

ナノスケール・ヘリウムが示す量子相転移とその応用

慶應義塾大学理工学部 白濱 圭也

液体・固体ヘリウム(^4He)が示す物性は、ヘリウム原子の強い量子性と原子間相関の競合に由来する。我々はヘリウムをナノメートルオーダー(2-3nm)の細孔に閉じこめることで、この競合関係が変化して従来ヘリウムでは見られなかった新しい現象が発現することを示してきた[1]。それは超流動状態が加圧により強く抑圧され、超流動がある臨界圧力で消失する「量子相転移」である。量子相転移は現在まで3種類のナノ多孔体を用いて確認されており、今や「ナノ空間に束縛された ^4He 」が示す普遍的性質として確立した[2]。

この講演では、現在我々が進めている量子相転移の動的性質の研究と、超流動の抑圧を利用した超流動弱結合(ジョセフソン素子)の実現に向けた研究について紹介する。それぞれの研究については、根岸[3]、田中[4]によるポスター発表がある。

一般に量子相転移が起こる(圧力等のパラメタにおける)臨界点では、(虚)時間軸上での相関距離が発散する。これは物理量変化の時間スケール(特性時間)が量子臨界点に向かって発散することを意味し、測定物理量は周波数依存性をもつことが予想される。我々のナノスケールヘリウム系では、超流動転移温度や超流動密度の周波数依存性を調べることで、量子臨界現象の臨界指数等の本質的な情報が得られると期待される。このような着想に立ち、超音波トランスデューサの高調波を利用してナノ多孔質ガラス中 ^4He の超流動特性を 10-110MHz の広い周波数領域で調べることに成功した[3]。転移温度は周波数が高くなると高温にシフトすることが見出され、上述の量子臨界現象の特徴を反映していると考えられる。

量子相転移は、BEC の位相相関が細孔への束縛によって揺らぐ「局在 BEC」状態の発現に伴って生じる。局在 BEC 状態はナノスケール BEC のジョセフソン接合列と考えることができる。そこで直径数 nm の 1 次元的細孔が規則正しく開いた平板状多孔体を隔壁に用いて、加圧下超流動 ^4He のジョセフソン接合を作成する試みを進めている[4]。

[1] K. Yamamoto *et al.*, Phys. Rev. Lett. **93**, 075302 (2004); **100**, 195301 (2008); J. Phys. Soc. Jpn. **77**, 013601 (2008). 理論として, Th. Eggel *et al.* Phys. Rev. B **84**, 020515 (2011).

[2] J. Taniguchi *et al.* Phys. Rev. B **82**, 104509 (2010), N. Yamanaka *et al.* in preparation.

[3] 根岸優、本研究会

[4] 田中智也、本研究会