

コーネルシンポジウム印象記

名大・理 三宅 和 正

7月21日から26日までの一週間、米コーネル大学で‘Cornell Symposium on Liquid and Solid ^3He ’が開催され、出席しました。この夏米国を襲った熱波もコーネルに着いた20日の晩まででおさまり、国立公園を思わせる美しいキャンパスでの生活を楽しみました。（実際、コーネル大学のあるイサカの町はThe Finger Lakesの一つLake Cayugaの南端に位置しこの近くにはいくつものニューヨーク州立公園があります）又、初日に行なわれたバロック音楽つきのレセプションをはじめ、Symposiumにふさわしく、^{*}夜のセッションでは休憩室には生ビールの樽が置かれてうしろの方の席では紙コップ片手に講演を聞いているという風で私にとっては楽しい一週間でした。そのせいではありませんが、出発前長岡先生から依頼されたこの原稿を書こうと思うと、どの話も言語と物理の理解力に関する問題の相乗効果であいまいな記憶しかなく延び延びになってしまいました。Symposiumで何が話され何が話題になったか、おそらくもっと確かな報告が秋の分科会でも話され‘物理学会誌’にも載ると思いますので、ここでは私の興味に従って簡単に紹介したいと思います。

Symposiumは招待講演とポスターセッション（シリーズで行なわれた）によって組織されていました。先ず、確実な情報としてプログラムを紹介します。

[招待講演]

7/21 — Hydrodynamics and Flow —

M.C. Cross: The Gauge Wheel.

H.E. Hall: Experiments on A Phase Orbital Dynamics.

H. Kojima: Size Effects in Superfluid ^3He .

— The Normal Liquid —

T. Haavasoja: Heat Capacity Measurements.

^{*} ‘箱根超低温シンポジウム見聞記’長岡，大見，水崎，物性研究29巻1号21頁（1977年）の冒頭参照。

W. Schoepe: Normal Sound in Liquid ^3He .

J.W. Serene: Strong Coupling.

7/22 – Solid ^3He – Melting Experiments –

P. Nozieres: Creation of Highly Polarized Liquid ^3He .

F.B. Rasmussen: Melting of ^3He in Large Magnetic Fields.

H. Godfrin: Solid ^3He Ordering at Melting Pressures in High Magnetic Fields.

[Poster Sessions – Superfluid ^3He]

– A Round Table Discussion on the Theory of the Solid ^3He Ordering Transition –

Speakers: J.M. Delrieu, D.S. Fisher, J.H. Hetherington, P. Kumar,

M. Roger, Y. Masuda, T. Soda.

7/23 – Solid ^3He – Phase Transition –

J. Goodkind: Magnetization Measurements in Solid ^3He .

E.D. Adams: NMR Measurements of the Phase in Large Fields.

Y. Masuda: Phase Transition of Solid ^3He by Pressure Measurement.

D.D. Osheroff: The Antiferromagnetic Resonance in Solid ^3He .

– Brave New Worlds –

J.C. Wheatley: The Second Thermodynamic Medium.

E.D. Siggia: Magnetic Resonance in Bose Condensed Spin Aligned Hydrogen.

7/24 – Textures and Defects –

C.M. Gould: Defects in a Liquid : Textures in Superfluid ^3He .

A.L. Fetter: Textural Instabilities in Superfluid ^3He .

L. Corruccinni: Second Sound in Superfluid $^3\text{He-A1}$.

[Poster Sessions – Everything Else]

– Thermometry and Experimental Techniques –

A. Ahonen: Thermometry Below 1mK.

F. Pobell: Recent Progress in Nuclear Refrigeration.

7/25 – Microscopic Properties of the Superfluid –

P. Wolfle: The Basic Excitations Modes of Superfluid ^3He .

E. Varoquaux: Superfluid ^3He Far Below the Transition Temperature : Spin Relaxation and Sound propagation.

H. Smith: Relaxation in Superconductors and Superfluids.

— Surface Phenomena —

M.G. Richards: Magnetic Susceptibility of the 2D Fluid Phase.

H. Bozler: Anomalous Surface Magnetism.

7/26 — Things Too Good to Miss —

A.J. Leggett: Diatomic Molecules versus Cooper Pairs : A Naive Approach.

P.W. Anderson: { Does Quantum Fluid-Solid Exist in Principle?
Exchange Interactions and Spin Structures.

(ポスターセッションの題目は最後に載せます)

参加者は、名簿によると、米 117 (内コーネル大 47, 日本人 6), 西独 15, 英 13, 仏 12, 日・カナダ各 7, フィンランド 6, デンマーク 3, イスラエル 2, ポーランド・スウェーデン各 1。米国各地に留学中の中国人研究者 (全部実験家だと思います) が数人参加していたのが印象的でした。留学の年限は最大 2 年とのことでした。

ところで、私の印象に残っている話として思いつくままに挙げますと、

- ① Corruccini & Osheroff (ベル研) が A_1 相で第 2 音波を観測したこと。 ② コーネルの実験グループが Spin polarized atomic hydrogen を数 T の磁場の下安定的に作り出すことに成功し物理的な実験が始まろうとしていること。又、それに対してコーネルの理論家 Siggia が種々の理論的予測を展開しているばかりでなく、すでに Guyer ら (マサチューセッツ大) は ^4He と H_2 二層の系の第 3 音波を理論的に論じていること。 ③ 日本の理論家もその発展に大きく寄与した ^3He B 相のずれ粘性係数の微視的理論が非常に精巧になり、実験とのずれから壁面での quasi-particle のすべり方の効果を論じた Wölfle らミュンヘングループの仕事。かつ、それに実験家がたいへん興味を示して質問の多かったこと。 ④ 超流動 ^3He の種々の輸送係数、転移温度などの実験値を 1 つのパラメーターで再現する Bedell & Pines (イリノイ大) の Polarization Potential Theory。 ⑤ 固体の方では、Osheroff らの低温相の磁気構造を決めた話はもはや旧聞に属するという感じで、それに基づいた計算がいくつか報告されましたが、Saclay グループによる交換相互作用の起源 (すなわち、bcc 構造では 2 体、3 体よりも 4 体が効く) についての本格的かつ精力的なとりくみが印象的でした。それは、Jastrow 型の波動函数を用いて微視的に議論するもので、bcc 構造では 4 体の交換が一番よく起こるが、スペキュレーションとして hcp になると 3 体交換が一番効いて強磁性になるというものです。
- ⑥ 圧力のとびの測定で固体 ^3He (bcc) 中の磁氣的転移を確認した名古屋の超低温グループ

の話が23日の午前のセッションにとび入りで加えられたこと。⑦ 最終日, Leggett の " Diatomic Molecules versus Cooper Pairs " という話。等々です。液体・固体ともに従来の延長線上にある理論は精密化・本格化して難しくなった一方で, ①や②などのようにホットなおもしろい実験が報告されたというのが全般的に受けた印象です。

最後に, ここでは①と⑦について少し詳しく紹介したいと思います。

① これは Mario Liu が " Broken Relative Symmetry and the Dynamics of the A_1 Phase of ^3He " (Phys. Rev. Lett. 43 (1979), 1740) の中で理論的に予言した ' 第2音波 ' を観測したというものです。' 第2音波 ' といっても, A_1 相では一方のスピン成分だけがペア凝縮しているため v_s が振動すると必然的にスピン密度の揺動が起こる, すなわち " 縦スピン波 " に他なりません。その為, A相 ($H=0$) では第2音速

$$c_2^{(A)} = \left(\rho_2 \frac{T_s^2}{c} \right)^{1/2} \sim \sqrt{\frac{\rho_s}{\rho_n}} \text{ cm/sec}$$

が小さく減衰のために観測できなかったものが,

$$c_2^{(A_1)} \simeq \left[\rho_2 \frac{\rho}{\chi} \left(\frac{r \hbar}{2m} \right)^2 + \dots + \rho_2 \frac{s^2 T}{c} \right]^{1/2} \sim \rho_2^{1/2} v_F \sim \rho_2 10^4 \text{ cm/sec}$$

$$\left(\rho_2 = \frac{\rho_s^\perp}{\rho_n^\perp} \sin^2 \alpha + \frac{\rho_s^\parallel}{\rho_n^\parallel} \cos^2 \alpha, \cos \alpha = (\hat{k} \cdot \hat{l}), \hat{k} : \text{伝播方向} \right)$$

で観測可能になる訳です。Mario Liu は Cross とともにA相の " ゲージホール効果 " の名付け親ですが, その議論の時に用いた " Broken Gauge Orbit Symmetry " という概念を A_1 相に拡張しました。つまり, 秩序パラメーターはA相のように

$$A_{i\alpha} = e^{i\phi_0} \Delta_i d_\alpha, \quad (i : \text{軌道}, \alpha : \text{スピン空間の各成分を表わす})$$

ですが, A相とは異なり1方のスピン成分の振巾=0であるために, Δ だけでなく d も複素数で, 2つの直交する単位ベクトルを用いて

$$\Delta = \frac{1}{\sqrt{2}} (\Delta^{(1)} + i \Delta^{(2)}) \rightarrow \hat{l} \equiv \Delta^{(1)} \times \Delta^{(2)}$$

$$d = \frac{1}{\sqrt{2}} (d^{(1)} + i d^{(2)}) \rightarrow \hat{h} \equiv d^{(1)} \times d^{(2)}$$

と書けます。すると秩序パラメーターの物理的に意味のある位相変化 $\delta\varphi$ は、 $\delta\phi_0$ に、 $\hat{l}$ 軸および $\hat{h}$ 軸の回りの各々の空間の回転角を、加えたものになります。従って

$$v_s = \frac{\hbar}{2m} \nabla \delta\varphi \quad (\text{便宜的にこう書きます})$$

の運動方程式の中には軌道空間の回転 (ゲージホール効果) とともにスピン空間の回転に係する項が含まれ、これが

$$c_2^{(A)} \rightarrow c_2^{(A_1)} \sim 10^4 c_2^{(A)}$$

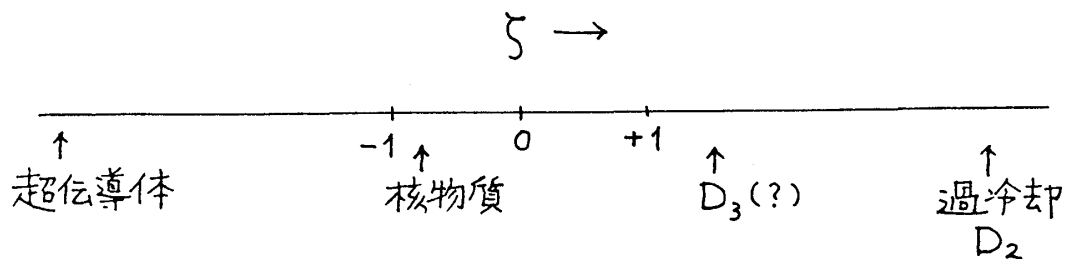
となったそもそもの原因だという訳です。理論の詳細は論文を参照していただくことにして、

①の実験から判ったことを列記します。

- (i) $c_2^{(A_1)}$ の数値のオーダーは予言通り。しかも、臨界指数は $1/2$ で ρ_2 のそれと一致。
- (ii) 同時に、吸収係数の臨界指数は $-3/2$ 。
- (iii) この“第2音波”は、熱とスピンの振動を同時に伴っているので、パルスの wave front における温度の変化および NMR の信号を解析することで、凝縮ペアのスピン成分を決めることができる。結果は、磁場方向のスピン成分であった。

パラマグノンによるフィードバック効果を取り入れた強結合理論 (K. Levin, Phys. Rev. Lett. 34(1975), 1002) によると磁場と反平行な成分がペアを作ることになっています。*) これは、結論 (iii) と反対です。

⑦ これは題名の示すとおり、スピン $1/2$ のフェルミ粒子多体系 (ポテンシャルのレンジ r_0 , S 波零エネルギー散乱振幅 a , フェルミ波数 $k_F = (3\pi^2 n)^{1/2}$) の基底状態が、 $\zeta = k_F a$ の値を動かす時、2原子分子のボース凝縮した状態 ($\zeta \rightarrow \infty$) からクーパーペア凝縮の状態 ($\zeta \rightarrow -\infty$) へどう変化するか考察したものです。これを考えるきっかけの1つとして彼が示したのは、考えられる新しいタイプのフェルミ超流体の例 (^4He 中の ^3He , spin-polarized ^3He , D_2 , D_3) と種々の系が並んでいる図です。



*) これは黒田さんに教わりました。

結論は、ある有限の $\zeta (>0)$ において、セルフコンシステントに決まる化学ポテンシャル μ が正から負に変わりそこである種の定性的変化(転移)が起こるというものです。特に、 $l \geq 1$ のペアの場合にはこの点で励起スペクトルにギャップが生じ始めて2体の波動函数の, singularity は消失する。もちろんこれには、 $|a|/r_0 \gg 1$, $k_F r_0 \ll 1$ の他に、多体系の波動函数の積で書けるという制限がついています。しかし、この難しいが基本的な問題に真面目にとりくんでいるところに理論家の心意気といったものを感じて帰ってきました。

[Poster Sessions]

7/22 — Superfluid ^3He —

Magnetic Relaxation of $^3\text{He-B}$ after a large Tipping Pulse ($>104^\circ$)

G. Eska et.al. (Munich Group)

Spin Echoes in $^3\text{He-B}$

G. Eska et.al. (Munich Group)

How to Detect Intrinsic Angular Momentum

H. Hall (Manchester University)

A Rayleigh Disc Experiment in Superfluid ^3He

R. Newbury (The University of Sussex)

The Upper and Lower Bounds of the Shear Viscosity of Superfluid $^3\text{He-B}$

Y.A. Ono et.al. (Case Western Reserve, Yamaguchi Univ. and Hiroshima Univ.)

Dissipation and Critical Velocities in the Flow of Superfluid $^3\text{He-A}$ and $^3\text{He-B}$

J. Hutchins (University of Sussex)

Observation of Anisotropic Dielectric Constant in $^3\text{He-A}$

G. Swift et.al. (University of California-Berkeley)

Flow Experiments on Liquid ^3He Below 5mK

J. Eisenstein et.al. (University of California-Berkeley)

Theory of Rotating Superfluid ^3He

N. Schopohl et.al. (University of Hamburg)

Detection of Vortex Arrays in $^3\text{He-A}$

O. Ikkala et.al. (Helsinki Univ. of Tech.)

Rotating Minilab

O. Ikkala et.al. (Helsinki Univ. of Tech.)

Are All Stability Inequalities Fulfilled for $^3\text{He-B}$?

J. Czerwonko (Technical University of Wroclaw)

Ion Mobilities in Superfluid ^3He

M.M. Salomaa (University of Helsinki)

Phenomenological Theory of the Squashing Mode in Superfluid $^3\text{He-B}$

M.S. Wartak (Technical University of Wroclaw)

The AB Transition in a Magnetic Field and the Free Energy Difference Between $^3\text{He A}$ and B

J. Feder et.al. (Ohio State University)

Acoustic Collective Mode Spectroscopy in $^3\text{He-B}$

B. Sarma et.al. (Northwestern University)

Hydrodynamics of Liquids with Intrinsic Angular Momentum

K. Miyake et.al. (Nagoya University)

Second Sound in Superfluid $^3\text{He-A}_1$

L. Corruccinni et. al. (Bell Laboratories)

Mass Current in Superfluid $^3\text{He-A}$ and $^3\text{He-A}_1$

P. Muzikar (Cornell University)

On the Agreement Between Microscopic and Macroscopic Theories of Hydrodynamics in Superfluid ^3He

R. Combescot (École Normale Supérieure)

Difficulties of Current in Narrow Pores of ^3He

E. Thuneberg et.al. (Helsinki Univ. of Tech.)

Comment on Equilibrium Order Parameters and Chemical Potentials in Rotating Superfluids

R. Combescot (GPSENS, Univ. Paris-Sud)

Boundary Effects in Fluid Flow

H.H. Jensen et.al. (HC Orsted Institute and Munchen)

Observation of a New Sound Attenuation Peak in Superfluid $^3\text{He-B}$

R.W. Gianetta et.al. (Cornell University)

7/24

— Everything Else —

CMN Powder and Single Crystal Reconciliation of L.T. Behaviors

R.P. Hudson (National Bureau of Standards)

Measurements of the Specific Heat of Liquid ^3He at 2.9

B. Hebral et.al. (CNRS Grenoble)

The Wonderful World of Polarization Potentials

K.S. Bedell (University of Illinois)

Shielded Superconducting Magnets

J. Feder et.al. (Ohio State Univ.)

Corrections to Scaling, Surface Specific Heat of Confined He-4

F.M. Gasparini et.al. (SUNY/Buffalo)

Non-Linear Magnetic Ringing in Spin-Ordered Solid ^3He

C.R. Hu (Texas A&M University)

Demountable Thermal Connector

W. Sprenger et.al. (Bell Laboratories)

Third Sound in Layered Systems, ^4He and H, etc.

R.A. Guyer et.al. (Univ.Mass.)

Sound Velocity in BCC ^3He 100mK to 3K

J.P. Frank et.al. (University of Alberta)

Density Dependence of Specific Heat of Normal ^3He

P.A. Roach (Argonne National Laboratory)

Ultralow Temperature Magnetic Properties of Quinolinium $(\text{TCNQ})_2$

D.M. Bates (U.S.C.)

Fixed Points at Low Temperatures

R. Soulen (National Bureau of Standards)

Fluorine Relaxation in Submicron Beads Surrounded by Normal ^3He

L.J. Friedman et.al. (Cornell University)

Pressure of Solid ^3He through the Ordering Temperature

T. Mamiya et.al. (Nagoya University)

Four Spin Exchange and Nuclear Antiferromagnetic Resonance in Solid ^3He

K. Iwahashi et.al. (Nagoya University)

Planer Four Spin Exchange

M. Roger (Saclay)

Solid ^3He Theory: Physical Origin of Multiple Exchange

J.M. Delrieu (Saclay)

Fermi Liquid Droplets in Liquid-Solid Solution of the Helium Isotopes

B. Hebral et.al. (CNRS Grenoble)

Optical Studies of the Roughening Transition at the Superfluid/HCP ^4He Interface, (Film)

J. Landau (Technion)

Measurements of Exchange Interaction in Solid ^3He by Sound Propagation

Q. Yongjia et.al. (Northwestern University)

Nuclear Refrigeration Properties of PrNi_5

C. Buchal et.al. (IFF-KFA, Julich)

Neutron Studies of Liquid He

H. Glyde (University of Ottawa)

2D Magnetism in Itinerant Nearly Magnetic Fermi Liquids

M.T. Beal-Monod et.al. (Orsay)

Phonon-Quasiparticle Resistance in Dilute ^3He

F. Guillon et.al. (Queen's University; Kingston, Ontario)

Specific Heat of ^3He - ^4He Solutions under Pressure

E. Polturak et.al. (Tel Aviv)

三宅和正

Fast Pomeranchuk Compressions in High Magnetic Field

B. Yurke et.al. (Cornell University)

Spin-Polarized Hydrogen - Preliminary Cornell Results

J. Denker et.al. (Cornell University)

Thermal Hysteresis in the Thermal Conductivity of Isotopically Impure BCC ^3He

A. Greenberg (Saclay)