

量子ホール系における エネルギー散逸と流体力学方程式

北大工 明楽浩史

1883年レイノルズは円管中の水流を増すと層流から乱流に転移することを見いだしたが、最近細長い2次元電子系に強磁場を加えた系においても電流を増すとエネルギー散逸が不連続に増加すること、またエネルギー散逸の空間分布に円管中の水流と同様の特徴があることが観測された。我々はこの系に対して、特徴的なドリフト項をもつ流体力学方程式を導出し、実験結果との比較を行った。

2次元電子系に強磁場を加えた系では、エネルギー散逸が極めて小さい（すなわち対角抵抗率 ρ_{xx} が極めて小さい）量子ホール効果が観測される。電流密度を増すと臨界電流密度において量子ホール効果は消失し、 ρ_{xx} が数桁増加する（量子ホール効果のブレイクダウンと呼ばれる）。この振る舞いは、円管中の水流における層流・乱流転移に似ている。また、量子ホール効果が消失した後も電子の流入口では ρ_{xx} が小さい状態にあり[1,2]、これも円管中の水流における層流・乱流間の空間的転移に似ている。この他にも、 ρ_{xx} の多彩な空間的・時間的変動が量子ホール効果のブレイクダウンに伴い観測されている。一方、理論的には、Hot-Electronモデルが数々の実験を説明することに成功しているが、このモデルの基本変数である電子温度の時間空間変動を記述する方程式はまだ確立していない。

本研究では、電子温度と化学ポテンシャルの時間空間変動を記述する流体力学方程式を ρ_{xx} が大きい領域において導出し、空間変動の具体例として、電子の流入口付近での ρ_{xx} の空間変動と流入口から十分に離れた位置での電流分布（円管中の水流の流速分布に相当する）を計算した。緩やかにゆらぐポテンシャルにおける電子のドリフト運動と電子・電子および電子・フォノン散乱のモデル[3]をもとに流体力学方程式を導出した。磁場の存在のため、電場に垂直なエネルギー流の項をもつことが特徴である。このエネルギー流のため、電子の流入口付近での ρ_{xx} は緩やかな空間変動を呈する[4]。また、同じエネルギー流により特徴的な電流分布が得られる。電流密度が一方の端で高く他方で低くなるのが特徴で、最近のサイクロトロン発光の実験[5]も同じ傾向を示している。また計算された電流密度は電流の増加とともに一様性を増すことを見いだした。最小エントロピー生成の定理との関連が興味深い。

- [1] S. Komiyama, Y. Kawaguchi, T. Osada and Y. Shiraki: Phys. Rev. Lett. 77 (1996) 558.
- [2] I. I. Kaya, G. Nachtwei, K. von Klitzing and K. Eberl: Phys. Rev. B 58 (1998) R7536.
- [3] H. Akera: J. Phys. Soc. Jpn. 69 (2000) 3174.
- [4] H. Akera: J. Phys. Soc. Jpn. 70 (2001) 1468.
- [5] Y. Kawano and S. Komiyama: Phys. Rev. B 61 (2000) 2931.