

二次元超伝導体におけるパラマグノン機構

阪大基礎工 大西祥史、三宅和正

二次元 ^3He 薄膜における超流動可能性、また triplet 超伝導体ではないかといわれている Sr_2RuO_4 、など二次元 Fermi 粒子系における超伝導 (超流動) 状態について特に液体 ^3He との関連性に着目して興味が待たれているように思われる。そこで理想的な二次元 Fermi 粒子系において、パラマグノンに媒介される相互作用により超伝導 (超流動) 転移温度が存在するかまた存在するならばどのような対形成が期待できるか議論を行った。

(三次元) 液体 ^3He 超流動はパラマグノンに媒介される相互作用が重要であった。一方、理想的な二次元フェルミ流体では RPA と弱結合による取り扱いでは s -波の斥力しか生じないためパラマグノンは超流動相出現に寄与しないのではないかと考えられる。

実際にみていくと、RPA の範囲で準粒子間相互作用はスピン 3 重項、1 重項に対してそれぞれ次のようになる。

$$\begin{aligned} V_t &= -\frac{I^2}{4}\chi_{\text{charge}}(\mathbf{k}-\mathbf{k}', \omega-\omega') - \frac{I^2}{4}\chi_{\text{spin}}(\mathbf{k}-\mathbf{k}', \omega-\omega') \\ V_s &= I - \frac{I^2}{4}\chi_{\text{charge}}(\mathbf{k}-\mathbf{k}', \omega-\omega') + \frac{3I^2}{4}\chi_{\text{spin}}(\mathbf{k}-\mathbf{k}', \omega-\omega') \end{aligned}$$

ここで I は準粒子間のパラマグノンの効果を含まない有効斥力で、

$$\chi_{\text{spin}}(\mathbf{q}, \epsilon) = \frac{2\chi_0(\mathbf{q}, \epsilon)}{1 - I\chi_0(\mathbf{q}, \epsilon)}, \quad \chi_{\text{charge}}(\mathbf{q}, \epsilon) = \frac{2\chi_0(\mathbf{q}, \epsilon)}{1 + I\chi_0(\mathbf{q}, \epsilon)},$$

$$\chi_0(\mathbf{q}, \epsilon) = \sum_{\mathbf{p}} \frac{f(\xi_{\mathbf{p}+\mathbf{q}}) - f(\xi_{\mathbf{p}})}{\epsilon - \xi_{\mathbf{p}+\mathbf{q}} + \xi_{\mathbf{p}}}$$

である。遅延効果を無視し、波数 $\mathbf{k}, \mathbf{k}'$ をフェルミ面上に限ると二次元の特殊性により、 $|\mathbf{k}-\mathbf{k}'| < 2k_F$ に対し $\chi_0(\mathbf{k}-\mathbf{k}', 0) = \chi_0(0, 0) = \text{const.}$ となるため V_t, V_s を部分波に分けたとき s -波の斥力しか生じない。しかしここで取り扱いを拡張した。(有効相互作用としては同じ物を用いる)

a. 遅延効果は無視するが、波数はフェルミ面上に限らず取り入れる。

b. 波数はフェルミ面上に限るが遅延効果を取り入れる。

はじめの取り扱いでは $2k_F$ より大きな波数の部分が寄与し引力となる部分が存在しうる。また二つ目の取り扱いでは遅延効果を考えることにより $|\mathbf{k}-\mathbf{k}'| < 2k_F$ においても波数に依存した相互作用となって引力となりうる。

まずそれぞれの取り扱いにおいて転移温度を調べた。その結果 a の取り扱いでは p -波、 d -波において転移温度が存在し、 d -波のほうが高い転移温度となった。b の取り扱いにおいては d -波においてのみ転移温度が存在した。二次元パラマグノンでは波数によらない斥

力といったことから強磁性的とも反強磁性的ともいえないスピン揺らぎの状態であるが、超伝導転移温度に関しては波数 $2k_F$ からの下がりを利用して引力となり singlet の対を作るため反強磁性的に働くことがわかった。また、その d -波における転移温度以下での秩序パラメータを見たときエネルギー 0 での値よりも少しずれたところで最大値を持つ事が分かった。これは二次元パラマグノンの特殊性である波数によらない斥力を避けるためと考えられる。