis

Electrodynamic response of broken symmetry ground states

Author(s):

Perucchi, Andrea

Publication Date:

2005

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004911647> →

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. 15851

Electrodynamic response of broken symmetry ground states

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZÜRICH
for the degree of
DOCTOR OF NATURAL SCIENCES

presented by

Andrea Perucchi

Dipl. Phys. La Sapienza - Rome (I)
born August 21, 1975
in Italy

accepted on the recommendation of

PD Dr. Leonardo Degiorgi, examiner
Prof. Dr. Danilo Pescia, co-examiner
Dr. Marco Grioni, co-examiner

2005

Abstract

Broken symmetry ground states, like superconductivity or charge density wave (CDW), are collective states in condensed matter and attracted a lot of interest over several years.

We present our data on the CDW material NbSe₃. This quasi one dimensional material exhibits two CDW phase transitions at 145 and 59 K, where the resistivity shows sharp anomalies upon decreasing temperature. In the mid to the far-infrared region we find a depletion of the optical conductivity with decreasing temperature for both polarizations (parallel and perpendicular to the chains). This leads to a redistribution of spectral weight from low to high energies due to partial gapping of the Fermi surface as consequence of the CDW transitions. We establish also how much of the Fermi surface is gapped by the transitions. Finally, we deduce the bulk magnitudes of the CDW gaps and discuss the scattering of the ungapped free charge carriers and the role of fluctuation effects. The properties of NbSe₃ are compared with those of TaSe₃, a material on the verge of a CDW transition, which however exhibits no long-range order. We have found in TaSe₃ signatures for a pseudo-gapping of the Fermi surface associated with the formation of short range ordered entities called *molecular states*.

The second main topic of this work is superconductivity in MgB₂. We present magneto-optical reflectivity results in the basal-plane from the ultraviolet down to the far infrared as a function of temperature and magnetic field oriented along the *c* axis. In the far infrared there is a clear signature of the superconducting gap with a gap-ratio $2\Delta/k_B T_c \sim 1.2$, well below the

weak-coupling value 3.52. The gap is suppressed in an external magnetic field, which is a function of temperature. We extract the upper critical field H_{c2} along the c axis. The temperature dependence of H_{c2} is compatible with the Helfand-Werthamer behavior.

Riassunto

I sistemi a rottura spontanea di simmetria, come i superconduttori o le onde di densità di carica (CDW), sono dei modi collettivi della materia condensata e suscitano grande interesse da molti anni.

Presentiamo le nostre misure ottiche sul sistema CDW NbSe₃. Questo materiale quasi unidimensionale esibisce due transizioni di fase a 145 e 59 K, dove la resistività mostra delle anomalie. Nella regione che va dal medio al lontano infrarosso troviamo, al decrescere della temperatura, un abbassamento della conducibilità ottica lungo entrambe le polarizzazioni del campo elettrico applicato (parallelo alle catene o trasversale). Questo porta ad una ridistribuzione del peso spettrale dalle basse alle alte energie, dovuto alla parziale apertura di una *gap* sulla superficie di Fermi, in seguito alla transizione CDW. Stimiamo la frazione della superficie di Fermi che scompare ad ogni transizione di fase. Infine, deduciamo l'ampiezza delle *gaps* CDW, e discutiamo le proprietà di *scattering* dei portatori di carica che rimangono liberi, e il ruolo degli effetti di fluttuazione. Le proprietà del NbSe₃ sono confrontate con quelle del TaSe₃, un materiale in prossimità di una transizione CDW, che però non esibisce ordinamento a lungo raggio. Abbiamo trovato nel TaSe₃ indicazioni dell'apertura di una *pseudogap* associata alla formazione di entità ordinate a corto raggio chiamate *stati molecolari*.

Il secondo tema di questo lavoro è la superconduttività nel MgB₂. Presentiamo la riflettività magneto-ottica misurata sul piano *ab* del MgB₂, dall'ultravioletto all'infrarosso, in funzione della temperatura e del campo magnetico orientato lungo l'asse *c*. Nel lontano infrarosso osserviamo chiaramente

la presenza di una *gap* superconduttiva con un rapporto $2\Delta/k_B T_c \sim 1.2$, minore del valore di accoppiamento debole 3.52. La *gap* viene soppressa da un campo magnetico esterno dipendente dalla temperatura. Stimiamo il valore del campo critico H_{c2} lungo l'asse c . La dipendenza in temperatura di H_{c2} è compatibile con l'andamento di Helfand-Wethamer.