

塚田，福山両理論へのコメント

九大教養 中山正敏

(研究会席上では，若干不明晰なまま話したが，その後福山氏や植村先生と討論し，帰博後明確な理解に達したので，それを述べる。)

1. 塚田，福山両理論とも $q \rightarrow 0$ の極限を考えるので，その結果は格子の重心運動に関する初等力学で理解できるはずである。強磁場中の低周波数モードが $q \rightarrow 0$ で有限な周波数を持ち，これが2次元格子の熱的ゆらぎを抑える点は両理論に共通であるがその内容は以下に述べるように異なる。

2. 塚田理論では，不純物による力のゆらぎの効果は，重心運動に対する有効ポテンシャルで表わされる。このポテンシャルの谷底にあることが，pinningの本質である。谷底近くの運動は，引力調和ポテンシャルで代表される。この固有角振動数を ω_0 (塚田氏の $\sigma = m \omega_0^2$) とすれば，強磁場中の固有モードは，初等力学により，

$$\omega^2 - \omega \omega_c - \omega_0^2 = 0 \quad (1)$$

を解いて得られる。 $\omega_c \gg \omega_0$ の解は，

$$\omega_+ = \omega_c + \omega_0^2 / \omega_c \quad (2)$$

$$\omega_- = -\omega_0^2 / \omega_c \quad (3)$$

である。 ω_+ モードは，磁場のまわりに+， ω_- モードは-の向きの回転をそれぞれ表わす。

3. 福山理論の特徴的な結果は，(a) 外磁場のない時 $q \rightarrow 0$ のフォノンは over-damped モードとなり，電気伝導率は，

$$\sigma = \frac{N e^2}{m} \cdot \frac{-i \omega}{\omega^2 + \lambda_0^2} \quad (4)$$

となる（福山氏の σ_0 を λ_0 と書いた）。(b) 強磁場中では $q \rightarrow 0$ で real モードとなり、その結果は、(2), (3) 式で $\omega_0^2 \rightarrow -\lambda_0^2$ と置き換えたものに等しい（つまり、斥力的な pinning 力が働らく）の 2 点である。これは以下に示すように、摩擦力 を考えた初等力学で説明できる。

まず、外磁場のない場合の電気伝導率を、円偏光

$$E_x = E_c \cos \omega t, \quad E_y = E_0 \sin \omega t \quad (5)$$

に対して計算する。重心が半径 r の円軌道上を電場が求心力となるよう同期回転し、遠心方向に摩擦力 $m r \lambda_0^2$ が働らくとすれば、

$$m r \omega^2 + m r \lambda_0^2 - e E_0 = 0 \quad (6)$$

の時 r は一定となる。これから求めた電気伝導率は (4) 式と一致する。

次に、外磁場があれば、(6) 式は、

$$m r \omega^2 - m r \omega_c \omega + m r \lambda_0^2 - e E_0 = 0 \quad (7)$$

となり、この円偏光に対する電気伝導率は、

$$\sigma_+ = \frac{N e^2}{m} \cdot \frac{-i \omega}{\omega^2 - \omega_c \omega + \lambda_0^2} \quad (8)$$

となる。極（分母＝0）は、(1) 式で $\omega_0^2 \rightarrow -\lambda_0^2$ とした式となる。この時、回転は＋、－両モードとも、磁場のまわりに＋向きである。摩擦力を遠心的と考える理由は、次の通りである。回転軌道に沿って働らく摩擦力の効果を考えると、外電場がなければ軌道はだんだんと縮むであろう。動径方向の摩擦力はこれに逆らって遠心方向に働らくのである。

（外磁場がない場合、摩擦力が求心力と仮定すれば $\omega = \lambda_0$ モードを得るが、それは物理的でない）。

4. 結晶 pinning の本質が摩擦であることは、長岡氏の指摘〔物性研究 23 (1975) 257〕にもある通りである。塚田理論は、摩擦の理論としては凹凸説により静止摩擦を考えたことにあたるであろう。動的現象を論ずるには、今一段階ゆらぎ力を取り入れた統計理論か、もしくは虚数部のある有効ポテンシオールによる定式化かが、必要であろう。福山理論は、均質模型によって、近似的にせよ動摩擦の導出に成功したことが、初等力学との対応により保証されている。弱相関の系（気体）では、粘性抵抗，強相関の系（結晶）では摩擦力となることが、簡単な模型に対して示された。このことは、摩擦力の本質に関する統計力学的理論への重要な一步として、大きな意義のあることといえよう。

2 次元電子系の Anderson 局在

東北大・理 星 野 公 三

Si 反転層に 2 次元電子系が実現していると考えられているが、Pepper 等¹⁾と Tsui 等²⁾は、電気伝導度の温度依存性の実験から、この系で Anderson 局在が起っていると言い出した。この際、Anderson 局在をひき起すポテンシャルのゆらぎは、SiO₂ 層の電荷と SiO₂-Si 界面の roughness と考えられている。

この実験結果に刺戟されて、2 次元 Anderson モデルが、単なる数学的取り扱いの簡単さからではなく、現実の問題との関連において興味が持たれている。最近、Licciardello と Thouless³⁾は、scaling を用いて、2 次元 Anderson モデルでは、minimum metallic conductivity $\sigma_{\min}$ が、結晶構造によらない定数であることを示した。更に、彼らは、その正当性を示し、かつ $\sigma_{\min}$ の値を estimate するために、honeycomb, square, triangular lattices において、数値実験を行なった。計算は、N 個の格子点をもつ系の energy levels を、周期的境界条件と、1 つの方向だけ反周期的境界条件で計算し、N 個の levels を energy の順序に並べて、対応する energy level の energy shift ΔE を求める。これと level spacing との比を求めて、その比の値が N を大きくしていった時、単調に減少するなら、その energy の状態は局在するという