

学位論文題名

Search for Hidden Order Parameter of Heavy Electron Compound URu₂Si₂

(重い電子化合物 URu₂Si₂ の隠れた秩序変数の探査)

学位論文内容の要旨

In this thesis, we would describe the two microscopic-experimental approaches regarding the search for the hidden order parameter of heavy fermion URu₂Si₂. This material was discovered as a heavy fermion compound with superconductivity ($T_c \sim 1$ K) and some sort of ordering with a phase transition temperature $T_0 = 17.5$ K. In the early stages of research, the (upper) ordered phase below T_0 was considered as an antiferromagnetic ordered phase with very tiny ordered moment of $\sim 0.03 \mu_B/U$ and a wave vector of $Q_{AF} = (1, 0, 0)$, which are observed in neutron-scattering experiments. However, later experiments have revealed that the tiny antiferromagnetism are extrinsic and some other 'hidden ordered phase' should exist below T_0 . At present, the hidden order is still veiled in mystery, in spite of a long years of investigations over 25 years. In Chapter 1, the details of the issue of the hidden order, the historical reviews of investigations and the physical properties of this material will be summarized. In this study, we have paid attention to the two possible candidates for hidden order parameter. The one is an electric quadrupole scenario, and the other is a magnetic octupole order model. The former scenario has been tested by means of the resonant X-ray scattering technique. From the experiments, there is no evidence for the electric quadrupole (O_2^2 or O_{xy}) order, and only antiferromagnetic signal was observed with $q = (1, 0, 0)$ as reported in previous researches. Alternatively, we found that the antiferromagnetism occurs in different regions from the hidden ordered phase, because the antiferromagnetic Bragg reflection was observed at a lattice-incommensurate

position, but satellite signals do not appear around the commensurate position. The details of this study will be presented in Chapter 2. The possibility of octupole order has been checked by neutron-scattering experiments under uniaxial stress. From the experiments, we have obtained no evidence for the magnetic octupole (T_z^b or T_{xyz}) order, and only antiferromagnetic signal was observed with $\mathbf{q} = (1, 0, 0)$ as reported in previous researches. The detailed description will be given in Chapter 3. Finally, conclusions will be given in Chapter 4.

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 網 塚 浩
副 査 教 授 大 川 房 義
副 査 教 授 小 田 研
副 査 准教授 河 本 充 司

学 位 論 文 題 名

Search for Hidden Order Parameter of Heavy Electron Compound URu₂Si₂

(重い電子化合物 URu₂Si₂ の隠れた秩序変数の探査)

多くの f 電子系化合物（希土類、アクチノイド化合物）は、低温で f 電子の磁気双極子モーメントが凍結する磁気秩序を示す。これに対し、近年、電気四極子や磁気八極子などの高次多極子自由度が秩序化する現象があることが分かってきた。磁気相転移は通常、中性子回折を用いて直接確認されるが、高次多極子秩序は中性子散乱能が弱く観測が難しい。これに対し、共鳴 X 線散乱は f 電子の電荷分布の対称性を観測できるため、電気四極子秩序の直接的観測手段として、また、磁気八極子の間接的観測手段として脚光を浴びている。また、磁気八極子秩序の場合には、一軸性の歪みによって同じ秩序波数の磁気双極子配列が誘起され得るので、中性子散乱を用いてこれを検証することができる。著者は本論文において、秩序変数が長年未解明で「隠れた秩序」と呼ばれている URu₂Si₂ の相転移について、共鳴 X 線散乱及び一軸応力下中性子弾性散乱を用いて高次多極子秩序の可能性を探る研究を行った。まず、URu₂Si₂ について非常に純良な単結晶を用意し、共鳴 X 線散乱実験を用いて電気四極子秩序の可能性を検証した。詳しい実験の結果、過去にも報告されている $Q = (1, 0, 0)$ に対応する散乱が、非本質的な不均一反強磁性秩序の磁気モーメントによるものであり、これ以外の寄与を含んでいない事を高い実験精度（過去の報告に比べて S/N は約 2 桁向上）で確認した。さらに、秩序の可能性が指摘されている $Q' = (1, 0.4, 0)$ 、およびこれを含む散乱面 $(h, 0, 1)$ 上には有意な散乱がないことを示した。さらに、反強磁性散乱ピークの中心が格子整合位置より僅かにずれている事を発見し、反強磁性が試料表面の歪んだ領域で不均一に発生していることを初めて微視的に証明した。さらに $(h, 0, 1)$ 面内には四極子秩序の兆候が見られないことを確認した。次に著者は磁気八極子秩序の可能性を探るため 1 軸応力下の中性子散乱実験を行った。その結果、 $(h, 0, 1)$ 面内および $(h, h, 1)$ 面内に秩序波数を持つような磁気八極子秩序の兆候は無いことを確認した。これらを要するに、著者は f 電子系における最重要課題の 1 つに位置づけられる URu₂Si₂ の隠れた秩序の問題について、可能な秩序変数を絞り込むための非常に有益な知見を得たものであり、物性物理学における強相関電子系の学術分野に対して貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士（理学）の学位を授与される資格があるものと認める。