

A 相の Orbital Dynamics の研究の現状

名大・理 石 川 正 勝

A 相の order parameter は軌道部分の異方性を与える $\vec{\ell}$ -vector を持つ。それがどのような運動法則に従うかという問題は、系の持つ軌道角運動量の大きさの問題とも関連しており、実験的にも今日まだはっきりしていない。すでにいくつかの現象論的理論が提案されているので、その検討を試みた。

この問題を最初に具体的に取り上げ、運動方程式を与えたのは de Gennes ¹⁾ である。その後、この運動方程式を用いて、microscopic に free energy を計算することによって、Wölfle ²⁾ は orbital wave の分散式を得た。彼等は normal 部分の運動を止めた運動方程式

$$\frac{\partial \vec{L}(\vec{r}, t)}{\partial t} = - \vec{\ell} \times \frac{\delta F_{\text{grad}}}{\delta \vec{\ell}}, \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot \vec{g} = 0, \quad \frac{\partial \varphi}{\partial t} = - \frac{2m}{\hbar} \mu$$

を考えた。ここで $\vec{L}(\vec{r}, t) = L^{\text{sp}} \vec{\ell}(\vec{r}, t)$ であり、又

$$\vec{g} = \overleftrightarrow{\rho_s} \frac{\hbar}{2m} \vec{\nabla} \varphi + \overleftrightarrow{C} \frac{\hbar}{2m} \vec{\nabla} \times \vec{\ell},$$

$$F_{\text{grad}} = \frac{\hbar^2}{2m} \left\{ [(\vec{\nabla} \varphi)^2 - \frac{1}{2} (\vec{\ell} \cdot \vec{\nabla} \varphi)^2] + \frac{1}{4} [(\vec{\nabla} \cdot \vec{\ell})^2 + 3(\vec{\ell} \times \vec{\nabla} \times \vec{\ell})^2 + (\vec{\ell} \cdot \vec{\nabla} \times \vec{\ell})^2 + \frac{1}{2} [\vec{\nabla} \varphi \cdot \vec{\nabla} \times \vec{\ell} - 2(\vec{\ell} \cdot \vec{\nabla} \varphi)(\vec{\ell} \cdot \vec{\nabla} \times \vec{\ell})]] \right\}$$

である。強磁性の場合と同じ型をしているので orbital wave は q^2 に比例した異方的な分散式となる。対の軌道角運動量密度 L^{sp} は zero でないとし、Anderson-Morel の値を用いている。Graham ³⁾ は液晶の場合との類似を考えて、Martin 等のやり方で、orbital hydrodynamics を組み立て、de Gennes 等と同じ型のものを得ている。

これらは particle-hole 対称性を仮定した時に $L^{\text{sp}} = 0$ となったり、 $\vec{\ell}$ -vector に働く $\vec{\ell}$ の空間変化による torque が zero となったりして、orbital wave が常に拡散的になり、

問題点を含んでいると思われる。

対の波動関数が空間回転運動をすると、対が慣性能率を持つ為にそれにより誘起される対の角運動量が存在する。この点に注目して、 He^3 の spin dynamics との類似性を考えることにより、Leggett と高木⁴⁾ は次の運動方程式を提案した。($L^{\text{sp}} = 0$ とした。)

$$\frac{\partial \vec{\ell}}{\partial t} = -\frac{1}{\chi} \vec{\ell} \times \vec{L}, \quad \frac{\partial \vec{L}}{\partial t} = -\vec{\ell} \times \frac{\delta F}{\delta \vec{\ell}}, \quad (\vec{L} \cdot \vec{\ell} = 0)$$

運動を記述する変数として $\vec{\ell}$ -vector の他に、超流動部分の対の角運動量密度を導入した。しかし spin dynamics の場合と比べて次の2点が異なっている。(i) normal 部分の角運動量は慣性能率が大きく容器に吸収されてしまうので考える必要はない。(ii) energy gap が異方的であり excitation の方向分布でも異方的であるので、比較的 T_c の近くでは $\vec{\ell}$ -vector の運動に対して強い粘性力が働く。(normal locking effect) 彼等の運動方程式は Gor'kov 方程式から微視的に導くことができる⁵⁾。そして $T \simeq 0$ で q-linear な異方的分散式をもつ orbital wave が得られる。

Wheatley⁵⁾ 等の T_c 近傍での $\vec{\ell}$ -vector の緩和の実験は粘性力が大きいので、運動方程式は de Gennes 型でも Leggett-高木型でも説明でき、実験的にはどちらがよいかは判定できない。

Leggett-高木と同じ型の orbital hydrodynamics は Volovik⁷⁾ によっても主張されている。彼は matrix kinetic equation を用いて Khalatnikov 流に理論を組み立てている。彼の理論からは L^{sp} として2つの異なる値 ($\frac{\hbar}{2} \rho$ と $\frac{\hbar}{6} \Delta^2 (N_F/\epsilon_F) \ell_n(\epsilon_F/T_c)$) が出て来て矛盾しているにも拘らず、一方の値 ($(\hbar/6) \Delta^2 (N_F/\epsilon_F) \ell_n(\epsilon_F/T_c)$) のみを採用しており、一部におかしな点がみられる。

参 考 文 献

- 1) P. G. de Gennes, Phys. Lett. **44A** (1973), 271.
- 2) P. Wölfle, Phys. Lett. **47A** (1974), 224.
- 3) R. Graham, Phys. Rev. Lett. **33** (1974), 1431.
- 4) A. J. Leggett, and S. Takagi, Phys. Rev. Lett. **36** (1976), 1379.
- 5) M. Ishikawa, Prog. Theor. Phys. to be published.
- 6) G. E. Volovik, Zh. E. T. F. to be published.