

分数統計と量子スピン系

東大理学部 青木秀夫

最近、高温超伝導の理論の一つとして注目を集めている分数統計粒子 (anyon) 超伝導理論 [1-6] は、量子スピン系とも深い係わりがあり、この観点からの解説を行った。エニオン超伝導 [7] と量子スピン系との関連は以下のようである。

(1) Laughlin (及び Kalmeyer) による分数統計の最初の導入は、三角格子反強磁性体に対するものである。この系ではフラストレーションがあり、系に仮想的な磁束を突き通してやると、フラストレートしていない系に写像することができる。反強磁性ハイゼンベルク・ハミルトニアンに対しホルシュタイン・ブリマコフ変換をして、ボゾン系とみなすと、写像された系に対し分数量子ホール系の Laughlin 波動関数を試行関数に採用できる。ここで分数統計の統計性 (分数量子ホール系でいえばランダウ準位占有率) は、上記の写像に要する磁束の大きさから、 $1/2$ である。

(2) もう一つの関連は、四角格子上の量子反強磁性体で、スピンの成分をもつ模型を考えたときに、この系の平均場解の中に、磁束相とよばれる相が存在し、これは通常の (実数) 解に磁束を突き通したものと見なせる。この磁束相解は、ある手続きにより、分数量子ホール解に似ていることが示せる。

もう一つのアプローチは、初めから分数統計粒子の集合の存在を仮定し、そのエニオン気体の基底状態の性質を調べる。

講演では、これらのアプローチを中心として、分数統計を縦系に、高温超伝導体、量子磁性体、分数量子ホール系を横系として、解説を行った。また、量子磁性体に対しては、1次元系、量子モンテ・カルロ法によるハバード模型の数値解 [8] にも触れた。

1) V. Kalmeyer and R. B. Laughlin: Phys. Rev. Lett. 59 (1987) 2095; Phys. Rev. B39 (1989) 11879.

2) R. B. Laughlin: Science 242 (1988) 525.

3) R. B. Laughlin: Phys. Rev. Lett. 60 (1988) 2677.

4) R. B. Laughlin: "Mechanism of High Temperature Superconductivity", ed. by H. Kamimura and A. Oshiyama (Springer 1989) p. 76.

5) A. L. Fetter, C. B. Hanna and R. B. Laughlin: Phys. Rev. B39 (1989) 9679.

6) Y.-H. Chen, F. Wilczek, E. Witten and B. I. Halperin: IAS preprint.

7) 解説として、青木秀夫、固体物理 24 (1989) 777 を参照。

8) K. Kuroki and H. Aoki, in preparation.