

物性研だより

第2卷
第3号
1962年8月

目 次

研究室紹介

○ 山下研究室	山下 次郎.....	1
○ 芳田・糟谷研究室	芳田 奎.....	2
○ エレクトロニックスショップ	小林 晨作.....	6
	大塚泰一郎	
	松村 創	

研究室だより

○ 京大富田研究室	富田 和久.....	9
-----------------	------------	---

研究会報告

○ 反強磁性体の磁区構造と寄生強磁性体の記憶現象	岩田 孝夫.....	11
	近藤 久元	
○ 強磁性金属	近藤 淳.....	16
	三輪 浩	
○ 固体プラズマ	松平 升.....	21
○ 核研シンクロトロンを使う核と物性の境界領域の実験	西川 哲治.....	27

物性研ニュース.....		34
--------------	--	----

サロン

○ Harwellについて	平川金四郎.....	35
○ 無題	大川 章哉.....	37
○ 物性研での一ヶ月	碓井 恒丸.....	40
	恒藤 敏彦	

レター

○ 「核研シンクロトロンを使う核と物性の境界領域の実験」研究会に対するコメント	小谷 恒之.....	44
---	------------	----

研究室紹介

山下研究室

山下次郎

研究室のメンバーは最近かなり移動がありました。助手の井上謙蔵君は、計算機センターの主任として、計算機室に移り、技官であつた黒沢君は中央大学に移りました。助手の後任としては、湯浅君が京大から、今年の四月にみました。黒沢君の後任の寺崎さんは計算機センターに属しています。大学院の学生が二人おります。長谷川君はD・Cの一年、和光君はM・Cの二年です。

物性研の計算機は、めいれいの変更や一部の故障のため、ライブラリー・プログラムや、自動プログラムの開発がおくれているので、計算機の能力を十分に使うことができません。しかし、それらの悪条件は来年度の初めごろになればとりのぞかれるみ込みですから、我々は計算機を利用して固体の電子構造の研究をやりたいと思っています。現在はその第一歩として、通研の福地充君とNiのd-Bandの計算を始めました。プログラムをまちがえてばかりいるので、遅々として進まないのですが、自動プログラムが完成し、計算機自身の全能力を利用できるようになれば、かなりの仕事ができるようになるでしょう。現在計画しているのは、酸化物半導体の電子構造や物性の研究をやることです。これはかなり以前からやつていたのですが、計算機がないので今までできなかつたものです。また遷移金属を含む酸化物や硫化物の電子構造の問題もやりたいことの一つです。

このような問題は、計算機の能力にアメリカと日本との間に非常な差のあること、この差は目下のところ開くことはあつても、せばまる見込はないことの理由で、あまり有望なテーマではないと思われます。しかし、わが国でもある程度のことはやらなくてはならないように思われますので、できるだけやつて行きたいと思っています。

湯浅君は目下のところ、Mottの問題に興味をもつています。たいへん難かしい問題ですが、物性研の助手は雑用もすくなくて、研究にめぐまれた地位ですから、5年ぐらいこのよ

な問題にとりくんで、しつかり勉強するのはよいことだと思います。

長谷川君はいまで半導体の輸送現象の仕事をしていました。今度から、高圧下の物性に興味をもつてもらいたいと思つています。そのオ一步として、今度アルカリ金属の電気伝導の圧力効果の理論的研究をスタートしました。

和光君は M . C ですので、まだ特に専門を決めていません。

芳田・糟谷研究室

芳田 奎

理論 I の構成メンバーは芳田、糟谷、近藤、三輪、渡部惇子の 5 名である。このうち糟谷は一昨年秋以来 Bell Telephone 研究所の研究員として渡米中で本年秋に帰国予定である。

理論 I の部門が発足したのは 2 年前の春であるから、我々は物性研に移つたばかりのような気分がまだ抜けきらないわりにはかなりの月日が経過したものである。物性研での理論研究室は実験研究室とは異り、何も新しい装置があるでもなし、他の大学の理論研究室と変つた処はない。違つた処は大学院学生がいないこと位である。しかし物性研の理論と他の大学の理論との間には精神的にはやはり少し違いがありそうである。物性研の理論の使命には独自の理論研究の推進と同時に他の実験部門との適当な coupling の問題がある。実験との coupling にはいろいろの形があつて、各研究室の性格や好みに応じて適当に行われればそれでよいのであろう。しかし物性研のような処では何かそういう協力のもとに scale の大きな unique な研究が生まれることが望まれるし、またわれわれはそのような努力をしなければならないと考えている。

さて 2 年余り前に我々が物性研に移つた当時、理論 I としてどういうテーマを取り上げようかといろいろ考え、一応の研究計画を立てた。理論の講座であるから別にどの方面という区別なしに重要な問題を時に応じてとり上げてゆくということも 1 つの考え方であるが、また研究室としてある特別の問題に重点をおき、その問題に対して長期計画を立て、研究を進めることも考えられる。我々は後者の立場に立ち中心問題として強磁性金属の研究をとりあげた（金属強磁性ではない）。強磁性金属の内容としては、Ni, Fe, Co 及びそれ以外の 3d 電子をもつ

遷移金属や， $4d$ ， $5d$ をもつ遷移金属，及び $4f$ をもつ稀土類金属を考え，これらの金属の示す強い磁性の研究から，金属そのものの研究をも含めて考える。遷移金属及び稀土類金属の研究は従来あまり詳しい研究はない上に，他の正常な金属より複雑で変化に富んだ面白い性質をもつてゐるようと思われたからである。

これらの金属の研究は勿論かなりむずかしいので一挙に解決することは不可能である。それで比較的簡単な稀土類金属の磁性から始めることにした。問題の糸口としては Dy が低温で強磁性を示し，ある温度以上で反強磁性に変る。この転移の問題からとりあげることにした。丁度その頃 Oak Ridge で稀土類金属の中性子線の研究が始まられ Ho や Dy で反強磁性と思われていた温度領域で screw 構造が認められ，続いて Er , Tm , Tb 等でも screw 構造あるいはスピンの z 成分の振動が認められ， Tb から Tm までの重い稀土類でのスピンの秩序状態が明かにされた。われわれはこれらの実験と平行して，稀土類金属のスピン構造の安定性，異つた構造間の転移の問題を調べ，単純な screw 構造を安定にする交換相互作用と各金属イオンに固有の結晶の異方性エネルギーとで Tb から Tm にみられる種々の screw 的スピン排列を説明した。この研究は主に三輪によつて行われた。

この結晶異方性エネルギーはイオン結晶の場合と同様にミクロに計算できる。ただ稀土類の場合は 6 次迄が実際に動いている。一方 screw 構造を安定にするような交換相互作用がどういう原因で生じるかという問題がある。この問題は伝導電子と局在した $4f$ スピンとの間の交換相互作用で非常にきれいに説明できることがわかつた。定性的にのべると，もし稀土類金属の $4f$ スpin が screw 的に並ぶと $s-f$ 間の交換相互作用のために s 電子には screw の週期に相当した周期ポテンシャルが働く。このために伝導電子のエネルギーは K 空間にできた新しい Brillouin zone の boundary で gap をもつことになる。このエネルギー gap の生成による全伝導電子のエネルギーの下りを調べた結果，この gap が丁度 Fermi 面の近くにできた場合に最も安定であることがわかる。このように screw 構造はこのために生じた新しい zone boundary が Fermi 面に大体接するという条件できる。この条件での screw の周期は c 面の数にして大体 7 枚で，よく実際と一致している。このことから同時に稀土類金属での伝導電子は nearly free という近似が非常によいといふことが結論される。

このようにして稀土類金属の磁性の本質がだんだん明かになつてきたが，このような磁性が電気伝導にどのような影響をもつかということも明かにすべき問題である。実験ではこれらの

稀土類金属では電気抵抗が $N_{\text{é}} \theta 1$ 点以下で逆に増加し最大値を示して後に減少する。さらに大きい異常ホール効果があらわれる。近藤は局在スピンの立場から異常ホール効果、強磁性の場合の磁気抵抗を説明した。また三輪は screw 構造発生と同時に生じるエネルギー gap の効果とスピンの平衡値からのズレによる散乱の効果を合せ考慮して Er の電気抵抗の異常を計算し実験とよい一致が得られることを示した。

この外、近藤は稀土類金属での $s-f$ mixing の効果を調べ g 因子や Hall 効果への寄与を調べた。また渡部は screw 構造での磁気共鳴吸収を計算した。

以上は過去 2 年間にわれわれが稀土類金属に対して行つた研究の主なものであるが、これで Ad 以下の重い稀土類金属の本質がかなり明かになつたと思う。En より軽い稀土類ではなおくつか問題はあるが、要するに稀土類ではスピンがよく局在しているために現象の見掛け上の複雑さに反してその本質は非常に簡単であつたようである。

いまわれわれは稀土類金属の上に述べた研究を一段落としてオ 2 の step をふみ出す段階にある。オ 2 の問題は $3d$, $4d$, $5d$ の遷移金属の研究である。とりわけ、軽い $3d$ 金属及び $4d$, $5d$ 金属では d 電子は格子点に局在せずに結晶全体を動きまわる。即ち d 電子は狭いだろうけれども band を形成している。このような電子は強磁性あるいは反強磁性を示すものは少く、磁気的特性はむしろ常磁性帶磁率が著しく温度に依存することにある。またこれらの遷移金属の多くは超伝導性を示す。この超電導は磁性とかなり深い関係にあることが知られている。従つて $4d$, $5d$ の遷移金属の本質を明かにするためにはその超伝導と磁性を合せて検討することが必要である。われわれはこのような d -band の電子の研究を今後の目的にしたいと思う。これに対して Ni, Fe, Co, Mn では d 電子は一方では band 的に、他方では局在電子的に振舞い、この意味で理論的には最も難しい物質であると思われる。この問題解決に対する糸口はむしろ $4d$, $5d$ の遷移金属の研究から得られるものではないかと考えている。

さし当つての $4d$ - $5d$ の遷移金属の問題点としてはオ 1 に超電導の問題があげられる。この超電導には果して BCS 理論のいうように電子・格子相互作用によるものか、あるいは Coulomb 力によるものかという本質的な疑問がある。この研究は現在主に近藤によつて進められている。この方向の研究と同時にまた BCS 理論と適当に取つた band 構造の形によつてどこまで実験が説明されるかを明瞭にする必要がある。

オ 2 の問題は勿論磁性の研究である。即ち d 電子間の交換相互作用の問題を調べることである。これに関連して面白いのは $ZrZn_2$ にみられる強磁性である。この外合金の問題等今後考

えなければならない事柄が非常に沢山あるようである。

このような問題を考える場合に重要なのは d -band の構造である。即ちいくつかの d -band の特性、並びに Fermi 面の形がどうなつているかということである。アルカリ金属や、Cu, Zn, Al あるいは稀土類金属では伝導電子は nearly free の近似が大体正しいと思われる。Phillips, Heine, Cohen によれば lattice イオンのポテンシャルは始め考えられていたよりもずつと小さい効果しかもたない。伝導電子の波動函数がイオン core に直交させることによつて core のポテンシャルが大きく cancel されるからである。 d 電子の場合はどうであろうか。この場合は何か d 電子の特性が band 構造に反映しているにちがいない。この理由から Fermi 面を決める実験 de Haas van Alphen 効果や、magnetoacoustic attenuation の実験がもつと精力的に行われる必要がある。われわれは何とかして d -band の 1 つの模型を作りたいと思っている。

研究室の project としてはまあ大体以上のようなことを今後研究してゆきたいと考えている。それと同時に実験の部門との coupling も密にしてゆきたいと思つてゐるが、これは相手のことであるから一方的にはばかり考えるわけにはゆかない。稀土類金属の場合でも NMR や比熱の実験、さらに興味のあるのは screw によつて新しくできた伝導電子のエネルギーの gap を直接に detect するような実験、その他実験家と協力してやりたい研究はいくつかあげられる。遷移金属に対してはまだ具体的に、特に重要な実験を考えつくまでの段階には達していない。しかし、さきに述べた d -band の形を決めるような実験はわれわれとしても積極的に考えてゆきたいと思う。

以上われわれが過去において行つてきたこと及びこれからやろうと考えていることを思いつくままにならべたが、こんなことで研究室の研究面での紹介になつたかどうかは甚だ心細い。中嶋さんから指定された枚数にも程遠いように思う。しかし 4 名という小人数の理論研究室が細々と行つている研究の紹介では長く書くことのあらう筈もないでこの位で筆を擱くことにする。

エレクトロニクス・ショップ

小林 晨作，大塚泰一郎，松村 創

最近の物性物理学の発展はその実験手段としてエレクトロニクスを不可欠たらしめました。物理学の他の分野と同様に、物性論の分野でも増巾器や各種の自動制御装置に真空管、トランジスターその他によるエレクトロニクスに厄介にならない実験は殆んどないといつてよいと思われます。これが物性研に普通の研究所がどこでもおいている金工室とならんでエレクトロニクス・ショップをおくにいたつた所以に他なりません。はじめは、研究者の物理的アイデアが充分發揮できるように、すでに標準的と思われる回路に彼等が多く時間と労力をさかなくてもよいようにし、又必要に応じて研究部門での試作回路の設計製作に協力していくようなものをショップに対するイメージとして考えられていたと思われます。そこで物性研要覧にはショップの性格を次のように規定しております。

エレクトロニクス・ショップの目的は各種電磁気測定器、とくに精密測定器を維持管理して、所内の便宜をはかるとともに測定精度の向上に資すること、および標準的な電子回路を試作開発して、所内各部門の要求に応じて便宜をはかることなどである。また、研究部門の回路設計に関する相談にも応ずる。

現状は人と予算の関係もあつて、当初の目標には遙かに遠いといわねばなりませんが、関係者一同歩みは遅くとも微分係数は正であるように願い且つ努力をつづけている積りです。以下現況を簡単に御報告致します。

運営は工作関係委員会によつて行われていますが、委員の任期の関係で担当の委員は1年交代します。昭和37年度の委員は小林晨作、大塚泰一郎の2名です。

人員は技官松村創、技術員藤原宗一及び復本栄一、技能員戸崎勝利の計4名です。

仕事としては測定器の貸し出しと委託製作とが2本の柱となつています。

測定器としては、約120台を管理していますが、主な設備としては次のようなものがあります。

標準信号発生器：G R、日本無線及び沖電気のものによつて5kc～1100Mcをカバーしています。

フリケンシーカウンタ：10進法8桁、沖電気製、 $10\text{c}/\text{s} \sim 220\text{Mc}$

中短波受信機：1～30Mc，コリンズ方式，日本無線製

オシログラフ：545-S6，0～30Mc，Tektronix 社製

555，0～30Mc，Dual Beam，Tektronix 社製

SS 5151，0～15Mc，岩崎通信機社製

多点記録計：大倉電気製

X Y レコーダー：理化電気研究所製

真空管試験器：Hickok 社製

ボテンシオメータ及び標準抵抗，標準インダクタンス，標準コンデンサ

その他Qメータ，交流ブリッジ，超絶縁計，各種メータ等。

貸し出しは過去1年間に160件ほど扱つてきましたが，

岩崎通信機製：SS 5151 シンクロスコープ

横河電機製：Q メータ

安藤電気製：ホイートストンブリッジ

横河電機製：低周波アツテネータ

東亜電波製：超絶縁計

Hickok 社製：真空管計験器

Tektronix 社製：545-S6 オシロスコープ

沖電気製：レゾメータ(Grid dip meter)

横河電機製：Flux meter

等が最もよく利用されています。

次に委託の仕事ですが，件数は約30件とまだ少なく，これからといふ段階ですが，今までに，

直流安定電源：PS-201型(出力250V, 200mA, 安定度±0.3%)

PS-211型(出力250V, 100mA, 安定度±0.05%)

の2種類は規格品として15台製作，その他特殊なものとしては，

広帯域増巾器(帯域2kc～3.5Mc, 利得96dB)

(帯域150kc～20Mc, 利得30dB)

遅延パルス回路(单発マルチバイブレーターを使つた遅延回路)

Vibrating Sample Magnetometer

極低温温度コントロール装置

フォトマルチプライヤ用高圧安定電源

等を手がけています。

今後もアンケートなどにより所内の要求を知り、それに応じ、又エレクトロニクス・ショップの技術の向上に応じて規格品を決め、規格品の組み合わせによつてある程度まで実験ができるような態勢にもつて行くべく努力しております。皆さまの御指導をお願いいたします。

予算のことになりますが、経常費が人件費を除くと25万円(昭和37年度)なので、測定器の維持、部品代にも不足がちです。

エレクトロニクス・ショップとしては貸し出し業務や、委託製作のほかに新しい部品の開発などもやるべきなのですが、予算及び人員の関係でそこまで手がまわりかねているのは残念です。

研 究 室 だ よ り

京 大 富 田 研 究 室

京大理 富 田 和 久

“物性研だより”に研究室の様子を書くよう御註文を受け何の気なしに引受けたのですが、考えてみるとこれは“物性研だより”であつて“物性だより”でないことに気がつきました。日頃物性研と特に密接な連絡があるわけでもないので、筆をとることが適當なのか否か見当がつかず困つているところへ、中嶋君が来られて、あれは“物性研究所だより”とよむのではなく、“物性研究者だより”と読むのだということで、うまい説明があるものだと感心しました。それにしても、できればはじめから、私のように迷う人がないように“物性だより”としてはどうでしょう？

ところで、研究室の現況というわけですが、最近一年程私達が取組んできた問題を述べてみます。私自身長く磁気緩和現象に興味がありますので、共鳴吸収の実験をてがけている高橋研と一緒に勉強する機会をつくっていますが、ここ暫くは、Bogoliubov-Tyablikov の二時間グリーン函数をつかつて、critical point や ordered phase を含めて緩和現象の理論的解明を目指してきました。グリーン函数法そのものの功罪について種々論議があるようですが、別に方法そのものに固執する心算はなく、従来よりも稍々立入つて緩和現象の細部を論じうるという点に興味があります。ハイゼンベルグ模型は damping を導くにはたやすい系ではないようですが、現象自体の興味にひかれてつづいているうち少しづつ解つてきました。すなわち常磁性領域における exchange narrowing を確認したほか、2種のスピンが交互に配置している系について、共鳴吸収線の形状が静磁場の大きさによつて変る問題を扱い、 $K_2 CuCl_4 \cdot 2 H_2O$ (物性研 阿部英太郎氏の実験) $CuSO_4 \cdot 5 H_2O$ (Bagguley-Griffith の実験)の常磁性共鳴を説明することができました。高温側から critical point に近づいた場合の damping についても、強磁性と反強磁性の物理的なちがいが大分はつきりしてきました。critical point より低温側の問題は、す

でに定性的に判然している点も 2,3 あります。全体としては今後の解明が必要で、しばらくこの方面的努力がつづくと思います。

二時間グリーン函数をつかつた経験の副産物とでもいえそうなものは、(i) 半導体における不純物スピンの常磁性共鳴を挙げることができます。この場合不純物の濃度に応じて認められる吸収線の amalgamation の現象は定性的に簡単に扱うことができました。更に、charge の空間的運動との関連を扱うことに興味をもけて、少し計算中です。(ii) もう一つは Boltzmann 方程式の適用限界について、伝導度の計算で問題になつた。Landau-Peierls の criterion です。これは motional narrowing と同質の問題だと思いますが、以前に moment の方法で扱つた結果を、グリーン函数の立場から見直すことによつて、多少不要の心配をしていた点が明らかになり、近似の性質を要約することができました。結果としては、やはり collision duration という概念がはつきり表面にでてきます。

年来の宿題としては、共鳴吸収の飽和に関連した非線型問題がありますが、これは息の長い宿題として、研究室の勉強のテーマになつています。非線型の問題は物理学者よりも電気工学者の方が大胆で先に進んでいるような点があります。今後大きく取り上げるべき問題でしょう。

理論のグループとしては教室には他に松原グループ、寺本グループ、横田グループがあります。松原さんは在外中ですが、寺本氏のところの不完全格子の振動の研究、横田氏のところの遷移金属の電子構造の問題、プラズマの非線型問題等は、原理的に私達と同一方向の興味があり、一週一度は集つて問題やトピックの交換を行つています。

研究会報告

「反強磁性体の磁区構造と寄生強磁性体の記憶現象」

東北大金研 岩田孝夫， 大阪府大 近藤久元

昨年 8 月末の磁気緩和研究会の最終日に、「反強磁性体の磁区と寄生強磁性体の記憶現象と一緒にした研究会を開いたらどうか」との発言があつた。この研究会はそのときの提言に基いて企画され、5月 29 日 - 30 日の 2 日間、物性研究所で開かれた。

最近、磁区に関係した実験が幾つか報告され、反強磁性体に磁区が存在することは、ほぼ明らかであろう。しかし反強磁性体の完全結晶では、強磁性磁区における静磁エネルギーの果す役割に代るもののが現在見出されていないので、超交換相互作用と磁気異方性エネルギーだけでは、むしろ単磁区になる可能性が強いと考えられる。従つて現実の結晶に磁区を生ずる理由は試料内に存在する結晶の不完全性によるとされている。磁区に関する実験が少い現在、磁区の起因については実験的には全くわかつていないのが現状である。次に、磁区に関係した現象が数千エルステッドの磁場で観察されたとすれば、磁壁を動かすに必要なエネルギー値 ($10^{2\sim 3}$ erg/cc) は金属強磁性単結晶(例えば鉄)の不可逆磁化過程に必要なエネルギー値と同じ程度である。即ち反強磁性体に $\sim 10^3$ G で起る現象は、エネルギー的に見ると、磁気的にやわらかい金属強磁性単結晶の数 10⁰ 以下の内部磁場で生ずる現象に対応すると考えられる。このことは、強磁性体の不可逆磁化過程の原因から類推して、試料内の不純物や内部歪、並びに履歴は磁区の形成、磁壁の動きに敏感に寄与し、磁区に関係を持つ帶磁率、トルク等の測定結果の複雑さの原因となるようにも思われる。以上の背景に立つて、反強磁性体の磁区構造とそれが関係した現象を論ずるのが研究会の一つの目的であつた。

他方、 $\alpha-\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 TmFeO_3 などでは常温の残留磁化が低温変態点(それぞれ -15°C 及び -170°C)を通過て冷却加熱をくりかえした後でも常温で再生される。その際、 $\alpha-\text{Fe}_2\text{O}_3$ では、永田グループによつて発見された、奇数回目の加熱と偶数回目の加熱の後では再生する磁化の大きさが異り周期的変動を示すという奇妙な現象をも含めて、いろいろ複雑な現象が報告されている。これらが Dzyaloshinsky-Moriya の理論の線にそつて説明

できるか、又は他のファクターも考えに入れなければならないかについて、これまで議論がなされてきたが、それを特に寄生強磁性体の磁区構造との関連の面からも検討しようというのが本研究会のもう一つのねらいであつた。

講 演 題 目

才1日目「反強磁性体の磁区構造と磁壁の理論」

1. 反強磁性体における磁区について	阪大理	永宮 健夫
2. X線回折によるT壁の観察(Lambot法)	東大理	近 桂一郎
3. NiO の磁区	大阪府大	齊藤 昭三
4. NiO 結晶のある種の磁区	大阪府大	近藤 久元
5. 偏光法の装置について	東北大計測研	小島 浩
6. NiO の磁壁の理論	大阪府大	山田 竹実
7. スクリュー構造における磁壁	東北大金研	安達 健伍

才2日目「反強磁性磁区が関与した現象」

1. MnTe の磁区	東北大理	平原 栄治
2. 酸化物結晶の磁区	大阪府大	近藤 久元
3. CoO と NiO の反強磁性磁歪	東北大金研	中道 琢郎
コメント：反強磁性体の弾性常数	東北大金研	神垣 和夫
4. 寄生強磁性体のMagnetic domain wall motion	物性研	梅林 宏道
5. α -Fe ₂ O ₃ の磁性及び記憶現象	東大理	田崎 明
6. α -Fe ₂ O ₃ の記憶現象と磁区	東北大金研	岩田 孝夫
7. オルソフェライトの記憶現象と磁区	電々公社通研	黒田 鎮次

なお、講演内容は小冊子にまとめられる予定であるから、ここではその要旨を簡単に報告する。

(才1日目) まず最初に永宮先生から反強磁性磁区と関係した実験結果について紹介と解説があつた。即ちNiO(Roth), MnBr₂(Wollan達), MnI₂(Willkinson達)の中性子回折の実験結果, Cr₂O₃(Rado達)のピエゾ磁気効果, 及びMnF₂については

Pershaw の核磁気共鳴吸収の実験と Nathans 達の中性子回折の結果が磁区をテーマにして述べられた。次に近氏それから齊藤氏によつて NiO の劈開面の小角境界及び双晶組織についての X 線観察の結果が報告された。近氏は Lambot 法を用いて結晶方位のずれを試料の各部分について調べ、高温熱処理された結晶では T- 壁は非常に少く、又回折線の巾から求めた転位密度は $10^6/cm^2$ 以下であることを結論した。この結果は齊藤氏の観察及び竹田-近藤の chemical pits から求めた転位密度とよく一致している。又軽い stress によつて生じた結晶方位のずれが、Roth の T- 壁と対応していない点が注目される。齊藤氏は、Berg-Barrett 法及び Back-Reflection X 線顕微鏡法を用いて、試料の表面全体にわたつて双晶組織を調べ、双晶境界は Slack の報告した "4-wall structure" の場合を除いて、T- 壁は互に交叉しないことを指摘し、T- 壁と他の種の壁とを区別できることを結論した。また、双晶組織（ある意味で磁区組織）の安定化は転位それ自身によるのではなく、転位の分布による結晶内の "Long range" の弾性歪によつて安定化されることを論じた後、透過電顕法による NiO の T- 壁観察の試みを紹介した。これは、転位と磁区の関係をしらべる一つの方向を示す意味で重要である。なお、偏光法で NiO 結晶に見出される或る縞状の Domains (後述) は、X 線解析の結果では、 $1'$ 程度の結晶方位のずれに対応することが推定され、又面間距離の違いが見出されないことなどから、Roth の双晶組織と異つた Domain であることを報告した。近藤は NiO 結晶の高温熱処理と pits との関係及び偏光法で観察される縞状の Domains について報告した。即ち比較的厚い試料に消光位で見られるこの Domains は、外部磁場との相互作用、偏光観察、及び X 線回折（上述）の結果から判断して Roth の T-Domain と異つた種類の磁区であるが、もし NiO の S-Domain に 10^{-5} 程度の磁歪があれば、透過光に対する縞模様の Intensity の比は説明されることを論じた。S-domain に磁歪が存在するかどうか、NiO 単結晶が光学的に 2 軸性であるかどうか、まだ多くの問題が残されている。小島氏は偏光顕微鏡用としても有用な高温並びに低温用ステージの装置について、又観察上の注意について述べた後、NiO の劈開したままの薄片試料の Domain pattern は加熱前後 (Néel 点以上まで数回加熱された) で異なることを報告した。山田氏は NiO 結晶の T- 壁を 1 種の磁壁と考え、超交換、直接交換、磁気双極子の各エネルギー及び弾性エネルギーを考慮して、連続体近似法で調べた磁壁の性質について報告した。即ち、今 {111} 面内でスピンの容易軸を $< \bar{1}\bar{1}0 >$ 方向に仮定すれば、磁壁として、 60° 、 90° 、 180° の 3 種の磁壁が可能で、その厚さは数 10 原子層、磁壁の自己エネルギーは数 エルグ/ cm^2 である。これらの値は鉄

等の金属弾磁性単結晶と同程度である。なお、この理論では S-domains の磁歪の項は一応ないとして計算された。安達氏は Pure screw (Proper screw と Cycloidal screw) 型と Cone screw 型の S-domain の磁壁についていくつかの磁壁の Model をあげ、連続体近似を用いてその性質を調べ報告した。即ち前者の型は磁化エネルギーがないので不安定であるが、1 軸性異方性エネルギー ($D S_{iz}^2$) の「 D が大きい場合にはスピンは容易面から立ち上らずにピッチを変化するだけで逆回転し、 D の小さい場合はスピンは面から立ち上つて逆回転する。(このときピッチの変化は少くなる)」。後者の型については静磁エネルギーで安定に存在し得る x-y 面上の磁壁について、2 次と 4 次の異方性エネルギー ($-D \Sigma S_{iz}^2$ と $E \Sigma S_{iz}^4$) 及び x-y 面上の強磁性交換エネルギーを導入して、その磁壁は強磁性の場合のそれと似た形になることを示した。 $D \rightarrow 0$ の極限における磁壁の形、及び D の大きい場合の階差方程式について論じられた。

(オ 2 日目) まず平原氏は MnTe の単結晶の帶磁率及びトルクの磁場依存性についての詳細な実験結果—Rotational hysteresis、磁場冷却効果、C 面内の 6 回対称のトルク及びその変化—をのべ、S-domain は C 面内で 3 回対称に分布していることを結論した。この S-domains の分布が何に起因するか、今後の発展が期待される。近藤は高温熱処理された NiO 結晶のトルクの実験結果(前に Informal Meeting で討論されたもの)の解釈と、MnO 及び CoO の磁区について報告した。即ち NiO の比較的厚い薄片試料の偏光観察では、T-壁は 8 Koe 以下の磁場ではほとんど移動を生じないとから、NiO のトルクの磁場依存性は S-壁の移動に原因するとして説明されることを論じた。熱処理された MnO 結晶のトルクには、NiO のそれと同様な現象—Rotational hysteresis 及び 6 回対称の (111) 面のトルク—が観測される。しかし (111) 面に直角な (110) 面のトルクは 2 回対称でなく 4 回対称成分も観測されることが NiO の場合と異なる。CoO 結晶の場合にはトルクは H^2 に比例し、磁壁は T 壁あるいは S 壁を含めて動かないことが報告された。中道氏は主として CoO 結晶の磁歪について、結晶型は Cubic として、Magneto-striction 及び Exchange striction を計算し、single domain の磁歪は非常に小さいことを示し、従つて CoO の実験結果は Exchange striction による磁壁(T-壁)の僅かな移動(0.1% の磁区体積の変化)で説明されることを述べた。この結果は上記のトルクの測定結果とも一致する。ここで提案者の要請で、神垣氏より NiO, CoO, Cr₂O₃ の各焼結体、 α -Fe₂O₃ の天然産結晶、及び HnF₂ の単結晶の弾性常数の温度変化

について紹介と報告があつた。Néel 点で必ずしも弾性常数が変化するとはいひ難いとのことである。反強磁性体の弾性常数は磁区の問題にとつても重要な量であるが、その測定例が少い。

上記の報告の如く、磁区についての実験はその緒についたところで、結晶の不完全性、内部の歪、磁気異方性の磁区に及ぼす影響等、今後の発展に期待したい。

寄生強磁性体の磁壁は反強磁性体のそれと一面において非常に似通つた構造をもつてゐるので興味がもたれる。梅林氏は寄生強磁性体の磁壁の運動についての実験結果と考察を報告した。 YFe_3 について、通常のパルス法で磁壁移動速度を求めた。磁壁移動の損失係数の値や温度変化は通常の強磁性体の場合とほぼ同様であるが、寄生強磁性体では磁化 m_s が小さいため移動速度が比較的おそいことがその特徴である。従つて、現象論的には m_s に対する Landau-Lifshitz の方程式を基礎にして論じられるが、この方程式の損失係数 λ' に対する磁壁移動速度の依存性が普通の場合より複雑になる。又、各スピニに対する損失係数が寄生強磁性の発生機構に關係して、どのように m_s に対する λ' に結びついているかが今後の問題であることを指摘した。

次に寄生強磁性体の記憶現象について討議された。まず田崎氏は $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ の常温に現れる磁気が完全に Dzyaloshinsky 型のものであることを多結晶及び人工单結晶の実験から結論した。又 c 面内の 6 回対称の結晶異方性の磁気共鳴による観測など面白い実験結果を報告した。次に人工单結晶で低温において極めて弱い残留磁化があることを見出し、それが記憶の芽になると考へた。又残留磁化が変態点で地球磁場に対しても敏感になるために、单結晶においては見掛上記憶がなくなることを述べた。この結果はさきに岩田らが多結晶試料において見出した結果と定性的に一致する。岩田は低温残留磁化の原因として、内部歪によるピエゾ磁気、磁壁の存在による変態不可能部分の残存、あるいは結晶粒子間の交換相互作用、表面効果など可能な原因について考察を行つた。

これと対照して興味深いのは黒田氏による TmFe_3 の記憶現象の研究であつた。磁場中加熱又は磁場中冷却によつて獲得された室温での残留磁化はその後の無磁場中での冷却加熱によつて 90% 以上再生する。見掛上 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ と異なるのは、 TmFe_3 は変態点以下でもかなりの磁化を有する点である。黒田は单磁区よりなる各結晶粒間の相互作用を考えてこれを説明した。時間的に先行して変態をおこす磁区の磁化は、その周囲のまだ変態を生じていない磁区集団からの作用を受けるために正負の可能な二方向のうちの片方が選ばれ、結局変態後の磁化の

方向は変態前の磁化と同じ方向を向くとして記憶現象は説明された。

以上のようにして記憶現象に関してはいろいろな観点から総合的な検討がなされたが、まだ問題は解決したとはいひ難い。今後の発展に期待したい。

この研究会をふりかえつてみると、個々の題目について活潑な質問と若干の討論もなされたが、磁区の関与した現象と記憶現象との間に共通のテーマを見出して、これを討論することは殆んどなかつた。この点についての今後の発展が期待される。

最後に、この研究会における多くの報告に対し有意義な討論をいただいた永宮先生に感謝の意を表したい。

「強磁性金属」研究会

物性研 近藤 淳， 物性研 三輪 浩

この研究会は、芳田・糟谷氏の世話人で過去4回にわたつて行われたが、主として鉄族の強磁性元素および稀土類金属がとりあげられた。しかし、 $4d$ 、 $5d$ 族も興味深いもので、最近は実験事実も豊富になり特に超電導と関連して多くの興味ある結果が得られている。そこで今回は強磁性でない遷移金属(低い $3d$ も含めて)をとりあげることにした。プログラムは下記の通りで、世話人はごく小規模の研究会を考えていたが、予想外の参会者を得て盛会であつた。

6月7日(木)

- | | |
|------------------------------|-------------|
| 1. $4d$ 、 $5d$ 族のフェルミ面 | 横田万里夫(京大理) |
| 2. Cr, Cr合金およびPdの比熱と帶磁率の温度変化 | 志水 正男(名大工) |
| 3. 遷移金属の超電導 | 近藤 淳(物性研) |
| 4. $s-d$ 相互作用と超電導 | 佐々木 健(日大理工) |
| 5. $s-d$ 相互作用と超電導 | 北野 芳治(大阪府大) |

6月8日(金)

- | | |
|-----------------------------|-------------|
| 1. 稀薄合金の二三の実験 | 三輪 浩(物性研) |
| 2. 稀薄合金における局在状態 | 長岡 洋介(京大基研) |
| 3. 全 上 | 金 徳洲(東大理) |
| 4. rigid band と Friedel の定理 | 横田万里夫(京大理) |

6月9日(土)

- | | |
|-----------------|-------------------------|
| 1. Cr のラセン構造 | 立木 昌(阪大理) |
| 2. バンド間の交換相互作用 | 芳田 垣(物性研) |
| 3. 現在計画中の実験について | 小川 信二(電 試), 大塚泰一郎(物性研) |
| | 田沼 静一(物性研), 浅沼 满(松下東京研) |
| 4. 討 論 | |

才1日(7日)午前は、まず横田が、遷移金属のバンド構造、特にフェルミ面に関する知識を与える実験をまとめて紹介した。cohesive energy をみると、各シリーズ共電子数5~6に極大があるが、フェルミ面の状態密度はちょうどこの辺で極小になる。このことは普通の金属結合の考え方では理解できないもので、bondingを考えなければならないことが指摘された。magnetoresistanceの実験結果は、Mo, W では飽和がみられず、electronとholeの数が等しく、またcarrierのeffective massはいずれも小さくて、dバンドの特徴のように考えられているeffective massの大きいcarrierはなさそうだということは注目すべきことであろう。極く最近Wでmagnetoacoustic resonanceが観測されており、見出された2つの周期のうちの1つは自由電子モデルで期待されるものとほとんど一致している。この場合のように、アステロイド型の軌道(実際には角がとれた)ではどこの長さが振動の周期を決めるかについて2,3議論があつた。
de Haas-van Alphen効果もNb, Ta, Reの結果が報告されていて、それらの振動のeffective massはいずれも1程度であるが、重い質量のcarrierからの振動をとらえるには現在の磁場はまだ不十分である。ホール効果に対しては、holeの易動度が高く、これが符号を決めていると思われる。この方面的実験は、これから次々と結果が出てくることが期待される。

次に、志水は、高橋(山梨大)、勝木(名大教養)と共に行つたrigid bandモデルによる電子比熱、帯磁率の温度変化の計算について話した。フェルミ面が、状態密度の曲線の極大・極小の近くにあれば、これらの量の温度微分がそれぞれ正(+族)及び負(-族)になる。特に温度変化が大きいCr, Pdを例に選び、実験から熱膨脹と格子比熱を差引いた電子比熱、帯磁率を計算結果と比較した。まずCrはWei等がV-Cr-Fe系の低温から得た状態密度を使つて計算すると、電子比熱はかなりよく説明できる。しかし、スピン帯磁率ははるかに足りず、 $\sim 1.5 \times 10^{-4}$ 程度のorbital パラを加えるとcurvatureを除いて大体合う。こ

の仮定では $4 g \sim -0.03$ の g シフトが期待されるが実験はない。また Cr 合金の帶磁率はうまく説明できない。Pd の場合も同様に比熱はよいが、帶磁率は大きな exchangeを入れなければならない。結局、一体のバンド理論で、“傾向”以上のものを consistent に説明するのは無理ではないかという気がする。

午後は超電導関係の話題がとりあげられた。近藤はまず、遷移金属、特に合金の超電導に関連した実験を紹介した。電子数 4 ~ 7 の合金系の転移点は systematic な変化を示すが、超電導にならないとされていた Mo 付近の合金は、実は Fe 不純物のモーメントのために転移点が大きく押下げられていたものと考えた方がよさそうで、超電導にならないものは、だんだん例外的な地位に置かれていくようである。U-Mo, U-Nb, Ti-Mo の合金は、電気伝導に関する性質に共通点が多く、抵抗が温度と共に減少したり、合金で減少したり、また超電導転移点は Mo を加えると急激に高くなる等、簡単なバンド構造では理解できない点が多い。U については Blatt の 2 バンドモデルによる説明の試みが紹介された。 $V_g X C \beta-W$ 型の金属間化合物のナイトシフト、帶磁率の温度変化を Clogston らがやはり 2 バンドモデルで解析し、幅が数百度のせまいバンドを予想しているが、 $V_g Ga$ の比熱測定の結果は非常に大きい値を示して、これを裏付けしているように見える。

さらに、このように 2 つのバンドを考えられる場合の超電導についての考察が報告された。BCS 型の相互作用のマトリクスエレメントで、 $s-s$ 間のものを U , $d-d$ を U' , $s-d$ を J とすると、 $J^2 - U U'$ が正であれば、 U, U' が正であつてもギャップをもつ解が存在することが示される。この場合、cut-off は自動的にせまい方のバンド幅できる。バンド間は勿論、バンド内の相互作用も正でよいことは興味ある結果といえよう。

佐々木は、やはり $s-d$ 間の相互作用のうち $s^* s^* s d$ 等の形で high frequency のものを消去して effective な $s-s$ 間（または $d-d$ 間）の相互作用の形に書き直し、それが $s-s$ 間の直接の repulsion に打勝つ場合に超電導が起り得ることを一般に議論した。

オ 1 日目の最後は、北野が、localized した d 電子と、バンドの s 電子との間に $s^*_{k+q\uparrow} s^*_{-k\downarrow} d_{n\downarrow} d_{n\uparrow}$ 型の相互作用のある系の性質について中間的な報告を行つた。 d 軌道は 1 つだけとすれば d に関してのギャップ・オペレーターはスピンで表示できて、これが強磁的にそろえれば超電子状態である。ハートリー近似による localized した ‘スピン’ の間の間接相互作用や、そのまわりの ‘スピン’ 密度の計算では発散が現われたりして、意図したようにどんな ordering ができるかの答はまだ出ていないが、coupling が強い場合には、ギ

ヤップはあつてもマイスナー効果が消えるような結果が得られている。

才2日(8日)午前は三輪から2,3の稀薄合金の実験結果について報告があつた。まずPd-Co合金はCoの少い領域でCo一コ当たり大きなモーメントを持つことで知られているが、その全域にわたりそのモーメントはCo原子に $1.7\mu_B$ 、Coの最近接のPd原子には $0.6\mu_B$ を与える、Co2つ以上に囲まれてもPdはやはり0.6をもつと仮定すると実験データをよく再現できることを示した。次に二元合金系にHを吸収させた実験が2,3報告された。Hをとかすと、他の条件をあまり変えず伝導電子の数を増した結果になる場合が多く興味深い。Pdの場合、空いたdバンドをHの電子が埋めつくすと、もはやHは吸収されなくなる。Pd-Fe系の場合、Feの少い領域でFe原子当たり3コの電子がdバンドをうめて行くとすると吸収されるHの量がうまく説明される。しかもHを飽和させたときはFeのモーメントは3倍のFeに非常に近い。Hを吸収させない場合、モーメントはPd-Co系と同じ位大きかつたから中間の移り変りは興味深い。Ti-Nb-Mo系ではHのとける量は外殻電子数と共に減り、丁度1%のFeをませたときには局在モーメントが出はじめる成分のあたりで0になる。次にRh-Pd-Ag-Cd系にGdを3%とかしたESRの実験ではそのgがPd 95-Rh 5あたりで鋭い極小を示す。これは比熱や帶磁率が極大を示す所と一致する。その所で $\Delta g \sim -0.04$ 。この値はGdとしては大きい。これが伝導電子からきているとすると比熱から求めた状態密度を用いて $J = -0.02\text{eV}$ としなければならない。次にTi-Fe, Co, Cr, Mnを約1%ませた稀薄合金はすべて12°K前後で抵抗極小を示す。極小の深さはFe, Mnでは一番大きく1%位。更にMnの場合のみは大きな負の磁気抵抗効果を示す。これはMnのモーメントが局在していることを暗示するが、超電導転移温度はすべて(Mnも含めて)不純物原子をまぜると共に急激に上昇する。最後に以上とやや異つた実験としてAu-Pd及びFe-(Zn, Al, Mo)の光吸収及び放出のデータが報告された。PdにAuをいれるとそのフェルミ準位が増すのがみられる。またFe合金の場合、その $K\alpha_1$ 線のasymmetry係数の濃度依存性が、その合金のモーメントの濃度依存性とよく似ており、又元素の $K\alpha_1$ 線のasymmetry係数はScの1からMnの1.6まで直線で上り、そこからCuの1までまた殆んど直線で下るということである。

2日目の午後はまず長岡及び金による稀薄合金の不純物状態の理論の発表があつた。最近Anderson及びWolfによつて夫々お互にやや異つた立場からこの問題がとり上げられたが、長岡はWolfの立場から不純物が1コ以上ある場合を一般的に取扱おうとするもので、不純物が増すとその間の相互作用から不純物準位の幅が広がり、最後に不純物帯のようなものに

移行する過程をねらいとしたものである。金は Anderson の立場に加えて更に不純物と伝導電子間の交換相互作用を取り入れてスピン局在の様子を調べ、不純物が増したときにその間の相互作用及びスピン偏極がどうなるかを問題とした。いずれも最後の結論にまでは達していないが、今後の発展が期待される。

この日は最後に横田氏から、不純物の濃度が有限のときには Friedel の定理からのはずれがあるというリマークがあつた。

3日目午前は、Cr のスクリュー構造について、立木が single バンドの立場から、芳田が 2 バンドの立場からの研究を発表した。両者の違いは本質的なものではない。問題は、通常の常磁性状態よりも何か磁気的な状態が安定になるのはどのような条件かということと、その磁気的状態のうちでスクリューが安定になるのはどのような条件かという 2 点に分れる。前者は通常の強磁性のバンド理論と同じで、何かある交換積分と状態密度の積が 1 よりも大きくなければならない。後者は自由電子では駄目であつて、結晶構造を考慮に入れなければならない。これらの結論は 2 者共同であるが、立木が交換積分としてバンド内のものをとつたのに反して、芳田はバンド間のものも考慮した。実際の物質にあてはまる理論を作ることは困難かもしれないが、本質的な点は正しいように思われる。

3 日目の午後は、数人の実験家の方に来ていただきて、目下計画中の実験についてお話を願つた。小川は、 $H = 0 \sim 10 \text{ koe}$ 温度の電子比熱測定装置の計画を述べた。 $T = 1.5 \sim 4.2^\circ\text{K}$, $\Delta T = 0.001^\circ\text{K}$, $H = 0 \sim 10 \text{ koe}$ というものである。大塚は、やはり比熱を測定するのに、試料を熱的に非平衡状態において、結局熱伝導度を測定し、それから比熱を求める装置の計画を述べた。このようにすると試料の量が 2 枝少なくてすみ、高価な $4d$, $5d$ 族の測定に適しているとのことである。なお、大塚は超電導転移温度の外殻電子数に対する依存性を BCS 理論から説明するのに、状態密度を一定とみなさずその曲率も考慮すると実験の傾向にあうことを見唆した。田沼は、Cu / C Ni をませたときのフェルミ面の変化の模様を高磁場を用いた磁気抵抗効果の測定から、またフェルミ面の位置の変化を赤外反射の測定 (d 電子をフェルミ面に上げるエネルギーに対応) から調べることを提案した。浅沼は、Pd および Cr の二三の合金のデータを紹介して、Pd は強磁性に非常に近いと考えられるので、高圧を加えてその体積を変化させた場合の磁性の変化が興味深いことを示唆した。

最後に、しめくくりの意味での discussion の時間をとつた。3 日間の話に関しての復習や質問などの他に議論のあつた主なものを記す。

Cr のスクリュー構造にともなうエネルギー・ギヤップがどの位の大きさになるか(赤外または遠赤外の吸収が期待できるので)について、またスピン配列がスクリューか正弦的かに関して論じられた。恒藤(京大基研)は、遷移金属の超電導の場合でも、やはりフォノン interaction が重要に違いないのであつて、他のメカニズムを探すとしても、“必然的な cancellation”を伴うものでなければならぬことを注意した。守谷(物性研)は、V 等の Knight シフトはかなりの部分が orbital パラに由来すると考え得ることを指摘し、超電導状態で $T \rightarrow 0$ でシフトが残ることは考えにくいくことではないと注意した。これに対して超電導状態では orbital パラも小さくなるべきではないかとの疑問も出された。その他、遷移金属のバンド構造を調べるのに超電導体との間の tunneling を利用できないかとのアイディア、接触電位差を利用しての状態密度の決定(Walmsley の実験)などについても二三の議論があつた。

この discussion の中でも感想が出されたように、今回の研究会で遷移金属研究の指導原理を打出すようなことは望むべくもないが、予想外に多くの方々が遷移金属の問題に関心をもつておられることがわかつたのは大きな収穫であつた。

なお、この研究会で紹介されたいいろいろな実験データは、整理して印刷・配布する計画である。若干の余裕をみて作製する予定なので、希望される方は世話人まで申出られたい。

「固体プラズマ」研究会

東大教養 松 平 升

電離気体に対する Langmuir の理論を金属内電子に適用して、電子間のクーロン力の長距離部分を集団運動として取り出す Bohm と Pines の理論は、その後一方では種々の金属、半導体についての電子線のエネルギー・ロスの実験、他方では Gell-Mann と Brueckner をはじめとする多体問題の新しい方法によって実験的、理論的基礎が保証され、これにもとづいて固体の静的及び動的特性への電子の相関効果の研究が進められている。又、特に近年エネルギー・シユな研究の行われている古典プラズマ内のいろいろの現象、たとえばピンチ効果や不安定性が、固体、特に半導体においても見出されることが最近明らかになり、固体内部におけるプラズマ現象が、理論的にも実験的にも物性論における一つの分野として登場してきた。

この研究会は、定例の物理学会では「物性基礎論」「プラズマ物理」「光学」「X線・電子線」等々の分科でばらばらに発表されている研究をまとめて、各方面の実験家と理論家が集つて討論することを目的として、6月11日から3日間行われた。発表されたテーマは次の通りである。

A 電子線実験に関連して

1. 総合的Review (渡辺 宏) *
2. 合金薄膜のエネルギー・ロス (藤本文範, 末岡 修) *
3. Al-Ag合金のプラズマ (阿部竜蔵) *
4. 低速電子の非弾性散乱 (清野節男)
5. 金属内プラズマ振動の分散と減衰 (三沢節夫) *

B 半導体のプラズマ現象

1. Helical instability (十島創一郎) *
2. Oscillistor の理論 (市川芳彦) *
3. Two-Stream Instability (渡部三雄)
4. Helical Instability (武者利光)
5. 格子振動との Coupling (横田伊佐秋)
6. 半導体のプラズマ吸収 (新井敏弘) *

C 光学測定

1. Si, Ge の光学的性質 (佐々木泰三) *
2. 銀膜の垂直分極による光吸收 (山口重雄) *
3. 金属コロイドのプラズマ (中島信一) *
4. optical maser とプラズマ励起 (石黒浩三)

D X線実験とプラズマ

1. X線で何がわかるか (清野節男)
2. 吸収端の構造 (堀江忠児)

E Transition Radiation

1. 実験 (佐々木泰三)
2. 理論 (山田一雄) *

上記の内、*印についているものに関しては報告集ができるので詳細はそちらにゆづつて、

以下簡単に要約させて頂く。(なお、固体プラズマの最新の概説は、金沢秀夫氏の物理学会誌(6月号)の解説を参照して頂きたい)

初日はまず佐々木(東大教養)が最近行つた Si の光学定数の測定(to be published in Phys. Rev.)を中心に報告を行つた。Si については Taft-Philipp の測定があるが、彼等のデータは 10 eV 以下であり、また n , k の算出は Kramers-Kronig を用いているため、端の近くには誤差が大きいと思われる。石黒と佐々木は 10~20 eV の光で 2 つの斜入射(20°と 70°)で反射率を測定し、チャートを用いて n と k を決定した。結果は 10 eV で Taft-Philipp の値とつながり、又この n , k から $R_e \epsilon(\omega) = 0$, $R_e \epsilon(\omega) = -1$, $I_m \frac{1}{\epsilon}$ のピーク, $I_m \frac{1}{\epsilon+1}$ のピークを求めるにそれぞれ Si の normal plasma および tangential plasma の位置と巾が定まる。 $(\omega_n = 15.9, \omega_t = 10.7)$ この値は最近の Raether 一派の電子線の実験とよい一致をみており、Si の Valence band のプラズマ振動は確定した。なお $I_m \epsilon = 0$ を与える ω と $I_m \epsilon^{-1}$ のピークの値は約 1 eV ずれている。次に Ge については、Weissler のデータがあるが、それによると Ge のプラズマは Si とはかなり様相を異にする。これは 3d 電子のバンド間遷移に起因するものであるかも知れないが、Weissler の実験は表面の Contamination の問題と偏光についての注意が欠けているので、決定的なことは今後に残されている(石黒、佐々木が測定中)。

山口(都立大)は、Ag の薄膜に p 偏光、 s 偏光の光をあててその吸収率 A_p , A_s を測定した。電場の膜に垂直な成分により、ジュール熱 $\propto I_m \epsilon^{-1}$ となるので、 A_p , A_s のデータから $I_m \epsilon^{-1}$ が直接に測定される。結果は、平行平板の場合には $\omega_p = 3.78 \text{ eV}$, $d\omega = 0.1 \text{ eV}$ の値を得、これは光学定数による値と、わずかであるが誤差外の不一致をみている。又、不均一膜について同様の測定を行うと peak のずれと広がりが観測される。

オ1日の午後は半導体の carrier plasma に当てられた。十島(RCA)は 20- および 50- μcm の n -Ge のサンプルで oscillator 現象の生じた場合の電場の回転、磁場依存性、波長、高振動などをくわしくしらべて理論との比較を行つた。Kadomtsev-Nedospasov の helical instability の話を半導体に応用した Glicksmann の考え方の実験的証明がこの実験のねらいであり、oscillator 現象が helical instability に基づくことは定性的には実証されたといつてよい。しかし定量的に理論と実験を比較するには、未だどちらもデータ不足といつた段階であろう。K-N-G の

計算では $n_+ = n_-$ と仮定しているが、市川(日大理工)はこの仮定を使わないので計算を行つた。その結果、正負の carriers が逆位相に振動するときに不安定があらわれ、振動条件は $\omega\tau \gtrsim 1$ のときは Glicksmann の結果と一致するが、 $\omega\tau < 1$ の場合には全然性格の異なる結果を得ることがわかつた。この異同は、振動に対する restoring force の違いにもとづくことが中嶋(物性研)によつて指摘された。波長×試料の半径の磁場依存性は十島・岡本の実験によると、Glicksmann の計算値と市川のそれとの丁度中間にくる。次に渡部(物性研)は固体プラズマの不安定性についての最近の Pines と Schrieffer の論文(Phys. Rev. 124)を紹介した。この日は PR がよくきいたせいか多くの会社・研究所から半導体関係の専門家が集つたが、時間が少くて報告されなかつた沢山の面白い話が残されたのではないかと思われる。

12日は電子線関係の話題が中心で、それに昨日時間切れになつた話の中いくつかが発表された。清野(東北大工)は低速電子線(0~100 eV)の非弾性散乱の実験を計画し、Ge と KC1 結晶についてエネルギー・ロスのスペクトルを得た。軟 X 線の実験を補い、これと比較することが目的であるが、(i) 温度調節が容易であり、(ii) 結晶面を自由に切り出すことができ、(iii) 角度分布の測定も OK である点、利点がある。Ge, KC1 の結果の identification に問題はないようである。

渡辺(日立中研)は、電子線による固体プラズマの実験の総合報告を、自分の仕事を中心にしながら行つた。取りあげた話題は、(i) エネルギー・ロスの値による ω_p の決定、(ii) 角度依存性の実験からプラズマ振動の分散の測定、(iii) 巾→減衰の測定、(iv) mean free path とプラズマ励起の断面積の実験、(v) 大きさの効果、特に“表面”プラズマの問題、(vi) プラズマ輻射の実験である。とても要約しきれないで、報告集にあげた文献を参照して頂く以外ないが、特に注目に値するのは最近の Kunz(Z. Physik 1961) の実験であり、Al と Ag についてきわめて詳細な実験を行つており、そのデータの解析はいろいろと問題を含んでいる。三沢(日大理工)はこの実験の中、Al の分散と減衰、Ag の cut-off wave number k_c を、Landau の Fermi Liquid の理論で解析しつつ問題点を指摘した。分散についていふと、結果は B-P 理論からのずれが渡辺の実験(1956)と逆であり、金沢-三沢-藤田(1960)及び大阪(1962)の計算が比較の対照になるが、より立ち入つた議論が必要なようである。銀についての k_c は B-P 理論の約 $1/4$ に出ており、Fermi Liquid 理論で解析しても、不一致は残る。プラズマ振動の減衰は、電子の

自己エネルギーの虚数部分を与えるが、計算との比較はやはり今後の問題であり、三沢は特にこの種の実験が他の金属についても行われることが必要であることを強調した。武者(通研)は、昨日話題になつた helical instability の放電管(長さ 40 cm, 直径 3 cm)での実験を紹介した。午後のオーネーの話題は合金のプラズマ振動である。Wilson が簡単な考察によつて示したように、プラズマ振動数 ω_0 は、近くに光学吸収帯があると、自由電子の値 ω_p から drastic にずれる。Ag, Cu などはその代表的な例であるが、藤本と末岡(東大教養)は、これに Al などをまぜて合金をつくると、オーネーに自由電子数が変り、オーネーにバンド間遷移の振動子強度が変化し、従つて合金のパーセンテージを連続的に変えることにより、Wilson の考察を実証するのと同時に合金のバンド構造の information を得ることができるとの目的で実験を行つた。報告されたのは Al-Ag, Al-Cu, Au-Ag および Al-Au である。5 パーセントおきに合金を作り、電子顕微鏡で phase をたしかめながら電子線のエネルギー・ロスを測定してゆく。結果は、(i) Ag-Al では 7.5% Al を境として 3.7 eV → 1.5 eV のジャンプが生ずる。(ii) Ag-Au ではこのようなどひはみられない。(iii) Al-Cu は、Powell の実験に似て比較的連続的に移行するが、(iv) Al-Au では不連続性がでており、途中で Al-like と Au-like のロスが同時に観測される。阿部(物性研)は、藤本・末岡の Al-Ag 合金の解析を行つた。銅についての知識(バンド構造, Cu-Zn 合金の光吸収)から、interband transition の threshold は d 電子 → フエルミ面であることがわかるが、銀の場合も同じであると仮定し、実験で loss line が jump するところの値を分散式に入れて、Al の吸収帯を決定し、jump の上下で loss-line の値がほぼ一定であることを説明した。理論的な ambiguity は残つているが、Al-Ag 合金の複雑な結晶構造の変化を全く無視した話ですむことであるかどうか、興味ある問題である。次に中島(松下電試)は、アルカリ・ハライドの混晶を熱処理して中に析出するアルカリ金属合金のコロイドの光吸収の実験を報告した。コロイドの大きさは $10 \text{ \AA} \sim \text{ミクロン}$ の order でできる。コロイドが球であると仮定すると、吸収光の波長は、 $\lambda_p = 2\pi c \omega_p$ の $(1 + 2 n_0^2)^{-1/2}$ 倍になり(n_0 は host crystal の屈折率)可視部で ω_p の測定ができる。合金のパーセンテージの変化と ω_p の変化は対数グラフで直線的である。12日の最後は再び半導体にもどつた。横田(新潟大)は carrier の plasma 振動と格子振動(optical と acoustical)の coupling を論じた。プラズマ振動の phase velocity と音速が大体一致する濃度領域が存在し、そこで kinetic equation

を解いて coupled oscillation の振動数が求められ、この効果によるプラズマ振動数のズレが予言できる。新井(通研)は半導体の光吸収の実験の報告を行つた。carrier の plasma は gas plasma と対応して討論することができるが、電子密度を自由にコントロールできる利点がある反面、横田が論じたような他の振動(バンド間遷移も含んで)との結合によつて現象は複雑になる。Ge に As, P, Sb などを dope した試料の光吸収から光学定数のデータを多数得ている。 $n = k$ の ω_{cross} , $I_m \epsilon^{-1} = \max$ の ω_{\max} と $\omega_p = (4\pi n e^2/m^*)^{1/2}$ を比較すると、Ge-As で $\omega_{\text{cross}} < \omega_{\max} \ll \omega_p$ となつてゐる。このすれば横田の計算で、定性的に説明できる方向である。新井は更に静磁場をかけた magnetoreflection の実験を行い、magnetoplasma 効果を galvanomagnetic 効果と対比して整理した。

3日目の13日には、固体プラズマと電磁場の相互作用が取り上げられた。Ferrell (1958) は金属薄膜中に電子線で励起されたプラズマ振動は光子に変換することができ、これによつて ω_p の精密な測定が可能であるといつた。佐々木は、これにこたえる実験としての Steinmann [Z. Physik. 1961], Brown-Wessel-Trounson [Phys. Rev. Letters, 1960] および Boersch [Z. Physik. 1961] の仕事を紹介した。前二者は Ferrell の予言と極めてよく合つているが、この実験のしばらく後に、Slinin と Fetisov [Phys. Rev. Letter, 1961] はこの実験は Ginzburg と Franck のいわゆる Transition Radiation で完全に説明できることを指摘し、又 Slinin は同様の計算で、薄膜の場合に Ferrell と同じ表式を得ることを示した。Boersch の実験はこの Transition Radiation の驗証であり、超高真空を用いた極めて慎重な実験で W, Ni, Ta, Ag, Mo などを電子線でたたいたときに出る 3000~6000 Å の光を分析し、そのスペクトル, yield, 偏光度などから、Ginzburg-Franck の理論をたしかめたのである。山田(名大) この Transition Radiation の理論を Garibian [JETP, 1958] の paper にそつて紹介した。特に銀について、Taft-Philipp の実験値を用いて Radiation intensity のグラフを書き、Boersch の実験とよく合う結果を得た。

次に清野は、軟X線の実験で (i) emission スペクトルの短波長端から、金属のバンド巾とフェルミ面近くの構造が見えること、(ii) 吸収端の構造と、サテライト・バンドによつていろいろのレベルがしらべられ、その中にプラズマ励起も含まれていることを説明した。堀

江(東北大)は米国で行われた最新の Al と Cu の吸収スペクトルを示し, Tzoar と Klein[Phys. Rev. 124] の計算を modify して解析中であることを報告した。最後に石黒(東大教養)は B. Lax 等[Phys. Rev. Letter, 1962] の nonlinear optical 効果の実験を紹介した。

以上, 研究会の概要を述べたつもりであるが, 筆者の誤解によつて, 不正確なことを述べたり, 重点のおき方が不適当な点が多々あることをおわびしておく。世話人の怠慢と不慣れのせいで, 出席者にはいろいろと御迷惑をおかけしたが, 終始多数の参加者によつて熱心な討論が行われた。又各方面の実験家の間で, 又実験と理論の間で旺んな交流が行われて, この研究会のレベルの上に新しい研究活動が期待される。特にこの研究会で報告された研究の中には我々が独壇場である研究が多数含まれている。超高真空, 極端紫外~超軟 X 線, 金属やコロイドの作製などの技術と, microscopic theory が一層開発され, 多方面の研究が一層活潑に行われることを期待したい。

御病気を押して 3 日間出席されて終始指導的に議論を導かれた金沢秀夫先生と, 報告集の作製に御協力下さつた方々に, 重ねて御札を申し上げて筆をおく。

核研シンクロトロンを使う核と物性の境界領域の実験

東大理 西川哲治

核研シンクロトロンを使う核と物性の境界領域の研究会は, 6月 27, 28日の両日物性研で行われた。両日とも参会者は 50 名近く, 原子核, 物性, 光学など諸分野の理論実験両方の研究者が集まり, 活潑な討論がなされた。

才 1 日は熊谷寛夫氏が座長になり, 主としてシンクロトロン輻射に関する諸問題がとりあつかわれた。まずはじめに東大核研小林喜幸氏より核研電子シンクロトロンの諸性能について報告があつた。シンクロトロンは現在エネルギー 750 MeV で, 将来 1.3 GeV まであげる計画がある。強度は現在毎秒 2.4×10^{10} 個の電子が加速されているが, 将来 injection の方法などを改良して 2×10^{11} 個程度にあげる予定である。シンクロトロンで使用できると考えられる主な放射線は電子線, ガンマ線, シンクロトロン輻射であつて, 中間子も発生できるが, これをビームとして使うのは, 強度とバックグラウンドの関係で, むつかしいであろう。

電子線は 750 MeV で水平面内で約 10 mm, 垂直方向に約 1~2 mm, 縦方向に約 10 cm のひろがりをもつた細いビームとなつて回転している。このビームは 21.5 cm/s ごとにパルスとなつてドーナツ状の電磁石の間隙を回転している。将来この電子線を外にとり出すことも考慮されているが、その際の能率は 10~20% と推定されている。

通常の実験では、この電子の制動輻射によるガンマ線を用いる。このガンマ線は連続エネルギー分布をもち、最高エネルギーは電子のエネルギーに等しく、光子の数はほぼそのエネルギーに逆比例する。ガンマ線の全エネルギーは電子線の全エネルギーの $1/10 \sim 1/20$ で、その角度開きは 10 m rad 程度である。

シンクロトロン輻射は電子加速の全周期にわたつて発生するが、輻射エネルギーは電子のエネルギーの 4 乗に比例するので、積分値の大部分は最高エネルギーの電子からの寄与と考えてよい。この輻射は臨界エネルギー以下では、大体光子のエネルギーの三乗根に比例した輻射エネルギーをもち、それ以上のエネルギーでは急速に減少する。臨界エネルギーは 234 eV である。このシンクロトロン輻射については、大阪市大小塩高文氏より、更に詳細にその性質の説明があつた。軌道輻射については Schwinger が一般式を与えている。これは 1 個の電子が完全な円軌道を動く場合についての議論であるが、実際ドーナツから実験を行う場所までとり出す場合はいくつかの補正が必要である。これらを考慮に入れた結果、効果的に取り出される power は、核研シンクロトロンで、スリットを 1 mm × 10 mm, 電子とスリットとの距離を 4 m として、1 Åあたり 10^{10} photons の程度である。電子のエネルギーが高いので、輻射の pattern は極度に前方に偏り、その半角は電子が 750 MeV のとき、0.68 m rad である。X 線の波長で 40 Å 附近で出力最大になり、200 Å 以上まですそをひく。このシンクロトロン輻射を物性の研究に使うばかりでなく、シンクロトロンのドーナツ内を動く電子の収斂の模様を調べることに役立つかもしれないということであつた。

以上で才 1 日午前の講演を終り、午後はまず東大教養 佐々木泰三氏より、軟 X 線分光器の Instrumentation について報告があつた。コーネルのシンクロトロン輻射を用いた実験では専ら写真測光によつていたが、最近の光学測定技術の進歩にてらすと、光電測定による Scanning Monochrometer の使用の方がすぐれていると考えられる。シンクロトロン輻射は明るさ、purity などで現在実用になつてゐる各種の光源にすぐれている。これを用いた 10 Å ~ 500 Å の分光器としては Grazing Incident type の Grating Spectrometer がよく、その必要なスペースは $0.5 \times 1.5 \text{ m}^2$ 程度を考えられる。この

ほか、これに附隨した測定回路、リモート・コントロール装置が必要である。とくに受光器として最近開発されたBendix type のMagnetic Photomultiplier の使用が有望である。このPhotomultiplier については阪大沢田昌雄氏より、更に詳細の紹介があつた。また沢田氏はコーネル大学のParatt 氏がシンクロトロン輻射のX線物理学への利用についてのべた報告を紹介された。これらを通して、とくにmagnetic photomultiplier による光電測定について活潑な討論がなされ、またその実物も紹介された。

小休憩ののち、東北大林威氏より、「金属アルミニウムのX線吸収スペクトルと衛線」という題で、シンクロトロン輻射の物性実験への応用について講演があつた。金属Al の L_{11} , L_{111} 吸収スペクトルの吸収端より長波長側にあらわれる微細構造が問題で、これらは細晶構造にも関係し、シンクロトロン輻射による研究が望まれる。また $KClO_4$ のような物質のCl のK一吸収端にX線照射を続けると、次第にあらわれてくる衛線があり、radiation damage とも関係があるかと思われる興味ある問題である。才1日の最後に東大教養鈴木洋氏より、真空紫外線を用いる生物物理の研究について討論があつた。蛋白質・核酸などに及ぼす紫外線または電離放射線の作用をしらべることは、細胞機構を解明する一方法として興味ある問題である。とくに紫外線については、今までほとんど 2000\AA より長波長の領域の実験に限られていたが、とくにこのような紫外線の生物作用が顕著な断面積を示すようになるしきい値附近で、光子のエネルギーの関数としてこれを調べることができれば貴重なinformationをうることができるかもしれない。この提案は主としてシンクロトロン輻射の長波長側 ($500\sim 1000\text{\AA}$) を使おうということであつたが、教育大尾中竜孟氏から、とくにこのような長波長領域でもシンクロトロン輻射はたちのよい、性質のした連続スペクトルを示すので、波長に対する相対的なstandard として、例えはプラズマ測定などにも利用できるであろうというコメントがあつた。

才2日目午前は小谷恒之氏が座長で、原子核および γ 線のpolarization がテーマとしてとり上げられた。まず、東大物性研大野和郎氏から断熱消磁による核整列の実験についての講演がなされた。これは Co^{59} ($I=7/2$, $\mu=4.6 \times nuclear magneton$) Ho^{165} ($I=7/2$, $\mu=3.3 \times nuclear magneton$) の核を断熱消磁による低温と、結晶内部磁場とを利用して整列させ、原子核実験に用いる計画の中間報告である。これらの核種が選ばれた理由は、その単結晶がferromagneticで大きな内部磁場が得られること (Co^{59} が $0.1^\circ K$ で 300Koe , Ho が $0.3^\circ K$ で 9000Koe の内部磁場をもつ), stable

isotope が一種類しか存在しないこと，核磁気能率が非常に大きいこと等である。問題となるのは orbital angular momentum の quenching が完全でないため，anisotropy をもち，electron spin の整列に数千～数万ガウスを要すること，又单結晶を作ることが Ho はとくにむずかしいこと等である。実験に用いた容器はガラス製 dewar で，寒剤として KCr 明パンを，又断熱剤としてマンガンタツトン塩を用いた。現段階で $(5 \pm 2) \times 10^{-3}$ °K の温度が得られており 0.01 °K まで上るのに 3.5 時間を要するとのことであつた。

次に非断熱的な核整列の方法として東大理の平川浩正氏から，陽子の dynamic polarization についての解説，報告があつた。これは常磁性物質がマイクロ波の常磁性共鳴吸収を行うときに，電子スピンと核スピンとの結合によつて核スピンの整列が行われることを利用する方法である。平川氏は dynamic polarization を polarization を charge と対応させる R C 回路の analogy をとつて説明した。平川氏の用いた方法は，Overhauser 効果の一変形とみられる Jeffries の方法である。Overhauser 効果では，電子スピンを rf-field で反転させ，核スピンの反転は non-radiative な relaxation を利用するのに対し，Jeffries 効果は rf-field により禁止遷移である電子スピンと核スピンの同時反転を直接起させるものである。現在は試料として di-phenyl picryl hydrazyl(dpph) を用い，8000Mc 0.3W のマイクロ波を吸収させ，熱平衡時にくらべ約 10 倍の陽子整列が得られている。今後の問題点は proton target としてどんな sample を用いるかの問題で，平川氏はいくつかの可能性を指摘した。

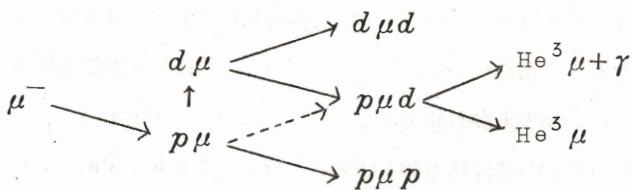
以上で核ターゲットの polarization の講演を終り，次に γ 線の polarization と関連して Überall 効果の問題に移つた。Überall 効果といふのは单結晶からの制動輻射の干渉効果で，polarized γ -ray を得る方法として着目されているものであるが、Überall 効果自体も面白い研究課題である点から，まずそれに関連した諸問題の review, 今後の問題点の考察が，日大理工の市川芳彦氏によつてなされた。市川氏は单結晶の Bremsstrahlung の問題は，更に一般的な問題 — 即ち ターゲットが孤立した原子ではなくたくさんの原子の集団であることが制動輻射にどのような影響を与えるかという問題 — の special case であるとして，その解説からはじめた。この問題は，制動輻射の過程における“固有の長さ”が，原子半径をこえるときつねにおこる問題で，一個の

原子における原子内電子の遮蔽効果、超高エネルギー電子の制動輻射における多重散乱の効果——Landau-Pomeranchuk 効果等において取上げられた。ターゲットが周期的な構造をもつ結晶の場合にこの問題を最初にとりあげたのは Williams で、その後 Ter-Mikaelyan 等により Weiszeker-Williams 法により研究され、Überall により量子力学的な取扱いがなされた。(この意味で市川氏は Williams-Ter-Mikaelyan—Überall 効果なる名称を提案した) 単結晶における制動輻射の干渉効果による強度の増加は輻射の軟成分で特に著しく、又結晶軸と入射電子のなす角 θ (通常 mil. rad. 程度) に依存する。Überall は Born 近似を用いてこのエネルギー・スペクトル、角依存性を計算したが、 $\theta = 0$ 附近における Born 近似の妥当性は理論的な問題点として残されている。Überall 効果の実験的研究は、Stanford, Cornell, Frascati 等で行われた。特に Frascati では精力的な研究が進行されており、Überall の予期しなかつた制動輻射強度の角 θ に対する微細構造が見出された点非常に興味深い。(なおこの研究会直後に到着した Phys. Rev. Lett. によると、この θ に関する微細構造に対応する輻射の軟成分における quasi-monocromaticity がやはり Frascati の group により観測された。) これは Überall の計算で無視した入射電子とほぼ直角をなす結晶面内の周期性を考慮することにより、大略説明される。最後に市川氏は今後の問題点として、i) Born 近似の正当性に対する Schiff の理論の check として $\theta = 0$ 附近の極小の谷の深さを測定する、ii) $k/E < 0.1$ の低エネルギー極限の制動輻射強度の測定。Ter-Mikaelyan の指摘している媒質の偏極効果による制動輻射過程の suppression の check、iii) $k/E < 10^{-4}$ の低エネルギー極限の制動輻射強度の測定。Landau-Pomeranchuk の指摘している媒質内の電子の多重散乱による制動輻射過程に対する suppression をみる、等を挙げた。

以上で午前の講演を終り、午後は山形武虎氏座長はじめられた。まず東大理の近藤都登氏から、Überall 効果における γ 線の Polarization についてのコメントがあつた。これは東大理の西川研究室で計画されている Überall 効果による Polarized γ -ray の発生に関する予備研究の報告である。Überall は強度の計算の後 Polarization の計算も行つたが、Frascati の実験では強度分布に対して Überall とは非常に異なる結果を得ているので polarization に対しても、再検討が必要とされる。近藤氏は、入射電子とほぼ直角をなす結晶内面の周期性を考慮に入れ polarization の計算を行い、

解析的な式を得た。

才2日午後は将来の可能性を含む諸問題として, μ 中間子原子, ミューオニユーム, 陽電子消滅等が取上げられた。最初に東大理の大村充氏が μ 中間子原子について review を行つた。原子の Bohr 半径は, 質量に反比例し, 核との相互作用は質量の三乗に反比例するので μ 中間子原子に比べエネルギーレベルへの核の影響が大きくあらわれる。真空偏極効果, 核半径の効果, nuclear polarization, 超微細構造などのレベルシフトが問題となる。 μ と核との反応として興味ある一例として, 液体水素における



等の反応が考えられる。 $p\mu d$ からの He^3 の生成の可能性は $p\mu d$ で p と d が非常に近付くことによる。 μ^- の核捕獲 $\mu^- + (A-Z) \rightarrow \nu + (Z-1)_{A-Z+1}$ の反応は相互作用として V-A 型, P.S 型を仮定し, spin dependence の効果をも吟味して, 実験と比較されている。この問題は, 基礎的な捕獲 $p + \mu^- \rightarrow n + \nu$ を調べるのが最もよい。実験の問題として注目されるものとして, 大村氏は次の二点を挙げた。(1) bound μ -meson の崩壊の異常性。bound μ^- -meson の decay rate と free μ^+ の decay rate の比は, $Z \gtrsim 40$ で Z と共に減少し, $Z \approx 80$ で 0.5 程度となる。Fe の辺で 1.2 で最大値をとる。この現象は崩壊に対する核構造の影響として注目される。(2) K-X 線の放出の Z -dependence に関する問題。 μ が物質中で止まつたことを確認して, K-X 線を測ると, 小さい Z で X 線の放出の割合が極めて小さく, Auger 変換を仮定しても説明できない。

次の講演は半導体内におけるミューオニウム生成の問題で, 東大工犬井鉄郎氏, 大阪学芸大永田昭氏が, G.Feher 等の報告(Phys.Rev.Let. 5 515(1960))を中心解説した。これは $\pi - \mu$ decay による偏極した μ -meson の半導体内での depolarization の実験である。ミューオンから崩壊した陽電子の非対称径数は半導体内の自由電子, 自由正孔の数に依存する。永田氏は, Feher 等の実験結果の解釈を述べた。東大理の植村氏から, μ -meson に関する実験は, 現在の加速器で可能かどうかの質問があり, 現状ではむずかしいといふ核研側の回答があつた。

才三の問題は, 金属における陽電子の問題で, 東大物性研の渡部三雄氏が解説した。

内容は，(1) 陽電子のエネルギー損失，(2) Annihilation rate，(3) 崩壊における γ 線の角分布，(4) 金属中におけるポジトロニウム生成の問題，であつた。(2)では Al を例にとり， e^+ の寿命の実験値 1.5×10^{-10} sec と對し，クーロン相互作用，電子によるクーロン場の遮蔽，Pauli 原理等を考慮した理論では， 1.2×10^{-10} sec が得られること，(3)では 2γ の角相関から得られる電子の運動量分布に関する知見についての説明があつた。自由電子模型によく合うものはすくなくなく，又 d -core による補正が重要である。 2γ 崩壊の測定は，運動量分布の中の方まで与える利点があるが，電子，陽電子のクーロン力による二体の波動函数を必要とすることは欠点である。

最後に，東大理の小谷正雄氏が，種々な物質での陽電子消滅について，総括的な解説をされた。小谷氏は，物質中の自由な電子の数と，その物質中での陽電子の寿命との関係を示した。ポジトロニウムの 1S , 3S の寿命をそれぞれ τ' , τ'' ，自由な陽電子が物質中の電子と衝突して消滅する過程の寿命を τ'' とすると，陽電子の寿命は金属，イオン結晶，アルカリハライド，水素結合，水晶等の中では大略 τ' ，分子結晶中では τ' , τ'' ，液体ヘリウム中では τ', τ'' , τ''' となる。Liq. He 中では τ', τ'', τ''' がそれぞれ，5%，80%，15% 実現されていると考えられる。アルカリ・ハライドでは，ハログンイオンの，NaH, KH などでは H^- の電子が効く。自由な電子が増すと，電子と陽電子の集団運動が問題となり，消滅の過程が複雑となつて， τ' と τ'' の区別がつかなくなる。又，電子数の少い A gas 中では，寿命が長く，磁場による 1S , 3S 状態の混合で寿命を短かくする。

閉会にあたつて，世話人の西川哲治氏から秋にもう一度，核研シンクロトロンを使う核と物性の境界領域研究会を開くことが予告された。

編集者注：この研究会に対する小谷氏のコメントはレターの欄に掲載いたします。

物性研ニユース

人 事

文部教官(助手)	湯 浅 紀 一	理論 II
" "	白 鳥 紀 一	磁気 II
" "	田 中 實	理論 III
" "	藤 田 秀	格子欠陥

訂正(2-2 6月)

(誤) 文部技官 加 藤 皓 一 格子欠陥
(正) " " 分 子(化学分析)

サ ロ ン

○ 「Harwell について」

九大教養 平 川 金 四 郎

昨年8月当ハーヴエル原子エネルギー研究所に来てから早くも1年近くなります。この間いろいろみたりきいたりしたことから、私の思いつくままに感想をのべてみたいと思います。ここにはNeutron Diffractionの著者のBacon氏、最近目覚しく活躍しているLomer氏やMarshall氏や、古参の方ではLondon equationのLondon氏などがいて英国では重要な研究所です。原子炉は重水モデレーター型のDIDO, PLUTOの2基が主に活躍しています。従つて固体物理のDivision内に中性子散乱に関係したものが多く含まれ、それはLowde氏をgroup leaderとするinelastic groupとBacon氏をleaderとするelastic groupにほぼ分かれています。今行なわれている研究は、Fe, Ni及びそれらのalloy, MnF_2 などのSpin waveの研究、合金内元素のmagnetic momentやform factorの変化の研究、screw structure、化合物強磁性体の3d wave functionのひろがりの決定などいろいろあります。私がここへ来てまず驚いたのは第1線にある研究者が皆実に若いということでした。そのくせ実によく物理をこなし身についているということです。例えば、Solid State Physics DivisionのheadのLomer氏は35才、理論物理のheadのMarshall氏は僅か29才というように。私の所属しているLowde氏のgroupも氏を除き35才が1人あと3人は25~6才です。特に実験面の人々がなかなかすぐれていると感じました。ただ日本人にくらべると彼等はそんなに働くかない。5時半に研究所のバスが去つたあとは研究室はガラガラで用事をおほせつかつた1部の助手や工具が残つている程度、土日も大体休んでいるようです。最近日本の物理もだんだん高く買われてきました。特に理論方面の討論の時は決まって日本人の名が2,3出てくるようになつたのは大変心強いことです。しかもしも彼等が日本人みなみに働いたら、これは恐るべきだと感じました。永い伝統のせいか、国民性のせいか彼等の底力は強いと思いました。ここでうらやましいと思つたのは理論面と実験面の連絡が実によくとれ

ていることです。その contact は多く昼食時にもたれます。昼食は大食堂でとられるのでこの時いろいろの分野の人が集まるわけです。新らしいニュースもたいていここから得ているようです。ここで非公式にいろいろな idea が出されたり、理論屋がニュースをもつて来て教えてもらったりします。また多くの実験テーマは Lomer 氏や Marshall 氏などがこうした場であたえているようです。Elliott 氏のように所外の人なども意見を出すことがあります、ともかく理論の人の強い実験結果への渴望が実験屋にとつての最大の刺戟となつてゐるようです。実験テーマに対する批判はきびしく、その研究が definite in physics を 1 歩進めることを目指すものでない時は「そんなものは重要ではないよ」とあつさり言いきつてしまふのです。ですからこの方針としてはやたらとやつてゐるうちに何かが出てくるといつた研究態度は全く受け入れられていないようです。（態度のよしあしは別として）。私の強い関心の 1 つは何故欧米各国で従来 originality に富んだ仕事が多くなされてきたのだろうかということでした。うすぎたないレストランの片隅で労働者風の男がビーピーならす口笛がベートーヴェンのクリスチアーノ・カルテットであつたり、街頭で錢あつめにシャコンヌをひいてゐる人を見たりするとヨーロッパ音楽は所詮彼等のものだと感ずるが、物理学もそうなのであろうか。それに対する答は我々が努力してみてわかるのですが、最近我国の物理も質量共に発展して來ているし、我々の努力如何では可成りの所まで行けるのではないかと思われる。しかし大切なもののひとつは教育だと思いました。彼等は 15 才で自分の一生進む物理の職をきめそれ以外物理や数学以外の授業時間数はずつとけずられ専門へ専門へと進むわけです。そのため斬新なアイデアが豊富に浮かぶ 20 才台にすでに 1 人前の実力を十分身につけてゐるのです。教育は時間数のみならず質の方もすぐれているように思います。ともあれ洋の東西を問わず優れた教師の許からは優れた人が生まれるのをみても、教育は実に大切であると痛感しました。この意味でも優れた教師が 1 つの大学や研究所の専属でなく広く交流が行なわれ若い研究者に刺戟をあたえてもらいたいものです。ここで理論屋と実験屋の連絡がよく保たれることは前にものべましたのが実際両者を区別する壁がないかの如くです。実験面では実際名人芸的技術を使わないのであるから適当なプログラムさえあたえることが出来れば理論屋でも実験が出来そうです。また私と一緒に仕事をしていた A 君なんか、私と同じくらいに数学が出来ませんが、その指導教官が理論屋の Elliott 氏であつたりします。しかし着想は大変豊富でいろいろな面でたくさん教えられました。一般に日本人にくらべると実験はハラハラするくらい荒っぽいですが急所をよくおさえていることや new idea や夢の豊富さにはいつも感心させられます。実験設備の面では特

に驚く程のものは見当りませんが、工作面の技術のすぐれていることとか予算を念頭におく必要のないのはやはりうらやましい。また数値計算には計算屋がいるし、その方面の機械もなかなか充実しているように思いました。もうひとつ、彼等が運営方針や予算の件などで会議なるものをひらいているのは一度もみたことがありませんでした。多くの科学者が雑用から完全に解放されているのは何よりうらやましいことでしょう。Lowde 氏が日本人はどうしてあんなに忙がしいのかと問われた時には即答に困りました。何となく雑用で忙がしいというのは何とか片付けられないものでしょうか。さてこれから我々の水準を高めて行くにはどのような方針が……といえば、私はやはり理論屋は理論、実験屋は実験で夫々の持ち場を深くほりさげて行くことにつきると思います。その意味では私はこの態度に全面的に賛成しているわけではありません。実験装置の改善がなければどんな idea も生かされないからです。又それと共にここのように特に相互の連絡と理解を深めあうこともまた極めて大切なことだと思います。彼等の物理はさすがお家芸でよく身に附いているし、余裕をもつて進んでいるとはいとも感ずることですが、私共の努力でおいつきおいこす時のくるのを願つてやみません。もつと気楽な話をと心掛けながらつい競争意識にばかりとらわれたような話になつてしまいました。一笑に付していただきたいと思います。

(ハーウエル原子エネルギー研究所にて)

○ 無題

学習院大 大川 章哉

施設共同利用委員会の一人となつては一年以上にもなつた。それにもかかわらず、正直のところ、今までのところ共同利用の精神が未だに身についたような感じがしないのはどうしたことであろうか。物性研におられる方々はもちろんのこと、委員会の方々はどの個人もこの精神を体得しておられる模様で、そういう方々と同席して今まで責任を完うすることができたのかどうか、はなはだ心もとない次第であることを白状せざるを得ない。このサロンの原稿にしても、年頭から中嶋様の所のお嬢様から度々電話で催促されたような次第で、と言うのも貴重な紙面を拝借するのにこれと言つた積極的な意見もないままに、今日までのびのびになつてしま

まつたということである。今日までのところ、物性研で開催された短期研究会なるものがそれぞれの分野で大部分成功裡に行なわれたことは大へん喜ばしいことであつた。ここで、その都度世話人として何人かの所外の人と一人ないし二人の所内の方が当られたことが多かつたと思われるが、何れの場合にも所内の当事者の方達がずいぶんと熱心にお世話をされたことは疑いのないところであろう。このように熱心にお世話をされた原動力がどの辺にあつたのだろうか。専門領域の親しい人々と数日を共にし、何かと有形無形の論点を究明する興味を中心になつてゐたと了解すればはなはだ心安いのであるが、万が一物性研の共同利用の一つの形式なのだからといつた受動的な立場で動いておられたのであれば、大へん気の毒なことをしたということになるわけである。

今頃になつてそんな寝言みたいなばかなことを言つている人間がいるかと叱りを受けるかも知れないのであるが、何も短期研究会と限らず、共同利用の精神に沿つた動きということになると、形は変つても今後とも何か上に類似の心理作用が働くかも知れないという懸念が脱け切れない。

物性研の施設共同利用ということが、どのような形式で具体化されるかは今後の大きな問題であろうが、その運営に當つて物性研の中の方達が中心になつて動いてもらわなければならぬことは動かない点であろう。すると、中の方達が積極的に興味をもつ話題でなければ成功はむつかしいと考えてよいのではなかろうか。万が一、所内の方達が単にお世話を致しますというだけではやはり如何にもお氣の毒なことになつてしまふ。もちろんそんな非常識なことが實際問題として起ることは予想されないわけだが、あまり共同利用の声ばかりが大きいと、わずかな点でもそんな向きに動くようなことがないとも限らないようなことが心配される。

物性研の施設が共同利用を意識して用意されたという向きのことはあるらしく、その意味で共同利用の実があがらなければならないということもある。そのことは多分所内の方達がどの個人もよく意識しておられる模様である。しかし、共同利用の実があがるということと、施設自体が十分に活用されるということとは同時に達成されなければならない。物性研設立のときの事情について詳しくは知らないことだが、国内の物性研究の施設が貧困になりつつある当時の情況を憂えて、識者が声を併わせて新らしい研究所の設立に努力されたものと了解している。とすれば、その要求に応じて用意された研究施設は、何はともあれ、とにかく十分に活用されなければならないものであろう。もしも、共同利用の実をあげることと、施設を十分に活用することとが、一時的にでも両立しにくいような事情があれば、むしろ後者の方を優先すべき筋

のものであろう。そんなことは当り前だとおつしやるならば、これは私の杞憂に過ぎないことだから、忘れて頂いて結構です。

さてそれでは、施設の十分の活用についてはそれを遊ばせないように所内の方達が全責任を負われるものとして、残された共同利用の方は一体誰が注意を払うかということになる。所内の方達はそれぞれ関係方面の国内状勢に眼を配つていて今年の共同利用はこれこれの話題についてこれこれの人達と一緒にやるべきだといつたことに注意を怠らず、一方所外の方達は、一部の学識経験者は別として、多くはそれぞれ自分の研究を中心として、今年か来年かにこれこれの話題について物性研のこれこれの施設を使つて結果を出してみたいといつた計画を建てるということになるであろう。ところでこの種の意識活動は、考えてみれば、共同利用とか共同研究とか言つた格式ばつたことを意識しない状態で、つね日頃我々が行なつている意識活動と別段変つたことも考えられない。むしろ、共同利用とか共同研究とかいわれると、何だか重苦しくてやりきれないような気がするのだが、どんなものだろうか。もちろん実際問題としては、共同利用にしろ共同研究にしろ、それを思い立つても実際の方便に困難を伴なうことが多いのが実情であるから、そのような具体的な方便を立案するのが物性研施設共同利用のねらいだというのであれば、話しつづと気楽になつて、考えてみようということにもなるわけである。

要するに、共同利用ということが、今はやりの何とかプロジェクトといつたものと同類の行き方だとすると、私としては何がしの抵抗感が避けられない。むしろ、共同利用の話題は地に草が生えるような自然の勢いに従つたものであつほしいという感じである。自然の勢といつても、別に手をこまねいて無策で待つということではなくて、少数の研究者の個人的な接触によつて自然と研究発展の方向が開拓されてゆき、共通題目について積極的にこれをやつてみたいといつた意慾が燃え上るような発展経過をいうわけである。このような自然発生を経た話題が改めて表向きの共同利用の話題として提出されることを希望したいということである。

このような趣旨から言つて、さきに設定された外部からの各種研究員制度は大そう好ましい制度と考えられる。これによつて、所外の人達は人を物性研に送ることができ、その間に施設を十分に活用しながら共同利用の実をあげ、あるいは共同利用の可能性を試みることができるわけであり、一方所内の方達としても不本意な意識活動をもたないままに自然に研究の実をあげ共同利用の趣旨にも沿えるという便宜が無理なく得られるように考えられ、一層の活用が望ましい。

以上、一向にまとまりのない話で、無見解の程を露呈したようなことにりお恥かしい次第だ

が、何となく平素気持のしこりになつてゐるようなことを書き記したままである。別に他意があるわけではないので、気軽に読み流して頂ければそれで結構です。

○ 物性研での一ヶ月

基研 碇 井 恒 丸 基研 恒 藤 敏 彦

われわれ2人は、4月20日から1ヶ月間客員及び嘱託研究員として物性研に滞在した。おもに中嶋研究室のスタッフと協力して超流動および超伝導の研究を行なうことが課題であった。文通によつてあらかじめ大体の研究計画を打ちあわせておいて実行に移つたのであるが大変快適に勉強ができたと思う。討論がつづいて、研究室を離れるのが7時を過ぎるのがならわしであつた。

超流動については新らしい実験を創案することと、基礎論的な仕事を平行しておこなつた。

1) イオンを probe particle として用いること。その易動度に着目するのが普通であるロトンおよびフォノンのはたらきに由来する易動度は従来実験的にも理論的にもよく研究されている。一方 1956~7年以来超流体の渦系構造が発見され、実験的に相当詳細にしらべられた。理論的にも半現象論を駆使して実験結果がかなりよく解析されているが、第一原理からの構造理論はわずかに不完全ボース気体についてのものがあるだけである。さて回転円筒によつて整列した渦系をつくり、その中を平行および垂直にイオンを走らせれば、かなり直接的な information が得られるであろう。われわれが行なつた分析によれば、 $p \cdot \nabla s$ 項による弾性散乱は小さすぎる抵抗しか与えない。また所謂 core 部分の密度の穴による弾性散乱をしらべてみると、易動度は $\propto T^{3/2}/\omega$ である。しかし絶対値をしらべてみると、 $T=0.1^{\circ}\text{K}$ で $\omega \sim 10$ の程度の回転を与えたときはじめて、フォノンによる散乱と同程度になることがわかる。この温度でも He^s cryostat を使えば実験可能なのではあるまいか、更に core から遠い部分も効く散乱として、渦系に横波を励起する非弾性散乱をしらべてみなければなるまい。これは時間切れで宿題ということになつた。そのほか、 1°K 近傍のごくせまい温度範囲で発見されている $\mu - \nabla d$ プロットの “quantum” step の理論的解釈をしようと努力したのであつたが、これは結局 no idea ということになつた。しかし

これに附隨していろいろの型の励起(Vortex ring など)について討論が行なわれた。 μ の step の理論としてはつぶれてしまつたわけだが、それはそれとして結構おもしろかつたことである。

2) 次にかなり時間をかけて討論されたのは、液体ヘリウムに外部電場をかける問題である。以前 Atkins が、イオンのまわりのヘリウムは、強い不均一電場のため、密集すること、相図から推察して、これは固体になつてゐることを述べた。そこでむしろ外部から controllable な電場をかけければ、単純化された現象を見ることができるのではないかと考えられる。相図から類推すれば、固体、液体 I, II の相が共存するようにもできるかもしれない。また一様電場によつて軸対称性を与えて異方性フォノンを実現できるかもしれない。しかし問題は break down がどの程度で起るかということつかつてゐるようである。単純な評価からはもつと高いところに出るが、実験家の言う 10^6 V というのが正しければ、音速はわずかに 0.1% 程度の異方性を持ちうるに過ぎないことになる。

この他膜の臨界速度がいわゆる第3音によつてきまるのか、あるいは渦系発生によるのかとか、その臨界高度はどうやつてきまるのかについて議論がなされた。分子論的な理論をたてるには、現在のところ Ginzburg-Landau 流の形式を用いることになろう。

3) 基礎論的な仕事といふのは超流体の dynamics を確立する試みのことである。転位点近傍については既に Ginzburg-Pitaevski の半現象論があるが、分子論的な理論を全温度範囲に展開したいといふ計画である。例えば超流体の渦系構造を議論し、また非可逆過程を解析するための基礎理論である。この目標のため、condensate 場についての方程式を導いたが、さしあたりのテーマとして第2音波を導出しようとしている。dynamical Hartree 近似で解く方式をとつてゐるが、local equilibrium の仮定を避けてゐるので、在来の理論で容易に扱えた点、例えば 0°K 近傍(そこでは超流体の dynamics が suppress されている)で第2音波が phonon gas の compression wave として把握できたわけであるが、この点却つて扱い難くて、まだ最後的な結果を得ていない。この類の努力にも批判すべき点があるようと思われる。即ち物理がわかつてゐる事柄を数学的にいじくり廻す程人生は長くないといふ Landau の哲学から見た場合どうなのだろうか。

Onsager-Penrose 流に見ると超伝導状態もそういうことになるが、この立場から議論してみてよさそうなのは H_{ϕ}^3 の転位の問題であろう。しかしこれは提案といふに止まつた。

超伝導理論に関しては、不純物効果、Hard Superconductor, Anderson のモデルの Localized moment と超伝導、Strong Coupling の問題等が話題に上つたが、主に問題にしたのは前の 2つであつた。

1) 不純物効果 Non-magnetic impurity を加えると、殆んどの超伝導金属の T_c は最初 linear に減少する。しかし Impurity 散乱による m.f.p. が Coherence length ξ 程度になる濃度でこの効果は Saturate し、それ以上では、Solute の valency 等によつて異なる複雑な変化をする。この効果の理論的な説明として、Suhl-Matthias 等は BCS 理論から出発し、 $1/\omega_c \tau$ (ω_c は Cut-off frequency) に比例する T_c の減少を導いた。一方 Anderson は、dicthy Superconductor の考察から、 T_c の減少は Impurity 散乱で gap の異方性が洗いながされているためであろう、と示唆した。この問題を恒藤がとりあげ、Electron-phonon・系の理論から、 $1/\omega_c \tau$ に比例する効果はないこと、さらに非等方的な gap のある場合にはたしかに上に述べたような T_c の変化がえられることを示した。また excitation の gap は、散乱によつて等方的になることも示された。この研究は京都に帰つた後完成され、近く Technical Report に 出される予定である。なお、芳田研・中嶋研合同のセミナーで、不純物効果についての Suhl-Matthias, Abrikosov-Goikov 等の理論を紹介し、また上の研究を一部報告した。この研究は中嶋研およびこのセミナーでの討論に負う所が大きい。ここで両研究室のメンバーに心から感謝しておきたい。

2) Hard Superconductor. 最近 Hard Superconductor の問題は、応用の可能性もあつて、活潑に研究され、興味深い実験結果がえられている。しかし理論的な解析はまだこれからと言つてよい。今後実験と理論の協力が期待できる問題などで、今回も 討論の対象にした。この分野は誰も立ち入つた勉強をしていなかつたので、まず実験 data の 整理と既成の理論の勉強から始めた。碓井、恒藤が京都に帰つて後、この研究は主に中嶋研で進められている。この機会に、中嶋研の方々に代つて、現在までに整理された結果を報告しておく。いわゆる Hard Superconductor には、Strain free で ~~lattice~~ であるものと、dislocation 等の imperfections のために hard になつているものとの 2種類がある。その相違は磁化曲線にもつとも明瞭に現われる。第 1 のものは、Abrikosov の vorcex lattice の理論でよく説明されると思われる。J. E. T. P. 32(1958) 1442. 第 2 のものは一応 Superheated Superconductor と

考えられ、恐らく dislocation line にそつて Super あるいは normal の filament が出てきているのであろう。しかしその mechanism は明らかでない。

最後に外来研究員として一ヶ月滞在してえた感想を述べておく。まず期間であるが、短期の共同研究としても 1 カ月が lower limit であると思う。ことに問題提起から討論するような場合には、それでも短いし、また出来れば 2 度にわけて滞在できればより効果的ではないかと感じた。次にこのような形で他の研究室に相当期間滞在することはせまい意味での研究上の成果を別として、非常に有益であつた。視野を広げるという点は言うまでもなく、また異なる考え方に対する接する点でもそうだと思う。比較的短期の場合には、有形の成果を期待するかどうかという点についてはできるだけ liberal に考えるのが望ましいと思われる。居心地は、中嶋研の皆さんのおかげで、申分なかつた。しいて注文をつければ、図書室の利用がもつと簡単で自由であるのが望ましい。むろんこれから充実するのであろうが、これほどの研究所においては図書室が貧弱な感がした。また宿舎について世話をもらえると大変ありがたい。東京は世界の歴史に例を見ない特殊な都市だからなおさらそうである。最後に、実験と理論との協力あるいは接しよくが期待したほどでないという感想を附加えておく。日本で、実験と理論とが協力して本来の研究のあたりを実現するのに、物性研が最適だと考えるからである。

(1962. 7. 6)

レ タ

○ 「核研シンクロトロンを使う核と物性の境界

領域の実験」研究会に対するコメント

東京都立大・理 小 谷 恒 之

I : β -ray の longitudinal polarization を利用した物性の研究
偶奇性非保存の実験に伴なつて, μ^+ meson の polarization の割合がいろいろの物質中で変化すること (depolarization の効果) は 1957 年代にいち早く見出された。先の報告にもあるように, 今度の研究会でも, S_1 中での depolarization の現象の理論的説明が発表された。

日本では, 建設計画が議論されている大型陽子加速器でも作られない限り, π -meson の強度の点からこの種の μ -meson を使う実験は到底実験の対象として望めない。これに代るものとして, 核研の電子シンクロトロンとは関係ないが, β -decay で出てくる陽電子 (β^+) や電子 (β^-) も初めから polarize しているので, これを利用する方法を考えてみたい。この人工放射能なら日本でもいろいろな所で手に入る所以, 実験は可能であろう。

物性論に弱い私には, この β -ray の depolarization が面白いかどうか判断しかねるので, μ^- の depolarization の機構と比較して理論的に興味があるかどうかを考えていただけ幸いである。又以下に述べるような仮想実験が可能かどうかを実験の方々が考えて下されば望みたい。一般的に言つて, μ -meson よりも β -ray は multiple scattering などで absorb されやすいので, 実験はむつかしくなるであろうが, 人工放射能を使用する所以入射ビームが安定している利点が取柄であろう。

β^\pm の polarization を測つた方法を逆に使うものとして, depolarization とは異なるが, 素人考へて面白そうな実験として次のようなものはどうであろうか。

(I) $\beta^+ + e^- \rightarrow 2\gamma$ による方法^{1) 2)}

β^+ のスピンは進行方向に polarize しているので (正確には $\beta = (v/c)$ の割合), Fe (または, Co, Ni) 中の電子 (e^-) のスピンが β^+ の方向と平行か反平行かで,

(β^+ , e^-) が 3S か 1S を作る。

それ故 β^+ の polarization が

わかっているので, F_e 中の e^- のスピンの向きが β^+ の進行方向に(一般に F_e の表面に垂直な向きで)平行と反平行での期待値が異なるれば, 3S と

1S からの転移の違いから F_e 中の e^- のスピン方向が測れる。こうして F_e

の natural magnetization の温度効果が測定出来る筈である。室温での測定を基準にして測れば誤差を少なく出来るであろう。(F_e の面に平行な方向に e^- が polarized しているものの方が有利な場合は, 後に述べる [I] の方法で β^+ を transverse pol. に直す必要がある。)

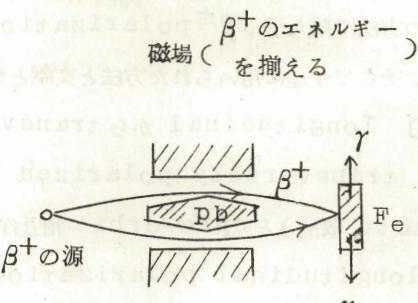
温度効果だけではなく, 添加物で合金を作つた時の電子のスピン分布の変化も原理的に測れる筈である。

[II] m_øller(または Bhabha) 散乱による方法^{3) 4)}

β^+ の消滅を使わなくても, 例えば F_e 中の e^- が β^\pm によって knock-out されてくるものと β^\pm の同時測定を測れば, β^- にも β^+ にも両方とも用いることが出来る。(同時測定は, 一般に β^\pm が原子で散乱される mott 散乱の方がずっと多いので, この区別のために必要である。) この $\beta^- + e^-$ 散乱は両方のスピンが反平行の時の方が大きいので, F_e の磁化の向きを入射 β^\pm に平行か反平行にしてやつて, 散乱強度の変化を測れば F_e 中の e^- のスピンの向きを測ることが出来る。

上記のような方法で β^\pm の polarization を測るとして, F_e , Co , Ni 等での比較から 3d e^- の様子や depolarization の効果を知ることが出来るかも知れない。もしこの depolarization の機構が, 静止して例えば positronium を作る時によるもののみでなく, 例えば S_i の薄膜を通しててもかなり強い depolarization が期待されるなら, F_e の前に目的の薄膜をおけば, この効果が原理的に測れるであろうと思われる。この仮定が正しいかどうかということと, β^+ と β^- とで depolarization の度合が違うかどうかという点が物性理論の方に教えていただきたい点である。

もしこのように止つていなくても β^\pm の depolarization がかなり期待されるなら,



上記の方法に限らず, β^\pm polarization を測つた方法の一番精度のいい方法を使えばよい。そこで今迄に用いられた方法と文献とを整理してみよう。

[1] longitudinal から transverse polarization へ移す方法

transversely polarized β^\pm を原子(例えばAu)で散乱させてやる(Mott 散乱)と spin-orbit 相互作用のために左右非対称に散乱されるので、もとの longitudinal polarization の割合が測定出来る。⁵⁾ 初めて β^- の polarization を測つて偶奇性非保存を決定的にした時に用いられた方法である。

(1-a) β^\pm を静電場を使つて 90°

だけ進行方向を変えてやる。^{6) 7)} スピンの向きは元のままである。

(1-b) 電場と磁場をかけて, β^\pm の

方向はそのままで、スピノの向きをかえる。^{8) 9)}

(1-c) Al のような軽い核で散乱させる。¹⁰⁾

[2] Møller 散乱を利用する方法^{3) 4)}

前記[II]の方法である。

[3] 制動輻射の偏光の測定¹¹⁾

β^\pm から出る制動輻射は当然前方で円偏光している。それ故 β^\pm の longitudinal pol. は, γ -ray の角運動量(\vec{L})が e^- のスピノ(\vec{S})と反平行だと, e^- のスピノを逆転させることによる γ -線の吸収があるので, \vec{L} と \vec{S} が平行の時より, γ -ray の強度は減ずる。それ故 F_e の磁化の方向が β^\pm -ray のビームと同方向の時は, 左円偏光の γ -ray の \vec{L} は \vec{S} と平行になり, F_e の磁化の方向を逆にした時より, 沢山の γ -ray が通過できる。この差はもとの β^\pm -ray の pol. の割合に比例する。

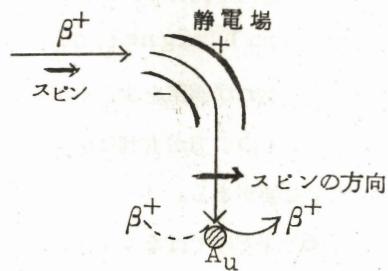
[4] β^+ にのみ適用出来る方法(β^+ と e^- の消滅を利用する)

(4-a) $\beta^+ + e^-$ から作られる 1S と 3S の消滅の割合の違いを利用する方法^{1) 2)}

前記[I]の方法である。

(4-b) $\beta^+ + e^- \rightarrow 2\gamma$ の γ -ray の polarization^{12), 13)}

β^+ が止まる前に e^- と消滅した時の γ -ray の pol. を [3] と同じよ



うにして測る。

(4-c) 気体中の(β^+ , e^-)の消滅による γ -ray の line width 14)
 1S positronium からの γ -ray は, 3S からのものより, positronium の寿命の差によつて, 広い line width を持つてゐるので, positronium を作る e^- のスピンの向きを β^+ 方向と平行又は反平行にしてやつて測る。

以上のようにいろいろの方法が試みられている。これら実験は根本的に難しい実験なのか, 物性論的にみて興味がないのか, 御教示下されば幸である。理論的に興味があるものであれば, やさしい実験とは言えないかも知れないが, 新らしい測定法の開拓という意味で面白いものと思う。最後に討論して下さつた木村鍊一先生に感謝します。

参考文献:

- 1) S. S. Hanna and R. S. Preston, Phys. Rev. 106 (1957), 1363 and 108 (1957), 160.
- 2) Frankel, Hansen, Nathan, and Temmer, Phys. Rev. 108 (1957), 1099.
- 3) Frauenfelder, Hanson, Levine, Rossi, and De Pasquali, Phys. Rev. 107 (1957), 643.
- 4) Benczer-Koller, Schwarzschild, Vise, and Wu, Phys. Rev. 109 (1958), 85.
- 5) H. A. Tolhoek, Rev. Mod. Phys. 28 (1956), 277.
- 6) Frauenfelder, Bobone, von Goeler, Levine, Lewis, Peacock, Rossi and De Pasquali, phys. Rev. 106 (1957), 386.
- 7) M. E. Vishnevsky et al., Nuclear Phys. 4 (1957), 271.
H. De Waard and O. J. Poppema, Physica 23 (1957), 597.
Langevin-Joliot, Marty, and Sergent, Compt. rend., 244 (1957), 3142.
- 8) Cavanagh, Turner, Coleman, Gard, and Ridley, Phil. Mag., 2 (1957), 1105.
- 9) Alikanov, Yeliseyev, Liubimov, and Ershler, Soviet Phys.

-JETP, 34 (1958), 541 .

- 10) De-Shalit, Cuperman, Lipkin, and Rothem, Phys. Rev. 107 (1957), 1459.
- 11) Deutsch, Gittelmann, Baner, Grodzins, and Sunyar, Phys. Rev. 107 (1957), 1733 .
- 12) Boehm, Novey, Barnes, and Stech, Phys. Rev. 108 (1957), 1497.
- 13) L. A. Page and M. Heinberg, Phys. Rev. 106 (1957), 1220.

II: Positron 源について

陽電子消滅による物質中の電子分布等の測定¹⁾ には普通 N_a^{22} から出る陽電子 (β^+) が用いられている。普通用いられている N_a^{22} は millicurie であるから 5 mc として、得られる β^+ の数は全立体角当り

$$I_{\beta^+}(N_a^{22} (5 \text{ mc})) = 1.5 \times 10^8 \beta^+/\text{sec}$$

である。もう少し高い強度の e^+ ピームが電子線型加速器 (Linac) から得られないかというのを非常に大雑把だが当つてみたのがこの報告である。結論を先に述べると、30 millisteradian 位にしほつた e^+ ピームが欲しいときは Linac の方から 2 衡位強いピームが得られる。しかし、現在物性の実験¹⁾ で行なわれているような非常に低エネルギーで、立体角の大きいような実験条件でよいときは e^+ の強度の点で Linac が有利でも、 N_a^{22} による β^+ 源の安定性や background の少ない点 (特に N_a^{22} は β^+ と 1.23 Mev の γ 線しか出さないので有利) を考えると N_a^{22} を使つた方が手軽であると言える。

Linac から得られる e^+ ピームの強度の推定値として、100 Mev 時間平均 500 μA の Linac から 0.031 ster の立体角に入る 20 Mev e^+ ピームの強度が島塚、小島、木村²⁾ によつて求められている。

$$I_0 = 3.0 \times 10^{10} e^+ / (0.1 \text{ Mev}) (0.031 \text{ ster}) (\text{sec})$$

この計算で用いられた初めの Linac 中の電子の数 (N^-) と出てくる陽電子 (e^+) の数 (N^+) の比 (効率) は (N^-/N^+) = 10^{-5} である。

現在東北大で運転中の 5 Mev, 時間平均 10 μA の Linac の場合に換算するために、(N^-/N^+) = 10^{-7} の効率とし、2~3 Mev の e^+ なら物質中ですぐとまるので

($\Delta E/E$)はもつと大きくてもいいと思われる所以、1 Mev位の巾の β^+ を取り出すとする
と

$$I_{e^+} = I_0 \times 10^{-2} \times 10 \times \frac{10}{500} = 6 \times 10^7 e^+ / (\text{Mev}) (0.03 \text{ Ster}) (\text{sec})$$

$\uparrow \quad \uparrow$
 $(N^-/N^+) \text{ 比} \left(\frac{\Delta E}{E} \right) \text{ Linac の current}$

Linac としてはもう少し energy も electron 強度も高い(例えば 20 Mev 500 μ A 時間平均)位のものを考えてもよいので 10^2 位は I_{e^+} をあげることが可能だが、実際には Linac の前方では noise が大きいのをつと大角度で e^+ を取り出すとして、使えるものは

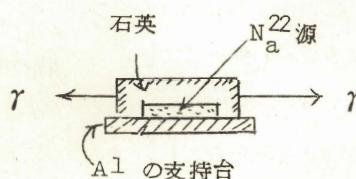
$$I_{e^+} \approx 10^8 e^+ / (\text{Mev}) (0.03 \text{ Ster.}) (\text{sec})$$

となり、5 mC の N_a^{22} の全立体角のものと同じ位の強度になる。もし 0.03 Ster. の β^+ ビームで実験するのであれば、

$$I_{\beta^+} \approx 4 \times 10^5 / (0.03 \text{ Ster.}) (\text{sec})$$

となつて Linac の方が強度としてはつと有利である。

しかし実際の物性の実験で例えば石英中の陽電子消滅³⁾では下図のよう N_a^{22} からの β^+ の殆んど 2π に亘る立体角に出る β^+ を利用しているので I_{β^+} は I_{e^+} と競争出来るようになる。それ故固体又は液体ヘリウムの中での消滅が目的の場合



(文献 3) 4) 5) のような実験条件の

場合)なら、 N_a^{22} の方がつと手軽で、実験全体を実験者なしに運転出来るように組立てられる点、noise が非常に少ない点からみて Linac を特に用いる必要はなさそうである。

気体の中での陽電子消滅を Heineberg-Page⁶⁾ の実験装置の配置でやる場合には Linac ビームの方が幾分有利といえるのではないかと思われる。もし incident の β^+ の energy をしづり、消滅の場所を限定して、 $10^5/\text{sec}$ 以上の強度のものが入用となれば、Linac の方が有利になつてくる感じである。

以上の計算は実際の実験条件もきめないで、ごく大略の感じで議論した所が大部分なので、

本当に実験される時には、もう少し 2γ の Counters の張る立体角等も考慮してきちんと計算する必要がある。

この原稿を書くのにいろいろ討論・御助言下さつた、東北大北垣氏、核研の $\gamma - 2\pi$ 実験グループの方々に感謝します。

参考文献

- 1) 小谷正雄, その他 放射線物性 岩波講座 p. 10
- 2) 島塚賀治, 小島融三, 木村一治, 応用物理 30 (1961), 541.
- 3) R. E. Bell and R. L. Graham, Phys. Rev. 90 (1953), 644.
- 4) D. A. L. Paul and R. L. Graham, Phys. Rev. 106 (1957), 16.
J. Wackerle and R. Stump, Phys. Rev. 106 (1957), 18.
- 5) Page, Heinberg, Wallace and Trout, Phys. Rev. 78 (1955), 206.
R. L. DeZafra and W. T. Joyner, Phys. Rev. 112 (1958), 19.
- 6) M. Heinberg and L. A. Page, Phys. Rev. 107 (1957), 1589.

編 集 後 記

- 前半の研究会のいくつかが六月に集中したことをうけて、今号は研究会報告が多くのページを占めています。
- と同時にサロン、レターに沢山建設的な、又、おもしろい投稿を頂いたことを感謝いたします。（先号の後記に少々ひがみを書いたのを取消すのは早すぎるでしょうか。）
- 前に何度か書きましたが、“物性研だより”の誌名は、ちょうどまんなかに“究者”的の2字を補つて考えて頂きたいと思い、そのような性格の小誌にするよう努力致しております。“研究室だより”は全国の物性関係の各研究室の研究内容や動向を紹介する欄として設けております。

御投稿をお願いします。

- 最後に、海外通信が、交信者の理解の上でどんどん載せられ、いろんなところのいろんなことが広く知らされれば良いと思い、この小誌でそうした慣習を作つてゆきたいと思います。
- “物性研だより”の締切、発行予定日は

締 切：奇数月 10日

発行予定：偶数月 20日

物性研だより 第2巻第3号 1962年8月20日発行

東京都港区麻布新龍土町10

物性研究所 Tel(408) 3922

