

分数量子ホール効果

去る8月4、5日物性若手夏の学校に九州大学教養部の吉岡大二郎先生をお招きし、「分数量子ホール効果」について話して頂いた。講義は次の順序で行われた。

1. 実験
2. 磁場中の波動関数
3. 整数量子ホール効果
4. 相互作用
5. ラフリンの関数
6. 励起スペクトル
7. 他の filling factor

整数量子ホール効果は不純物による効果として説明できる。高磁場中の2次元電子系においては、エネルギーレベルは完全に量子化され離散的なランダウレベルに縮退するが、不純物などの散乱体が存在する不規則系ではこの縮退は解け、ランダウレベルは幅を持ったバンドとなる。ところがバンドの中心付近を除いて、波動関数は局在しているので、ホール伝導度には寄与しない。従って電子密度を変化させるときフェルミエネルギーがバンドの中心付近を横切るときのみホール伝導度は変化し、それ以外の部分ではプラトーとなる。

さらにクーロン相互作用が有効になるような系ではキャリアーは異なった等ポテンシャル線に移るごとができる。しかし、これを摂動で解くのは縮重が多いため非常に困難である。そこで、ラフリンは少数粒子系の多体波動関数を数値的に求め、その結果からの類推により一般の多体の基底状態の波動関数の試行関数を仮定した。

$$\Psi_m = \prod_{i < j} (Z_i - Z_j)^m \exp\left(-\frac{1}{4} \sum_k |Z_k|^2\right)$$

m を奇数の整数とすれば任意の2粒子の交換に対して波動関数は符号を変える。この状態においてランダウレベルの占有率を示すfilling factorは $\nu = 1/m$ と表されるので、奇数の逆数を持つ分数量子ホール効果が説明される。また実験的には分子が1でない分数量子ホール効果も観測される。それを説明するために準粒子の考えを導入する。同じ不純物のまわりの等電位線上にある m 個のキャリアーが励起状態に上がると m 個の準粒子が中心にできたように考える。従って1個の準粒子の電荷は e/m である。さらにこれらの準粒子がラフリン状態をつくり準々粒子を作るというように階層構造をもつと考えることにより分数量子ホール効果を説明できる。

発表： 大阪大 中西 毅
山本 夕可