

極低温物理の研究拠点構築

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2012-12-26 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 菊池, 彦光, 熊倉, 光孝, 高木, 丈夫, 藤井, 裕, 光藤, 誠太郎 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10098/6980

福井大学平成22年度重点研究「重点研究育成経費」
極低温物理の研究拠点構築

研究代表者： 菊池 彦光（工学研究科・教授）
共同研究者： 熊倉 光孝（工学研究科・准教授）、
高木 丈夫（工学研究科・教授）、
藤井 裕（遠赤外領域開発研究センター・准教授）、
光藤 誠太郎（遠赤外領域開発研究センター・教授）

概 要	
	低温物理学は現代物理学における主要課題である。福井大学では物性物理学の重要主題である磁性、量子光学、量子液体等に関する実験的、理論的研究が理工学専攻及び遠赤センターにおいてなされている。これは本学の基礎研究の大きな特色である。この特色を将来にわたって発展させるためには、これらの研究者の有機的・多角的なつながりが重要である。本研究は本学における低温物理研究をさらに促進する事を目的としている。極低温物理を基調とした各研究グループの今年度の成果について記述した。
関連キーワード	極低温物理、量子効果、ボース・アインシュタイン凝縮、量子液体、磁性体

研究の背景および目的

背景

物性物理学の研究では数 K 以下の極低温環境整備が必須である。物質を冷やすことで熱的な乱れの影響を小さくし、通常環境では熱効果に隠れて見えない相互作用による影響や量子効果を顕在化することで新しい状態や物理現象を発見する事が可能となる。歴史的に見た場合、福井大学では全国の大学のなかでもいち早く液体ヘリウム液化装置が導入されており、その結果として低温物理研究は本学の基礎研究の大きな特徴のひとつとなっている。

目的

本研究プロジェクトは、極低温物理研究に従事

する福井大学内研究者間のネットワークを構築することを第一の目的とする。熊倉准教授（量子光学）は科学技術振興機構さきがけ研究「光の創成・操作と展開」研究者に選ばれるなど量子光学分野の第一人者である。高木丈夫教授は特定領域研究「スーパークリーン物質で実現する新しい量子相の物理」の中心メンバーであり、量子液体に関する理論的研究のエキスパートである。菊池、藤井、光藤らはそれぞれ特定領域研究等に携わり、国内外の磁性研究においては重要な位置を占めている。このように物性物理の主要主題である磁性、量子光学、量子液体等に関する一流の研究者が福井大学に在籍しており、各研究グループ間でさらに情報交換、研究協力を推進し、さらには国内外の研究者の研究拠点となることを目指すものである。

研究の内容および成果

1) 磁性研究

一次元量子スピン磁性体であるデルタ鎖モデルは量子効果とフラストレーション効果とによって、興味深い磁性が期待されることが理論研究により示唆されていたものの、現実物質がないために、実験研究が進んでいなかった。我々はユークロアイトという天然鉱物の結晶構造がデルタ鎖に相似していることを見だし、磁気的性質を調べた。量子効果は低温において顕著になるため、本研究では極低温における磁性測定が必須であり、極低温域での磁化率及び磁化過程を測定した。その結

果、通常の一次元ハイゼンベルク磁性体ではみられないスピンギャップや磁化プラトー的な現象を見出すことが出来た。

2) 量子光学

希薄原子気体のボース凝縮体を利用し原子波の回路を構築するため、葉巻型からリング型への凝縮体の断熱変形に必要なレーザービームステアリングシステムの開発を行った。回折方向を直交させて配置した2個の音響光学変調器を、強度と周波数を $10 \mu s$ で高速切替したラジオ波により同期

して駆動し、 μm の精度でビーム照射位置を空間掃引できる光学系の構築を進めた。また、誘導ラマン遷移を利用して凝縮体波動関数の位相制御をおこなうため、新たなレーザー周波数安定化システムと10 kHz程度の周波数分解能を持つレーザースペクトル計測装置の開発も行った。

3) 量子液体

FSM16とよばれるポーラス物質は、ナノスケールの穴径を持つ円筒形状の物質として知られている。このような幾何形状において、ヘリウム4のボース凝縮温度がどのように変化するかの実験が、精力的に行われている。この系に対する研究に、理論面からの取り組みを行った。具体的には、虚時間経路積分法を用いて、直径が5 nm以下の円筒状容器に対するボース凝縮の可能性を探った。ボース凝縮の振幅は、虚時間方向の世界線が、周期境界条件を課した円筒容器に対する巻数(winding number)を調べることで計算した。ここでの容器径

は、壁面に吸着されたヘリウム4の第1層目の固層から測った有効径である。その結果、実効容器径が約2nmがボース凝縮の臨界半径であり、それ以下の半径では粒子交換が幾何障害のために禁止されるため、ボース凝縮を示さないことが理解された。この臨界半径は、第1層目の容器壁の吸着ポテンシャルには、余り影響されず、本質的に幾何障害を与える目安である有効径で決まることを示した。求められた臨界径および超流動密度の温度依存性は実験と整合しており、この成果を、学会誌 J. Low Temp. Phys. に発表した。

以上記述した各グループの研究成果を基にして、次年度以降の新学術領域研究や特定領域研究といった競争的資金・外部資金獲得にむけた申請を行っている。

本助成による主な発表論文等、特記事項および競争的資金・研究助成への申請・獲得状況

「主な発表論文等」

H. Kiriya, J. Taniguchi, M. Suzuki, T. Takagi, “Path Integral Calculation of ^4He in Quasi-one-dimensional Channels”, J. Low Temp. Phys., 162, 597–602 (2011).

S. Okubo, H. Wada, H. Ohta, T. Tomita, M. Fujisawa, T. Sakurai, E. Ohmichi, and H. Kikuchi, “Anomalous Spin Dynamics Observed by High-Frequency ESR in Honeycomb Lattice Antiferromagnet $\text{InCu}_{2/3}\text{V}_{1/3}\text{O}_3$ ”, J. Phys. Soc. Jpn. 80, 023705 (4 pages) (2011).

H. Kikuchi, Y. Fujii, D. Takahashi, M. Azuma, Y. Shimakawa, T. Taniguchi, A. Matsuo and K. Kindo, “Spin gapped behavior of a frustrated delta chain compound euchroite”, to be published in J. Phys. Conf. Ser. (2011).

M. Fujisawa, H. Kikuchi, Y. Fujii, S. Mitsudo, A. Matsuo and K. Kindo, “New category of the frustrated quantum magnets composed of spin-1/2 triple-chains”, to be published in J. Phys. Conf. Ser. (2011).

N. Takahashi, S. Okubo, H. Ohta, T. Sakurai, Y. Ishikawa, M. Fujisawa and H. Kikuchi, “High-frequency ESR Measurement of $S = 1/2$ 1D Heisenberg Antiferromagnetic Zig-zag Chain $(\text{VO}(\text{SO}_4)(2,2\text{-bpy}))$ ”, to be published in Applied Magnetic Resonance (2011).

「競争的資金・研究助成への申請・獲得状況」

文部科学省・科学研究費補助金・特定領域研究「フラストレーションが創る新しい物性」・2007年度-2011年度・採択・研究経費総計1,029,700千円 (代表：川村光、分担：菊池彦光)

北陸地区国立大学学術研究連携支援・「北陸量子スピ研究グループ」・2010年度・採択・100千円 (代表：菊池彦光、辻井宏之(金沢大)、分担：藤井裕)、2011年度・継続申請中

日本学術振興会・科学研究費補助金・基盤研究(B)「原子波回路の構築と物質波ソリトンへの応用」・2010年度-2013年度・採択・12,800千円 (代表：熊倉光孝)

文部科学省・科学研究費補助金・新学術領域研究・「先端スピン計測技術が拓く生体機能材料」・2011年度・申請中・研究経費総計197,700千円 (代表：太田仁、分担：光藤誠太郎、藤井裕)

文部科学省・科学研究費補助金・新学術領域研究(研究領域提案型)(公募研究)対称性の破れた凝縮系におけるトポロジカル量子現象・「境界近傍での超流動 ^3He の新奇な状態」・2011年度・申請中 (代表：高木丈夫)

日本学術振興会・二国間交流事業(韓国との共同研究)・「固体量子コンピュータへの応用を目指した Si:P 結晶の超低温・強磁場下の磁気共鳴」・2011年度・申請中 (代表：藤井裕)