

## ヘリウム-3 吸着ポンプを備えた低温熱量計

酸化物の高温超伝導体が次々と見いだされ、その転移温度の高いものは窒素の沸点を大きく超えました。液体ヘリウムの消費量の伸びが最近になって鈍ったのがそのせいかどうかは別にして、しかし極低温での物性研究の重要性がこれによって減ったわけではありません。われわれが行っている熱物性研究を考えてみましょう。例えば格子振動そのものを研究する場合、デバイ温度よりも高い温度で熱容量をいくら精密に測定してみても、得られる情報はきわめて少ないのです。その温度域ではすでに格子振動がほとんど励起されてしまっているからです。その特異性を調べるにはもっと低温から、格子振動が励起されていく過程を追いかける必要があります。一方、格子振動以外のものを調べたいときには、その大きな寄与は大変邪魔なものとなるので、やはりできる限り低温で格子振動を抑えたうえで調べたいわけです。もちろん低温ではじめて現れる現象を見るには、その温度が必要なのはいうまでもありません。

さて、液体ヘリウム温度が超低温といわれた数十年前とは違って、今では比較的容易に液体ヘリウムが手に入り、これをポンプして得られる2 K程度までの実験は手軽に行えるようになっていました。それでもわれわれは、もう少しでよいから冷やしたいと思いました。それも0.5 Kでよいから簡単に冷やせるクライオスタットで、しかも断熱性のよい熱量計を装着できるものです。このような考えのもとに、液体ヘリウム-3を備えた低温熱量計を設計しました(図1)。ヘリウム-3の沸点は3.2 Kです。強制排気しただけではヘリウム-4のような超流動現象は起こらず、そのために0.3 K程度の低温が簡単に得られます。ただ問題は2つありました。つまり、①冷却後、熱量計を周囲から断熱する必要があること。②ヘリウム-3は貴重なので回収し繰り返し使う必要があることです。前者は機械的熱スイッチを内蔵することで果たしました。後者の問題は、ヘリウム-3を回転ポンプや油

拡散ポンプなどの普通のポンプで外部に取り出すのではなく、活性炭を冷却し、これにヘリウム-3を吸着させる方式のいわゆる吸着ポンプをクライオスタットに装着することによって解決しました。これらのアイデアは何も真新しいものではありません。この装置の設計で特に念頭においたのは使い易さという点でした。

全体は液体ヘリウムに浸されます。もっとも、室温からいきなり液体ヘリウムによって冷却するのではなく、液体窒素で予冷した後に液体ヘリウムで満たすのです。その一部をニードル弁を開けることによって真空ジャケットの中に備えてある1 Kポットの中に導き、これを強制排

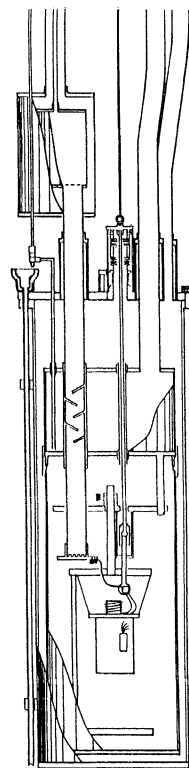


Fig. 1 Schematic drawing of the helium-3 calorimeter.

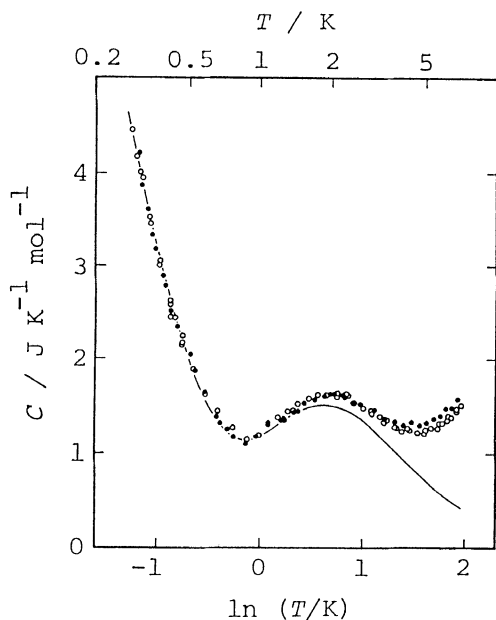


Fig. 2 The observed heat capacities of a layer of  $\text{CH}_3\text{D}$  at two different coverages 0.81 (●) and 0.94 (○). The continuous line is the calculated heat capacity based on a theory with parameters which have been determined from neutron inelastic scattering experiment.

気します。すると、その温度(1.2 K程度) になじんだヘリウム-3 が液化を始めるわけです。ヘリウム-3 ガスは室温、1 気圧で約3 リットル封じ込めてあります。ほぼ液化し終わった時期をみはからって、活性炭をヘリウム温度まで冷却し液体ヘリウム-3 をポンプするわけです。熱スイッチはこのヘリウム-3 溜めの温度に等しくなるようにしてあるので、これで熱量計の一部をはさめば冷え、開けば断熱されるわけです。実際には冷却時に注意を払うべきことがあ

ります。それは、熱交換ガスとして真空ジャケット内にヘリウム-4 ガスをほんの少量導入するのですが、これを熱量計が余り冷えきらない内に完全に排気しなくてはならないということです。そのためには、周りに液体ヘリウムが溜って4.2 Kになる前に、普通は20 K程度で排気してしまうのがよいこと、また、冷却後も真空度が良くなるまで一晩待つのがよいことなどが分かりました。ここで扱う熱量は非常にわずかなものだからです。

研究対象として当初考えたのは、①未開拓の分野である表面吸着系での格子振動、②簡単な分子やイオン、グループの量子力学的な(トンネル)回転でした。研究の一例を図2に示します。これはグラファイトに吸着したメタンの同位体のひとつ  $\text{CH}_3\text{D}$  の単分子膜の熱容量測定の結果です。実線はトンネル回転による寄与で、中性子の非弾性散乱による結果と、理論的な解析とによって見事に説明できた例です。1.5 K以上で目だってくる計算値からのずれは格子振動の寄与を反映しており、この部分からはメタンの単分子膜における特異的な格子振動に関する情報を取り出すことができました。ふつうのメタンの場合には、この他に核スピン種間の変換が興味ある問題となり、長い緩和時間をもつ現象をこの温度域で追跡する必要があります。このようなものも対象として念頭におきました。すでにいくつかの系について測定を行い、大変興味深い結果を得ています。

#### 参考文献

P. C. Ball, A. Inaba, J. A. Morrison, M. V. Smalley and R. K. Thomas, *J. Chem. Phys.* 92, 1372 (1990).