

平成16年度COE特別研究奨励費研究計画調書

(ふりがな) 氏名	しもだ ゆういち	所属	資格
	下田 雄一	物理学 専攻	COEフェロー・ <u>博士</u> (4年・ <u>3年</u> ・2年・1年)
研究課題	40文字以内で記入すること。 2層系 $\nu=2/3$ 量子ホール状態における励起スペクトルの解明		
研究指導者	職名	氏名	15年度奨励費採択の有無
	教授	青木 晴善	有・無

研究目的	募集要領の趣旨に沿った目的を箇条書きで具体的に記入すること。
<p>量子ホール効果は2次元電子系に電流を流し、2次元系の法線方向に強磁場を印加したときに電流方向の抵抗がゼロを示し、電流と垂直方向の抵抗(ホール抵抗)が量子化される現象である。この現象は「電子相関」効果の一つの現れであるが、「2次元」という特殊性から「分数電荷」、「分数統計」、「磁束量子の付着による粒子の統計性の変換(複合フェルミオン、複合ボソン、エニオン)」などといった新しい物理的概念が実現する興味深い現象である。分数量子ホール状態はホール抵抗が分数に量子化される状態で、磁束量子を偶数本電子に付着させた複合フェルミオンの整数量子ホール状態であると考えられている。従来、1層系においては電子から複合フェルミオンに移る際、電子間のクーロン相互作用がほとんど複合フェルミオンの有効質量に繰り込まれ、複合フェルミオン間相互作用はゼロになると考えられてきた。その結果、単なる準位交差による定性的な議論で現象を説明し、ある程度の成果を収めてきた。しかし、我々が行った2次元電子系を2層近接配置した2層系の実験¹⁾では、複合フェルミオン間相互作用は電子間クーロン相互作用と同程度の強さを持つと考えなければ実験事実を説明できないことが分かった。つまり2層系は複合フェルミオン間相互作用がその姿を垣間見せる重要な系の一つであるといえる。</p> <p>本研究の目的は</p> <ul style="list-style-type: none"> ・2層2次元電子系におけるランダウ準位占有率$\nu=2/3$や$2/5$分数量子ホール状態を複合フェルミオンの$\nu=2$整数量子ホール状態と捉え、その状態からの励起スペクトルを数値的に解明すること ・励起スペクトルの振る舞いから複合フェルミオン間相互作用の詳細な性質を明らかにすること ・2層複合フェルミオン系の励起スペクトルのシステムティックな計算方法を確立することである。 	
1) N. Kumada, D. Terasawa, Y. Shimoda et al., Phys. Rev. Lett. (2002) 89 116802.	

研究計画	<p>研究経費との関連も含めて、何をどこまで明らかにしようとするかがわかるように焦点を絞り、箇条書きで記入すること。 また、設備用品費又は旅費が90%を超える場合は、研究計画の特殊性ないし特殊事情について記入すること。</p>
	<p>我々が過去に行った2層系$\nu=2/3$分数量子ホール状態の実験で、総電子密度と2層間の電子密度差を変化させることにより、スピン偏極率や層の自由度を表す擬スピン偏極率の相図を作成した。この状態は、電子に2本の磁束量子を付着させた複合フェルミオンの$\nu=2$整数量子ホール状態と見なせるが、電子の$\nu=2$状態では最低ランダウ準位のみで議論出来るのに対し、複合フェルミオンでは基底状態に第一励起ランダウ準位に入る粒子があるので、第一励起ランダウ準位も考えなくてはならないことが分かった。</p> <p>また、このような相図を理論的に作成するには励起スペクトルやスピン偏極率などを計算する必要があるが、この計算のためには複合フェルミオン間相互作用の知識が必要となる。しかし平面系では、複合フェルミオン間相互作用の距離依存性などの性質は未だに良く分かっておらず、それ故電子の2層系$\nu=2$量子ホール状態で、ある程度の成功を収めたハートリー・フォック理論やその他の近似理論を複合フェルミオン系に適用できない。これに対し、粒子間の相互作用を距離ではなく角運動量で記述出来るハルデン球面系では、最低ランダウ準位での複合フェルミオン間相互作用を容易に取り扱うことができ、最低ランダウ準位以外の相互作用もこの系で計算できるという利点がある。</p> <p>この系の量子ホール効果の研究での計算方法としては、小数電子系のハミルトニアンを厳密対角化する方法があるが、小さい系しか取り扱えないという制限が付く。そこで、計算方法としては厳密対角化計算よりも大きな系を取り扱うことの出来るハートリー・フォック・ボゴリューボフ近似を採用した。$\nu=2/3$状態は複合フェルミオンの$\nu=2$整数量子ホール状態に対応するので、電子の2層系$\nu=2$量子ホール状態における励起スペクトルを計算したところ、ハートリー・フォック近似等よりもより厳密な結果を与えることが分かった。また、従来基底状態は、ある種のスピン・コヒーレント状態であると考えられてきたが、我々の計算ではスピン・スキューズド状態であり、この基底状態を用いて計算した種々の量が良い振舞いを示すことが分かった。</p> <p>この基底状態のスキューズングは電子の間の相関の効果により起ることから、この近似は電子間の相関効果をより多く取り込んでいるといえる。この近似を用いることにより、実験と比較できて、尚且つより厳密な計算が出来ると期待できる。</p> <p>具体的な研究計画は以下の様になる。</p> <p>A) 2層電子系の$\nu=2/3$や$2/5$分数量子ホール状態を、複合フェルミオンの$\nu=2$整数量子ホール状態と見なし、小規模な系でハートリー・フォック・ボゴリューボフ近似を用いて複合フェルミオンの最低ランダウ準位での励起スペクトルを総電子密度と密度差を変えて求め、同じ系での厳密対角化計算による結果と比較し、最低ランダウ準位で良く記述できる領域を求める。最低ランダウ準位で良く記述出来る領域で、大きな系のスペクトルを求め、総電子密度と電子密度差に対する相図を作成する。</p> <p>B) 最低ランダウ準位で記述出来なかった領域で、最低ランダウ準位と第一励起ランダウ準位に入る複合フェルミオン間の相互作用を数値的に求め、この相互作用とハートリー・フォック・ボゴリューボフ近似を用いて、A)と同様にして相図を作成する。</p> <p>C) 計算結果をまとめ論文を作成し、2層複合フェルミオン系の計算手法を確立し提案する。尚、今年には電子系での2層系$\nu=2$量子ホール状態の計算結果についての発表が、Floridaで行われる国際会議(SemiMag-16)に受理された為、その渡航費用が必要になる。</p> <p>1) N. Kumada, D. Terasawa, Y. Shimoda et al., Phys. Rev. Lett. (2002) 89 116802. 2) Y. Shimoda, T. Nakajima, and A. Sawada, cond-mat/0307722.</p>