

研究会報告

基研「超電導超流動の dynamical problem 研究会」報告

開催日 1964年11月7~10日

出席者 中嶋・阿部・田中・鈴木・曾田(以上東大) 宗田(教育大)

中野(名大) 松原・碓井・山本・都築(以上京大)

表題のように、dynamical effect に焦点をおいて開かれた。発表された報告の要旨とコメント、今後の問題点等について報告する。今度の研究会は少人数で、十分時間を取つて行なわれたので、活発な討論がなされ、非常に有益であつたように思われる。ここでは、討論の極く一部分しか報告出来ないことを、おことわりしておく。

I 曾田・中嶋：定常磁場内の Hard superconductor の surface impedance

〔要旨〕 dirty limit での話。従つて、electron mean free path ℓ , coherence length ξ_0 , penetration depth δ との間に $\ell \ll \xi_0 \ll \delta$ の関係が成立っている。mixed stateにある hard superconductor の電磁波吸収係数を求めた。その結果には、Abrikosov structure は直接現われず、spatial inhomogeneity の平均しか現われない。

〔問題点〕電磁場のために Abrikosov structure が振動するのではないかと考えられる。この効果がなぜ現われないのかという点が討論の中心となつた。このような dynamical effect はどのようにして計算されるのだろうか？ linear theory は適当な方法であろうか？ と云うことである。完全な Hamiltonian から出発して、correlation function を求めれば、この effect は出るはずである。しかしもつと直接的に Abrikosov structure と電磁波との相互作用を求め議論した方がよいかも知れない。

又、一般に、charge neutrality の条件から、電磁波吸収や超音波吸収の問題で、ion の動きに伴つて super-electron も動くはずである。今ま

研究会報告

での計算は normal-electron のみで出されている。にもかかわらず、実験はそのような単純な計算と一致している。何故だろうかという疑問が出された（中嶋）。

この点について、圧力による T_0 の変化と超音波吸収とが結びついている。このことから order estimate が出来るはずである。 T_0 の変化は小さいので、多分単純な計算でよいと云うことになるだろう。

II Magnus effect

全体の話題として、会場で提出された。実験によれば、mixed state にある hard superconductor では Hall 効果がある。vortex line に Lorentz 力のみが働くとすればこの効果は説明できるが、de Gennes によると、vortex line が動くとき、流体力学的力即ち、Magnus force と Lorentz force はつり合っていて、flow と直角な方向には動かない。そこで vortex line に Magnus effect が現われるのだろうかという問題である。

電流密度は無限遠で指数函数的に消えるから、Magnus 効果は存在しないと考えられるが、中嶋の計算によると、電磁流体力学的に取扱つて、動いている vortex line のまわりの fluxiod を求め "Magnus force" を求めると、丁度 Lorentz force を打消す。しかし、vortex line に働く Magnus effect とは何かということが、十分明らかでなく、彼の計算による力を Magnus force と呼んでよいかと云う疑問が出た。

この点は別にしても、drift しない解があるということを示しただけで、これは実験事実と対応しない解であつて、対応する解がないとはいえないのかも知れない。

superconductor における Hall effect の説明は未解決である。

III 宗田・L. Meyer: Quantized vortex ring の壁の近くでの振舞

〔要旨〕 L. Meyer の実験によると、He II のなかに ion source をおき、電位差をかけると、collector current は時間と共に減少する。これは collector の壁のまえに ion sheath が出来るためであろうと考えた。彼の estimate によると、壁と sheath との距離は $10^{-6} \sim 10^{-7}$ cm である。

宗田は、ring core に ion が trap されるという Reif の仮定のもとに

壁の effect を mirror image method を用いて取りこみ、ring の重心系の速度が零となる点を sheath の位置を考えて、その距離を求めた。その結果は、 $10^{-6} \sim 10^{-7}$ cm となり、実験事実を一応説明することに成功したように思われる。計算は古典的になされた。quantum mechanical にも、order estimate して、ring が小さい領域で classical と一致した。

〔問題点〕宗田の picture に立つたとき、速度零の位置がはたして、sheath の位置かどうか、加速度を計算してみる必要があると指摘された。この点は今計算中である。

宗田の picture についての議論がなされた。ion は ring core に trap されるのか、ring の重心の位置に trap されているのかと云うことである。この点からんで「vortex ring は壁に接した状態が energy minimum で、宗田の速度零の位置は不安定ではないか。安定性を議論するためには、ion が ring に trap される mechanism を明らかにする必要があるだろう。その際 ion charge による polarization が essential な筈である」と云うコメントがなされた（碓井）。

IV 碓井: Dynamics of quantum statistical condensate.

〔要旨〕一体の density matrix の macro な eigen-value を持つ eigen state を condensate field ψ として ψ に対する方程式を導いた。簡単のために point interaction をもつ Hamiltonian から出発して、dynamical Hartree の近似で二流体 model を導いた。Bose 系、Fermi 系についてなされた。condensate field ψ は、Landau-Ginzburg-Pitaevskii のようには書けない即ち、 $\psi = a e^{iS}$ と書いたとき、 $a \neq \sqrt{\rho_S}$ 。換言すれば、 $\psi_S = \sqrt{\rho_S} e^{iS}$ は一体の density matrix の eigenstate ではない。ここで ρ_S は condensate + depletion である。従つて condensate の知識だけでは不十分で、excitation の様子にも依存する。この事情は超電導でも問題になるだろう。即ち、 ρ_S としては Cooper pair (Fermion に対応) の他に、それにひきずられる excited particle が入ってくるのではなからうか。

〔問題〕二体の density matrix を deconple する時、Gor'kov 近似をしたので、collision effect が入っていない。second sound を導出す

研究会報告

るためには collision term を定式化しなければならない。

V 中嶋：超電導体の kinetic equation

〔要旨〕前項でもふれたが、collision term の計算や、quantum condensate のある場合の非可逆過程を linear response のわくをこえて定式化しようとするとき、どのような方法が有効であろうか。linear response の範囲では、松原-Landau school の thermal Green function の方法が大成功を収めた。non-linear な場合にも、解析接続の方法が同様に使えるという報告がある (Soviet Physics-Solid state 5, (1964) 2166, Slozuv)。一方最近 Kadanoff-Baym により提唱された Greens function による取扱法も、可能性を含んでいるように思われる。中嶋はこの方法を超電導の場合に応用し、分布関数に対する kinetic equation を導いた。dynamical Hartree 近似をしたので、collision term は出てこない。もつと higher の decoupling をすれば、collision term は出て来るだろう。

〔問題〕Kadanoff-Baym の方法がどこまで有効であるかという点については、今後の研究課題であろうが、dynamical Hartree 近似の範囲内で、例えば碓井の結果と中嶋の結果を比較検討してみる必要があろう。多分一致するであろうが、何らかの示唆をうることができるかもしれない。

electron-phonon system の Hamiltonian から出発して、quasi-particle の分布関数に対する kinetic equation を導く方が、collision term はもつとすつきりと入つて来るかも知れない。

VI 鈴木：Spin 系の二次相転移の現象論

〔要旨〕この報告と次の報告とは、dynamics の問題ではないが、研究会で取り上げられた。spin 系の二次相転移で、 T_c の近くでの magnetization M と susceptibility χ の singularities を現象論的に議論した。free energy の中で、 M^6 の項を M^4 の項より重要視すると、実験結果 $M \propto (T_c - T)^{2/3}$ と $\chi \propto (T_c - T)^{-4/3}$ が説明される。比熱の (logarithmic) singularity は normal 側の free energy から出て来るはずで、これは残された問題である。一番望ましい型の解は、 M , χ , 比熱の singularities を統一的に説

明することである。

VII 都築: Intrinsic London Superconductor の磁氣的性質

〔要旨〕 intrinsic London superconductor (電子の mean free path 無限大) の混合状態の磁氣的性質を報告した。subcritical region ($H_{C2} - H \ll H_{C2}$) では、Abrikosov の mixed state は、dirty limit におけると同様に、2つのパラメータ $\kappa_1(T)$ と $\kappa_2(T)$ を用いて完全に記述される。関係 $\kappa_2(T) \geq \kappa_1(T) \geq \kappa$ (等号は $T = T_c$ で成立) が成立していて、dirty limit での関係 $\kappa_1(T) \geq \kappa \geq \kappa_2(T)$ と、きわだつた違いがある。又 pure limit で $\kappa_2(T)$ は絶対零度の近くで $[\ln T_c/T]^{1/2}$ のように発散する。このことは、最近の Serin 達の比熱の測定が実証しているように思われる。結論的に言つて、 $\kappa_1(T)$ の温度変化は impurity concentration にあまり依存しないが、 $\kappa_2(T)$ は強く依存する。

Landau-Ginzburg の方法の有効性について議論がなされた (11月号 85頁参照)。

VIII まとめ

各テーマについてのまとめ、問題点及び超電導、超流動の dynamics の今後の問題についての一般的な方向づけは、今までに各所にもり込まれていると思うので、ここでは、統計力学の今後の大きな方向についての討論を少し報告しよう。

8月の堅田での研究会で「まとめ」として同じ問題が討論された。その時の松原の報告 (11月号参照) を中心において話合つた。松原チャートによる今後の問題は、協力現象と非可逆性の結びついた領域 (例えば、critical point 附近での relaxation) である。各分野でなされているこの種の問題解決の努力は、単に、協力現象 + 非可逆性の立場に立つてなされているようにみえる。無論、この努力が無駄であるといつている分けではなく、それで十分な場合も沢山あるだろうし、又この方向によつて、問題解決への重要な糸口も見つかるであろう。

しかし、統計力学の立場としては、それだけで十分だろうか。松原チャートで、直接対角線を走る方向はないものだろうかと云う要求は自然に出てくる。

研究会報告

Kadanoff-Baym の方法は、そのようなものの一つであるかも知れない。しかし、この方法には、数学的にも物理的にも、不明確な点が多く含まれている。この方法の明確化，改良に、エネルギーをそそぐ価値があるかも知れない。

この研究会の間に、若手養成の問題（超電導，超流動関係に限つたものではない）について討論がなされ、若手からもいくつかの意見が出された。そのジツペ返しかも知れないが、教育的配慮と称して、ボス達は、若手に研究会報告を作るよう強制した。この報告は、鈴木と都築による。特に「まとめ」の部分には都築の主観が多分に入っており、最終的文責は都築にある。　（以　上）