

超強磁場における液体および固体酸素の物性

その他のタイトル	Liquid and solid oxygen under ultrahigh magnetic fields
著者	野村 肇宏
学位授与年月日	2016-03-24
URL	http://doi.org/10.15083/00073915

論文審査の結果の要旨

氏名 野村 肇 宏

本論文は 9 章からなる。第 1 章は序論として酸素分子及び、液体、固体酸素の物性について述べた後、論文全体の構成を説明している。第 2 章は酸素分子ダイマーの磁気特性と分子配列について説明し、第 3 章は液体及び固体酸素の各相における物性を論じている。第 4 章は液体及び固体酸素における 100 テスラを超える超強磁場下での磁化測定とその結果について説明し、磁場誘起新規固体相 (θ 相) について述べている。第 5 章は同じく 100 テスラを超える超強磁場下での光吸収スペクトル測定とその結果について説明している。第 6 章は 1 次相転移に伴う熱散逸過程による試料温度の変化を論じており、第 7 章は断熱条件での磁気熱量効果測定とその結果を説明している。第 8 章は実験的に得られた結果を総合的に評価し、熱力学的考察などから温度- 磁場平面上における固体酸素 α 、 β 、 γ 、 θ の各相の相境界を決定している。第 9 章は論文の結論と展望が述べられている。

本論文は、 θ 相の性質の解明を軸として、液体及び固体酸素の強磁場下での物性を詳しく論じている。酸素分子はスピン量子数 $S=1$ を有するため液体、固体酸素は特異な磁気特性を示すが、一方でその強い反強磁性相互作用のために外部磁場による物性制御の研究はほとんど行われてこなかった。本研究の主題は、120 テスラ以上で観測された θ 相の性質を熱力学的に理解するために、これまで全く不明であった液体及び固体酸素の温度- 磁場相図を明らかにすることである。そのため、磁化測定、磁気光吸収分光測定、熱測定をパルス強磁場中で行い、相境界について多角的に議論している。

第 4 章では超強磁場下での磁化測定について述べられている。液体及び固体酸素を直径 1 mm のピックアップコイル内に気体から生成する技術を開発し、磁化測定を可能とした。その結果、相転移に伴う磁化の急増を固体酸素 α 相と β 相について観測している。一方で、 γ 相や液体相では磁場誘起相転移の観測には成功していないが、実験技術上の問題点の指摘や改善点など適切な考察・議論がなされている。

第 5 章は磁気光吸収分光測定について説明されている。酸素分子固有の二分子吸収帯が θ 相出現においてほぼ消失し、また同時に結晶全体の透明度が劇的に向上する特異な現象を観測している。これより、磁化測定で発見された相転移が単なる磁気転移ではなく、構造変化を伴う相転移であることが議論されている。 β 相から γ 相への温度誘起の構造相転移において同様の結晶透明度の急増が観測されることから、低対称結晶構造を有する α または β 相に対して、 θ 相が高い対称性をもつ立方晶であると結論している。

第 6 章では 1 次相転移の熱散逸過程に着目し、パルス磁場印加直後の温度上昇を測定し、議論している。マイクロ秒パルス磁場においては断熱過程が実現することを利用したユニークな技術であり、相転移の存在を検出する一般的な手法としても応用可能であることを指摘している。

第 7 章は低磁場の α 、 β 、 γ 各相間の温度- 磁場平面上における相境界を磁気熱量効果によって 50 テスラまで明らかにしている。これらの相境界は長年にわたり不明であった

ため、 θ 相の発見と並んで学術的意義が高い。さらに、パルス磁場では、2相のエントロピー差が大きい場合には相境界を超えられずに2相共存のまま温度が下がり、そのために従来の磁化測定などでは明瞭な相転移が観測できなかったことを指摘している。磁気熱量効果では相境界で温度の磁場依存性にキックが表れるために相境界を明確に知ることが可能となることを示した。

第8章においては、磁場掃引速度や磁気熱量効果、熱散逸過程などを考慮し、第4章から第7章において論じてきた実験結果を統合して物理的考察を加えることで、温度4.2～50ケルビン、磁場0～200テスラの広い範囲における温度-磁場相図を決定している。 θ 相は90テスラ以上の強磁場でかつ31K以下の低温領域で安定であり、立方晶で低いエントロピーと高磁化率を有する相であると結論している。

本論文は、液体及び固体酸素の磁場中での物性を200テスラに及ぶ超強磁場を用いることではじめて明らかにしている。特に、強磁場下での新規相である θ 相の発見と、長年の未解決問題であった α 、 β 、 γ 各相の温度-磁場平面での相境界を決定し、熱力学的考察からそれらの意義を示したことは、極めて高い学術的価値を持っている。

なお、本論文の第4章から第7章は、松田康弘、小林達生、嶽山正二郎各氏との共同研究であり、それに加え、第4章、第5章は松尾晶、金道浩一各氏との、第5章は何金龍氏、第7章は小濱芳允氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって開発及び実験・解析・考察を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士(科学)の学位を授与できると認める。

以上1980字