



| | |
|--------------|---|
| Title | 超低温の物理国際シンポジウム印象記 |
| Author(s) | 長谷田, 泰一郎; 天谷, 喜一; 佐野, 直克 |
| Citation | 大阪大学低温センターだより. 1977, 20, p. 11-14 |
| Version Type | VoR |
| URL | https://hdl.handle.net/11094/6924 |
| rights | |
| Note | |

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

超低温の物理国際シンポジウム印象記

基礎工学部 長谷田泰一郎(豊中2368), 天谷喜一(2370)
佐野直克, 熊谷健一(2351)

於箱根 1977年9月5日～9日
内 容 超流動 ^3He の実験と理論
 固体 ^3He
 カピッツ抵抗, 温度計など
 超低温技術
 核冷却

比較的若い者とや、年とったのとは、見事だと感心するにしても、アッと驚くにしても、あと自分自身の問題としての取組みは全くちがってくる。4人異越同舟の印象記となれば成功という積りで、夫々のメモを足し算して新しいスタイルの印象記になったかどうか。参加したすべての者にとってすばらしい会議だったと思う。トップを走っているグループにとっても、多分に刺激的だったと思われたし、や、遅れている連中には、もう一つがんばらねばと思わせるに充分だったと思われた。かなりテーマをしぼっていたとは云え、いくつかの異色の実験も点在していたのはULT (Ultra Low Temperature)の世界で何がどうひらけていくか、気になる気配には注目しておこうということであったのだと思われる。

I) 超流動 ^3He と固体 ^3He

Cornell 大の D.M.Lee の超流動 ^3He に関するreviewで始まった。彼等自身による、ボメランチュク冷却の過程でいわば思いがけなく超流動 ^3He を発見することになった、初期の実験のいきさつは実験家にとっては口笛を吹きたくなるような所もある一方、所詮は理屈にはまっていたのだという所もある。最近の話題まで、殊に texture とか soliton に関する実験的研究を導入的に紹介した。つづいて Ahonen の超流動 ^3He 中の正負イオンの運動とA相中のNMR, Wheatleyによる磁化過程の緩和についての招待講演のほか、超流動 ^3He についての実験が1 mKから低温に向ってどんどん進み出しているのは迫力があつた。何といっても $\ell=1$ の軌道と核スピンの存在が ^4He の超流動とはまるきり違う広がりを見せている。唯、今の所、ずいぶん面白い現象も所詮は理屈にはまってしまうようにみえるのは筆者がまだ深みにはまっていないせいだろうか。固体 ^3He はとうとう1.2 mKで反強磁性体に order したわけで Good-kind が0.7 mKまで $H=500$ Oe の下での磁化を測定して転移を明瞭に把えている。Shigi 等も、ごく最近転移点に届いたという。固体 ^3He は高温側の χ' , 比熱等熱力学量の実験値は最近接交換相互作用できれいに説明できるのに、転移自体は予測の約 $\frac{1}{2}$ の温度で起る。Adamsは磁場下での相図の測定を行って議論している。

更に低温に向って、又 ^4He (他にまだあるかも?) との mixture やを考えると今から始めてもまだまだ間に合う程、先がありそうに思えてくる。

II) Kapitza 抵抗, thermometry など

Dilution Refrigerator (D.R. と略す) だけで 2 mK, 核断熱消磁法で 0.5 mK 以下といった超低温技術の発展の中で、地道ではあるが、最大限の努力を払わなければならない対象が、このセッションの内容であろう。一度でも超低温を実現しようとした者にとって、乗り越えるべき壁として存在するのが、熱抵抗 (Kapitza 抵抗) の問題であり、物理量の信頼性に係わるのが、温度決定の問題であろうと思われる。

D.R. の熱力学的解析で知られる Radebaugh (NBS) は、1.5 mK ~ 200 mK の間で銅と $^3\text{He}/^4\text{He}$ 混合液の間の Kapitza 抵抗 (R_K) を調べた。不純物の効果を除去するために極めて純度の高い銅を用い、様々の熱処理の仕方での R_K の変化を測定した。銅の hardness と R_K は密接に関連している (dislocation に関係あると思われる) ことを指摘し、十分に焼鈍された銅は、およそ 5 倍近くも R_K が大きくなることを報告した。さらに、Zr, Cr, Be を数% 混入し、不純物効果を調べ、Cu + 1.86% Be の場合に最も R_K が小さくなり $R_K \sigma T \approx 15 \text{ (cm}^2\text{K}^4\text{/W)}$ と純銅のおおよそ $1/5$ にもなることが報告された。

仏の Thoulouze のグループは CMN と ^3He 及び $^3\text{He}/^4\text{He}$ 混合液の間の R_K の温度変化、サイズ効果を 2 mK に至るまで測定し、液体との熱緩和の時定数についても併せて議論した。様相は複雑ながら、ともかく数 mK に至る範囲では、熱緩和は現実の実験時間のスケールの中に入り得る、という安堵を彼等の講演で感じた。

Saito による、反強磁性転移温度近傍での急激に R_K が減少するとの報告は、超低温における R_K の軽減の可能性として注目された。超低温領域で適当な物質を探し出すことにより、極めて強力な熱抵抗減少の手段として有力であることが示唆され、その現象のメカニズムの解明への期待とともに興味深い。

他方、温度計の問題としては、超低温で standard 化されたと思われる Pt-NMR 温度計も Korringa 関係が 1.0 mK 以下で必ずしも保証されないことも指摘されており Thermometry として新たな物質の開拓が幾つか報告された。

仏の Thoulouze のグループは、 SiO_2 の誘電率の温度変化を、周波数 1.3 kHz の A.C. 電圧の変化として、1 K より 2 mK まで測定した。測定電圧が大きい場合 ($\sim 4 \text{ mK}$ 以上) は直線の変化から外れる異常性がみられるものの、印加電圧の小さい限りにおいては、mK に至る広範囲な温度計として有用であると思われる。

Nagano 等は La で置変えた dilute な CMN を利用して $\sim 1 \text{ mK}$ 近くまでの融解曲線を P-T 上で正確に決定できると主張した。

III) 超低温生成技術

Dilution Refrigerator

超低温生成の主軸たる $^3\text{He}/^4\text{He}$ D.R. に関して幾つかの注目すべき発展があった。まず Grenoble グループの G. Frossati らが Ag の微粒 ($\approx 700 \text{ \AA}$) を焼結した熱交換器を使った conventional な ^3He 循環型 D.R. により 2.03 mK を達成しているのが光っていた。超流動 ^3He A/B 相の観測がこの単純な冷

却器で可能であるというのはおどろきである。Lounasmaa が“S. H. E. も忙がしくなって…”と笑わせたが、現に焼結銀熱交換器は市販の D. R. にとりつけられつつあり、Double Mixer 型のものと競合している。easy-going な考え乍ら両者の長所を生かし得る筈だ。

続いて、同じグループの Schumacher が Multimixer 型 D. R. について報告した。通常の D. R. に 1 コ Mixer を附加させるだけで簡単に最低温を $\frac{1}{2}$ に下げ得る事を強調しているが冷却能に関して疑問が残った。この方式で彼は現在 2.8 mK を得ているが、Frossati の machine とのつながりを聞き忘れた。この種の multi mixer 方式に関しては他に Rosenbaum, Shigi 等による試みがあり、いずれも到達温度 5 mK 近傍 / 以下をねらっている。Frossati のグループには更に Thoulouze が居て、他のグループが超流動 ^4He のレースに血眼なのに対し、variety に富んだ物性測定、Thermometor の開発に取り組んでいて特色が感じられた。彼のミニアチュア・プラスチック製 Pomeranchuk セルの温度計への応用もその例であろう。以上の Grenoble 勢の前に、Leiden グループ Ouboter らの ^4He 循環型 D. R. (L. D. R.) の報告もやや影が薄くなった。しかし冷却器として、熱交換器の障壁をとり去ったその機構は、前述の D. R. に比べはるかに単純ですぐれていると期待されるだけに、彼らの到達下限 8 mK も立派な記録ながら、尚一層改良の余地ありとの印象はまぬがれなかった。東北大の Sato は L. D. R. をベースにした Pomeranchuk 冷却機の建設と核断熱消磁へのアプローチについての中間報告を行なった。

本格的な超低温生成への取り組みが頼もしく、早急な運転が望まれる。新しいタイプの開発も含めて以上の報告から、i) 今後更に新しいタイプの開発も含めて種々の D. R. の比較検討が進むと共に、ii) 数 mK 迄の物性測定が日常化し、iii) 核冷却による到達温度も 100 μK を大巾に切るのも目前との印象が強かった。

IV) 核断熱冷却装置

現在 1 mK 以下に物質を冷却するのに使用されている核冷却装置には 2 種類ある。その 1 つは、ヘルシンキと米国でもっぱら液体 ^3He の実験に使われている D. R. と Cu の核断熱消磁を組合せたもので、もう 1 つは D. R. と Pr 化合物の核断熱消磁を組合せ、Cu 又は 1 n を D. R. で冷却するよりさらに低い初期温度まで冷却し、Cu 等の核断熱消磁でさらに低温まで物を冷却しようとする装置である。前者の装置について Lounasmaa と Edwards の講演があり、後者については Pobell と Huiskamp の講演があった。

O. V. Lounasmaa の講演題目は、「Nuclear Refrigeration of Liquid ^3He 」と云うもので、ヘルシンキとオルセイの装置の比較をしながら ^3He を冷却する際の問題点を理論的解析をまじえながら実際の装置について述べた。彼は液体 ^3He をヘルシンキで 0.45 mK まで冷却した。これは現在のところ最も低くまで冷却した世界記録である。ヘルシンキの装置は、0.5 mK 以下の温度を約 1 日保つが、オルセイの装置は 1 mK 以下の温度を 8 時間しか保てない。この違いはラジエーション・シールドからの熱リークによるものが主で、現在の装置でも更に改良すれば、更に温度は下げられるとのことである。

D. O. Edwards は、Ohio 州立大学の装置と Pt NMR 温度計の問題点についての話しであった。

Jülich の F. Pobell と Leiden の W. J. Huiskamp は 各々実験中の 2 段冷却装置について話をした。両者共、現在温度はまだ 1 mK の order までしか冷却できていない。Leiden では 2 段目の核断熱消磁用超電導磁石を核磁性の研究用のための γ - γ 角相関などに利用するためにスプリット型にしているところに特徴がある。

個人的な観測だが、Cuを用いた1段核冷却装置は液体 ^3He の研究に使われ完全に一般化しており、今まであまり極低温の実験をしていなかったところでも、強力なD.R.と大型の超電導磁石を購入して、超流動 ^3He の実験を行なっている。ヨーロッパ、特にドイツ、オランダはさらに低温までの冷却を目指して2段核冷却装置を作り、グルノーブルは2 mK までのD.R.と組合せての冷却装置を作り、超流動 ^3He の先を目指しているようであった。

下に Helsinki, Ohio, Jülich, Leiden の装置を比較した表を作ってみた。

| 場 所 | 人 | 方 式 | Bi (Tesla) | Ti (mK) | $4t$ (h) | Tmin (mK) | ^3He との 熱接触 | 熱 スイッチ |
|----------|-----------|--------------------------------|---------------|------------|-------------|--------------|-------------------------|-----------|
| Helsinki | Lounasmaa | 1段 Cu | 7 | 18 | 48 | 0.45 | 焼結Ag | Sn |
| Ohio | Edwards | 1段 Cu | 8 | 26 | 24 | 0.7 | 焼結Pd | In |
| Jülich | Pobell | 1段 Pr Ni ₅ 2段 Cu | 6 8 | 30 5~6 | | < 1 | | Al |
| Leiden | Huiskamp | 1段 Pr Cu ₅ 2段 In | 3.3 6.3 | 30 8 | 24 | < 1 | | Pb |

$4t$ は1 mK 以下の温度を保てる時間である。

V) 核冷却 (Nuclear Cooling)

核冷却の話は、伊藤と佐野による硝酸銅単結晶中の結晶水のプロトン・スピンを2.7 T, 20 mK より9.5 mT まで断熱消磁をしてスピン温度74 μK を得た実験の講演が光っていた。

まとめの話

最後に Leggett がまとめの remark として、彼の some systems of interest at ULT をならべてみせた。

- 1) Strongly Paramagnetic Metals: Pd あるいは ZrZn_2 など p-wave 超伝導を期待するという話。
- 2) 固体 ^3He の磁性: 唯一の exchange による核 order であるわけで磁気構造を調べる手段を議論していた。Weak ferro(?) の可能性もあげていた。
- 3) ^3He - ^4He 混合液中の ^3He の超流動転移温度: BCS の T_c を与える $N(0)$ が純 ^3He よりは非常に小さくなる一方 V_{eff} は大して変るまいから $T_c \approx \mu\text{K}$ という予想。
- 4) 超流動 ^3He の mK 以下での chemistry: どうやら ^3He A 相で, orbital magnetic moment による Ferromagnetism の話。
- 5) Quantum nucleation: 充分低温では, A \rightarrow B 相で quantum tunneling が microscopic に observe されないか?

このシンポジウムのプロシーディングスは日本物理学会より出版される。価格は12月末までに申込みと5,000円、それ以後は7,000円。