

Josephson Effect in Quantum Hall Liquid

二松学舎大文学部 岩崎 愛一

分数量子ホール状態は、ラッフルン関数を波動関数としてもつ状態として特徴づけられる。これが従来の理解であるが、より基本的には、ボーズ化された電子の凝縮状態として特徴づけられるべきである。そうすることで初めて、その状態のもつ秩序が明らかになるからである。なお、電子の凝縮状態を有限電子系に射影したものが、ラッフルン関数である。

さて、ボーズ化された電子の凝縮状態として分数量子ホール状態を特徴づけると、超伝導体とのアナロジーから、ジョセフソン効果等々の性質を量子ホール状態にも期待できる。ただし、クーパー対の凝縮にともなう超伝導流は、ここには存在しない。ゴールド・ストーン・モードが、存在しないのである。量子ホール系は、電子数の保存を自発的に破る秩序状態ではあるが、相互作用が、チャーン・サイモン場を通じて非局所的であるために、ゴールド・ストーンの定理が成り立たないのである。

ところが、2次元面を2層に重ねて出来る2層量子ホール系には、面間を流れる超伝導流が存在しうる。つまり、面内電子数の差の保存（面間で、電子の移動を許さないとそれは保存する）は、自発的に破れることで、系にゴールド・ストーン・モードが現れる。それは、対応するカレント（それぞれの面内のカレントの差）が、チャーン・サイモン場との結合をもたないため、非局所性がなく、ゴールド・ストーンの定理が成立するためである。一方、面間でのトンネル効果を通じてはじめて、その超伝導流が可能となる。そのトンネル効果は、面内電子数の保存を明らかに、自発的ではなく、あらわに破る。そのことは、ゴールド・ストーン・モードが、あらわにギャップをもつことを意味し、超伝導流の存在を否定するかのようと思われる。しかし、それぞれの面内では、電子数の異なる状態間で縮退があるので、トンネル効果を通じて、その状態はミックスする。その結果、面間の位相差が、状態を記述する変数となる。その位相差は、系のエネルギーを最小とするよう、その値が選ばれる。その位相差を、外部電圧を面間に加えることで、平衡状態からずらしてやると、その変化に応じて、電子が面間をトンネル効果を通じて流れるのである。位相差に共役な変数が、面間を流れる電子数だから、である。そして、この現象が、まさしくジョセフソン効果として知られているものである。上で述べた、ギャップをもったゴールド・ストーン・モードは、この位相差のゼロ点振動モードであり、そのギャップは、振動数をあたえる。

このように、ボゾン化された電子の凝縮状態としての秩序をもった分数量子ホール系には、超伝導にみられる様な、ジョセフソン効果が存在するのである。

参考文献

- [1] Z.F. Ezawa and A. Iwazaki, Phys. Rev. B47(1993) 7295; Phys. Rev. B48(1993) in press.
- [2] X.G. Wen and A. Zee, Phys. Rev. B47(1993) 2265.
- [3] Z.F. Ezawa and A. Iwazaki, Phys. Rev. Lett. 70(1993) 3119.
- [4] Z.F. Ezawa, A. Iwazaki and Y.S. Wu, "Josephson Effects in Multi-Layer Quantum Hall System" preprint TU-421(1992).