

平衡点の周りで自由エネルギー F がある物理量 x の 2 次式で書けるとすると, x の外力に対する感受率は x の揺らぎの 2 乗に比例する.

3. 2 次相転移と揺らぎ

固体の相転移は, 一般に何らかの対称性の喪失 (秩序化) を伴う. 故に, 相転移が起こっているか否かは明確に決まり, 転移点では秩序パラメータ ξ に $\xi = 0$ から $\xi \neq 0$ への変化が起こる. 相転移の熱力学においては系の ξ に関する安定性を吟味する.

ξ を空間的に一様と考えて $\xi = 0$ の周りで自由エネルギー F をべき展開し, この $F(\xi)$ を最小とする ξ が安定とするのが Landau scheme であり, ξ が空間的に変調されているとして空間の関数 $\xi(\vec{r})$ の汎関数としての $F[\xi]$ を最小とする関数形 $\xi(\vec{r})$ が安定とするのが Ginzburg-Landau scheme である.

2 次相転移は, 現象としては

$$F(\xi) = F_0 + A\xi^2/2 + B\xi^4/4 \quad (B > 0)$$

のように展開される自由エネルギー F の 2 次の係数 A が正から負へと変化することである. 従って ξ は, 転移点で連続的に変わる.

秩序パラメータ ξ の揺らぎは 2 次転移点の近傍で発散する.

4. 1 次相転移と揺らぎ

1 次相転移を説明するとき, $F(\xi)$ は初めから ξ に対し複数の極小を持つと考える. 転移はこれらの極小値の大小関係の逆転により起こるので ξ は転移点において不連続に変化する.

このとき極小と極小の間にあるポテンシャル障壁が十分高いならば 1 次転移点では ξ の揺らぎは発散しない. しかし, この障壁が転移点付近での熱エネルギー $k_B T_C$ と同程度のときには 1 次転移点で大きい揺らぎが起こり, 系の各領域は揺らぎによって 2 相間を行き来する.

このようなドメイン混入系の場合, 外力に対する $\langle \xi \rangle$ の応答は, ドメイン境界の移動によるもので, 各領域での振幅の増大によるものではない. このような応答を記述する係数を擬感受率と呼ぶ. 擬感受率の例としては, マルテンサイト相転移点近傍における超弾性定数などがある.

メゾスコピック系の物理学

学習院大学 理学部 川畑 有郷

メゾスコピック系の研究は, 久保による金属微粒子に関するものに端を発し, その後アンダーソン局在のスケール理論や, また技術的な向上も相俟って大きな発展を遂げている.

微粒子等の小さい系の電子状態を考える上でモデルとして電子ガスとランダムな境界及び不純物等を考える. 久保はエネルギー準位の統計的分布を調べるため全ての準位間には相関がないという仮定をたてて議論を行ったのに対し, Gor'kov と Eliashberg はランダム行列理論よりハミルトニアン の対称性によって 3 つの universality class に分類した.

さて、実際のメゾスコピック系で最初に注目を集めたのが Aharonov-Bohm(AB) 効果であり、試料の輪の中を磁場が貫く時に試料の物理量が、磁場の大きさ h/e ごとに周期的に変化するような量子効果である。このことは量子力学においては磁場よりもベクトルポテンシャルが本質的であることを示している。また、Al'tschuler-Aronov-Spivak(AAS) 効果では磁場の大きさが $h/2e$ ごとに周期的に変化する。筒状の試料では、AB 効果は取り得る各 path 同志で打ち消し合ってしまう、AAS 効果だけを見ることが出来る。

こういった変動の振幅を考えるには定量化が必要であり、そこで登場するのが Landauer の公式である。この式は久保公式からも導出可能であり、コンダクタンスが透過確率に比例することを意味する。ここで、完全透過の時にも有限のコンダクタンスが残るといった問題が持ち上がるが、これは reservoir の役割及び四端子法で測定されることを考えることによって解決される。

また、ballistic 電気伝導として、狭いチャンネルを通る電子のコンダクタンスの量子化が取り上げられた。この量子化は Landauer の公式で説明を付けることが出来る。また、ゲートの形状を変化させると、量子化の階段の様子も変化を受ける。

走査トンネル顕微鏡と表面原子制御

東京大学 理学部 塚田 捷

今年の夏の学校のポスターには走査トンネル顕微鏡 (STM) による世界最小のインシュタインの似顔絵が載せられていた。7月29日、30日の午前、合わせて6時間そのSTMに関する理論的研究について話された。この装置は表面構造の研究にとって画期的な発明である。しかし、STMの実験法が急速な進歩を遂げているにも関わらず、STMそのものの原理はまだよくわかっていないそうである。

先生はSTMの探針がSTM像にどのように影響を与えるか、計算機実験によって調べたことを紹介し、表面構造の決定には実験と理論の両側面からのアプローチが大切であることを強調されていた。探針先端部についてクラスターモデルを作り、それを試料の表面に対して動かしていき、探針と表面の間に流れるトンネル電流を計算し、シミュレーションを行う。STM像は原子配列そのものではなく、電子波の密度分布を表している。その像は探針のクラスターの形やそれが表面とのなす角度、欠陥の有無によって劇的に変化するということだ。したがって、実験で観察されたSTM像から実際の原子配列を決定するには探針の影響も十分に考慮しなければならない。また、STM像とともに試料表面の局所的な電子分布に比例している微分コンダクタンス対バイアス電圧の観測、すなわち走査トンネル分光法 (STS) も重要である。

理論シミュレーションの実例としては、グラファイトとシリコンの表面構造について挙げられ、実験によるSTM像写真と比較しながら説明された。特にSiについて、Si(100)の場合、STM像で対称ダイマーに見えていたものが理論計算によると非対称ダイマーではないだろうかと結論されることや、Si(111) $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ -Ag表面のSTM像が蜂の巣状に光って見えることをどう解釈するかなど、丁寧に説明された。

最後に、原子間力顕微鏡 (AFM) や単一電子トンネル過程 (SET) などSTMに関する興味深い現象について時間の許す限り解説された。

これまでに体系化された固体物理学では、表面効果を見逃せるような内部の現象しか扱われていない。固