

## 論文内容の要旨

### 論文題目 多自由度が関与する量子ホール系の研究 (Study of Quantum Hall Systems with Multiple Degrees of Freedom)

氏名 小寺 克昌

本論文は、2次元電子系のスピン自由度や核スピン自由度など、多様な自由度が関与して量子ホール系で観測される様々現象について議論した。特に、量子ホール系充填率  $\nu \sim 1$  でスカームオン結晶状態が形成されていると考えられる領域において、極低温 (20 mK)、高磁場 (10 T) での抵抗検出 NMR の研究をまとめている。

$\nu \sim 1$  で観測される特異な NMR シグナル (分散型共鳴線形)

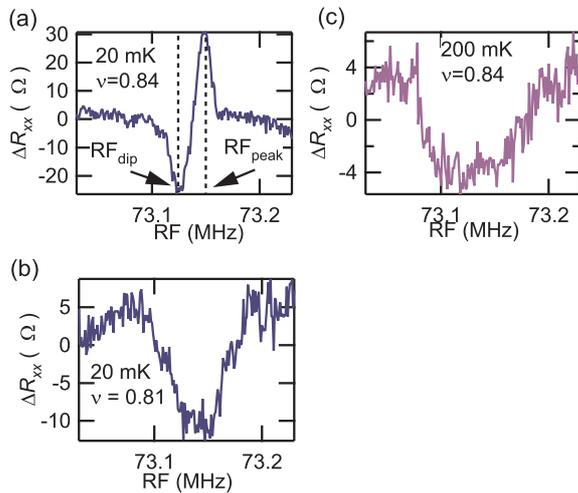


図 1:  $\nu = 1$  付近で観測される NMR の分散型共鳴線形。それぞれ (a)  $\nu = 0.84$ , 20 mK, (b)  $\nu = 0.81$ , 20 mK, (c)  $\nu = 0.84$ , 200 mK における NMR 線形を示してある。20 mK では  $\nu \gtrsim 0.82$  の充填率領域で、 $\nu = 0.84$  では  $T \lesssim 150$  mK の低温で分散型共鳴線形が観測される。

$\nu \sim 1$  のような奇数充填率付近の抵抗検出 NMR 線形は、従来から知られている理論モデルでは共鳴周波数でディップが観測されるようなもの (図 1-(b) に見るようなシグナル) になると期待される。ところが実際は、 $\nu \sim 1$  では図 1-(a) に観測

されるような特異な NMR シグナル (分散型線形) が観測される。現在のところ、この分散型線形の起源は不明であるが、 $\nu \sim 1$  付近で特に観測されることから  $\nu \sim 1$  付近で形成されていると考えられているスカーミオン結晶との関連が疑われている。我々は、この領域での NMR シグナルを初めて系統的に調べることで、実験結果として、分散型線形が消失する温度、充填率が、スカーミオン結晶状態が消失すると理論的に予想されている温度、充填率とほぼ一致していることを明らかにした。具体的には、20 mK の極低温では  $\nu \gtrsim 0.82$  の充填率領域で、 $\nu = 0.84$  においては  $T \lesssim 150$  mK の低温で分散型共鳴線形が観測された。この結果は、分散型線形の発現とスカーミオン結晶状態の形成との関連を示唆するものである。

### 抵抗検出 NMR を用いた核スピンのスピン格子緩和率の系統的な研究

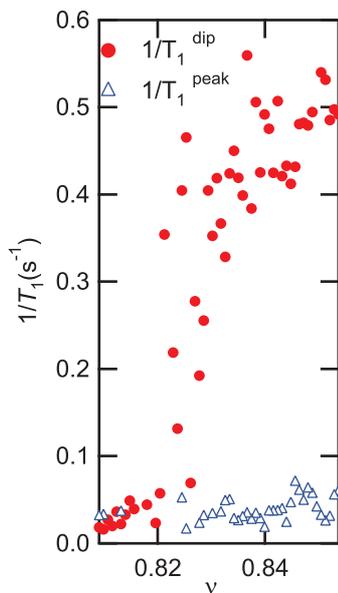


図 2: 分散型共鳴線形のディップおよびピークの位置での核スピン緩和率  $1/T_1^{\text{dip}}$ ,  $1/T_1^{\text{peak}}$  の充填率  $\nu$  依存性。 $\nu \gtrsim 0.82$  の領域で  $1/T_1^{\text{dip}}$  が大きく増大している様子を見ることができる。これは、この充填率領域でスカーミオン結晶が形成されていることを起源にしているものと考えられる。

分散型共鳴線形の起源をより深く探るために、 $\nu \sim 1$  における核スピン緩和率の研究を行なった。RF 周波数のディップの位置  $\text{RF}_{\text{dip}}$  もしくは、ピークの位置  $\text{RF}_{\text{peak}}$  の RF 磁場を印加した後、共鳴から外れた周波数  $\text{RF}_{\text{off}}$  に切り替えたときの抵抗の時間変化から求めることで、2つの核スピン緩和率  $1/T_1^{\text{dip}}$ ,  $1/T_1^{\text{peak}}$  を求めることができる。これらを充填率  $\nu$  に対してプロットしたものを図 2 に示してある。

$\nu \gtrsim 0.82$  の領域で  $1/T_1^{\text{dip}}$  が大きく増大している様子を見ることができる。 $\nu \sim 1$  で、スカーミオン結晶が形成されることにより、 $1/T_1$  の増大が起こることが従来

から知られているが、この振る舞いは分散型線形においてディップの位置の  $1/T_1^{\text{dip}}$  の方に強く反映されることを見いだした。

この  $1/T_1^{\text{dip}}$  の増大している領域と、NMRシグナルに分散型線形が観測される領域はほぼ一致しており、この結果は分散型共鳴線形の発現とスカーミオン結晶の形成の関連を示唆する結果になっている。また  $\text{RF}_{\text{peak}}$  については充填率を変えていって  $\nu \sim 1$  となってもほとんど変化しないことが新しく見いだされた。これは分散型共鳴線形のピーク部分の核スピン縦緩和率がスカーミオン結晶の形成による影響がほとんど存在しないことを示している。

### $\nu \sim 1$ における核スピンのスピン格子緩和率の温度依存性

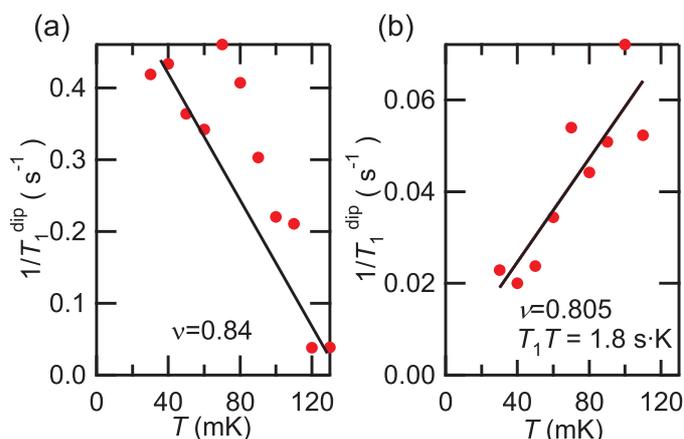


図 3:  $\nu \sim 1$  における核スピンの緩和率の温度依存性。(a) 低温でスカーミオン結晶が形成されていると考えられる充填率 ( $\nu = 0.84$ ) では温度増加と共に緩和率が減少するという異常な振る舞いが見られる。(b) スカーミオン結晶が消失していると考えられる充填率 ( $\nu = 0.805$ ) では温度増加と共に緩和率が增大する。この領域では Korringa 則に従っているように見える。

$\nu \sim 1$  における核スピン緩和率  $1/T_1$  の温度依存性に関する研究を行なった。

我々は、スカーミオン結晶の形成によって核スピンの緩和率が大きくなっている充填率とスカーミオン結晶が形成されていない充填率で、核スピン緩和率  $1/T_1$  の温度依存性を研究した。スカーミオン結晶の形成されている充填率では、核スピンの緩和速度の温度依存性に通常とは異なる振る舞いが観測される。図 3-(a) には、充填率  $\nu = 0.84$  における核スピン緩和率  $1/T_1$  の温度依存性を示した。この領

域では低温における  $1/T_1$  の大きさからスカーミオン結晶が形成されているものと考えられる．温度を増加させるとともに核スピン緩和率  $1/T_1$  が減少するという振る舞いが観測された．これは，高温でスカーミオン結晶が融解することを原因にした現象であると考えられる．一方，図 3-(b) には，充填率  $\nu = 0.805$  における核スピン緩和率  $1/T_1$  の温度依存性を示してある．この領域では低温における  $1/T_1$  の大きさからスカーミオン結晶は消失している領域と考えられる．この領域では温度を増加させるとともに核スピン緩和率  $1/T_1$  が増加するという振る舞いが観測されている．

これらの振る舞いについては，他の各グループでそれぞれ異なる結果が得られており，現象の明確な理解のためには，さらなる研究が必要とされる．

以上， $\nu \sim 1$  での抵抗検出 NMR によるこれら複雑な実験結果は，スカーミオン結晶の形成を強く反映していることを示唆すると考えられる．