

物性研だより

第9卷
第3号

1969年8月

目 次

○ 大学改革と物性研究所	1
鈴木 平	
○ 物性研談話会の要旨	7
— 物性研究の現状と将来シリーズ —	
Arnold J. F. Siegert	
矢島達夫	
短期研究会報告	
○ 金属合金の非晶及び液体状態の物性	11
遠藤裕久, 渡部三雄	
松原武生	
○ 磁性化合物の伝導機構	13
山下次郎, 糟谷忠雄	
平原栄治	
○ 特殊な構造をもつ合金などの構造解析と物性	28
小川四郎, 岩崎 博	
○ 加速器による物性研究	34
豊沢 豊, 石川義和	
大野和郎	
○ 1°K 以下の生成とその温度領域での物理	43
齊藤慎八郎, 天谷喜一	
川畑有郷, 篠原元雄	
物性研ニュース	
○ 助手公募	56
○ 人事異動	58
○ テクニカルレポート新刊リスト	58

大学改革と物性研究所

所長 鈴木 平

昨年12月に、私は物性研究所の現状と将来に関する問題について、早急に検討を開始する予定であることを述べた（「物性研だより」8, 5号）。大綱的には創立以来の運営方針にしたがって運営されてきた物性研究所がすでに12年を経過し、その間、物性物理学の進歩発展と分化が急速に進み、この儘ではもはや共同利用研究所としての存立が危ぶまれている現実を何よりも先きに指摘したかったのである。それは、まず、主要装置が創立時の儘であるために、すでに新しい研究の要求に答えられなくなっているという設備的な問題を如何に打開するかということであるが、問題は予算措置にとどまらず、いろいろの点で研究所のあり方をこの際刷新する方がよいと考えたからである。

共同利用研究所としての物性研究所をいま一度根本から検討し直した上で、再出發する気概が必要であると判断して、普段から考えていた問題を指摘したのであるが、一方、目を外に転じると、今年に入って大学の根本的改革の論議がさかんになり、中でもわれわれ最大関心事である研究・教育面の昔ながらの体制を時代の要求に応じて刷新しようという動きが大学の内外で活発になってきた（東京大学改革準備調査会「研究教育組織改革の問題点」1969-7-3, 学術審議会学術研究体制特別委員会中間報告「大学における学術研究体制の整備についての基本的考え方」1969-6-23, etc.）。

上記の2報告は、その性格が中間報告的なものであること、あるいは叩き台的資料であることを標榜してはいるが、かなり積極的に結論的方向を打ち出している。これより先き、物性研究所内では冒頭に述べた問題提起に対して「物性研の研究体制の検討」（所内3分科会幹事会覚書1969-2-22）の結果が発表され、また全国共同利用研究所の関係では「全国共同利用研究所の現状と問題点」（国立大学附置研究所所長会議常置委員会特別分科会報告1969-6-12）が発表された。これらは、いづれも共同利用研究所のあり方について、現在われわれが抱えている問題点の検討に主眼をおいたもので、明確な解決の方向を示唆するに至ってはいない。それだけに、私は当事者の1人として、大学の研究・教育の組織の改革の方向を示唆している前述の報告に甚だ強い関心をもっている。

東大改革準備調査会の覚書にも、学術審議会の中間報告にも共通した考え方であるが、従来の「学部」と「附置研究所」とを解体して、研究者としての教官組織と教育者としての教官組織とに分別することを主張している。両者は同一教官がもつ2性格を従来の「学部」という1つの組織で受

けとめきれないところにいろいろの問題が派生したと考えたのである。

深く専門的に学問を追求する研究者の一群が「附置研究所」を組織しているのが現状であるが、それは嘗て教育と研究との両機能について「学部」のみに依存することによる不足を補うという意義をもっていた。しかし、最近になって、ひとつには学問の急速な発展と分化が大学教官の負うべき研究任務を増大させ、他方には学生数の急激な増大による大学のマンモス化が学部レベルの教育任務を増大させ、学部教官のもつ2つの任務の調整が益々無理になってきた。それと同時に、「学部」と「附置研究所」との相補的意義が薄れてきたことも事実である。結論的にいいうならば、2報告から察するところ、このようにして学部教官が2つの任務を満足に果すことができず、多くの場合研究に傾斜する傾向が強いために、教育面での活動不足が学生の不満を買いつけるようになり、さらに学生のこの不満を充足させるために附置研究所は何の役割も果していないといいうのが学部教官の不満となっているらしい。

上記の2報告が研究と教育とを矛盾なく内包させようとする教官の立場を重視していることを私は認めるけれども、その教育面に関する考察が不十分にしか行なわれていないことと「附置研究所」を深い考察なしに否定していることとに甚だ疑問を感じる。いうところの大学改革が「学部」教官の研究者としての自己満足にかかわり過ぎるようと思う。

それは、「学部」と「附置研究所」とを共に解体して、改めて研究のための教官組織をつくり、必要な「研究施設」を置こうとするところに明白に現われている。現在の「附置研究所」の多くは嘗てこれと似た発想のもとに生れたのであり、いうところの改革は、形的に歴史の单なるくり返しに過ぎないのではないかと思われる。いうところの改革に、かりに実質的利益があるとすれば、それは古い歴史を背景にして徒らに太った「附置研究所」を整理するという効果であるが、それだけのためにすべての研究所をつぶそうというのは、問題を大げさに拡大してみせようという意図なのか、あるいは真に「附置研究所」の無用を主張しているのか甚だしく判断に苦しむところである。

日本における基礎科学の中心は大学にあり、その少からぬ責任部分を「附置研究所」が負っている。この点はアメリカあたりとはかなり違った特長である。個人の自由と独立を尊重する個人主義が発達し、且つ経済力の大きいアメリカにおいては、基礎科学の研究を大学に限らず国立研究所やあるいは民間の研究所でもかなり自由に行なうことが可能である。しかし、学問にとって欠かすことのできない研究の自由を大学にしか見出せないわが国の状況では、かなり違った考え方をする必要があるのは当然であろう。わが国のこの傾向は今後とも容易に改まるものではないと思われるがもしそうだとすれば、大学の研究をえたいの知れぬ「研究施設」や、教育機能を不明確に分離しただけの「教官組織」に期待するのでは、近い将来、再び必ずや「研究」のより明確な分離を要求する声があがるのは火を見るよりも明らかである。すなわち、「学部」をいうが如く改革することは

重要と考えるが、大学の改革のために何故に「附置研究所」を解体しなければならないのかまったく不明である。「附置研究所」を否定することは、大学がになっている研究の使命にあえて目を蔽おうとするもので、自己矛盾も甚だしいと思うがいかがであろうか。

とはいひ、「附置研究所」のあり方をその儘是認するものではない。とくに、「附置研究所」の再検討を「学部」の改革と並行して行なうことは重要である。「学部」が研究、教育の機能分離の方向に自己改革をしようとしているときに、研究を主体的任務とする「附置研究所」が一步退いて、自らの存在意義について反省することは決して無駄なことではない。改善された「学部」に対し、「附置研究所」として改めて固有の積極的意義をもつことが要求されるのは当然だからである。

まったくの私見であるが、今後の新しい大学に残るべき「附置研究所」はすべて「共同利用研究所」として、その体質と機能とを改革すべきものと考える。それ以外の通常の「附置研究所」は「学部」に融合して一体化するなり、あるいは新しい「学部」、もしくは「学内共通研究施設」に転身するのがよいであろう。

「共同利用研究所」を大学の外郭に位置づけて、大学の自治との矛盾を緩和し、相互尊重によって大学の内部と調和を保つようになることを考えるべきである。全国的主要大学は、然るべき全国的審議機関の議を経て特長ある「共同利用研究所」をもてるようになり、全国の研究者に対して開かれた運営ができるように制度を改革すべきである。この種の「研究所」を経営し、全国の研究者にそれを開放することを、むしろ今後の新しい大学の任務とするというのが私の意見である。これらの「研究所」は、必ずしもピッグサイエンスに対応する巨大施設や巨大予算が唯一の存在条件ではない。それぞれが著しい学問的特色をもち、予算その他で思いきった国家的措置をとれるように少数精鋭を旨として設置することが最も重要である。

これらの「共同利用研究所」は既設の共同利用研究所をふくめて、柔軟な研究体制をしき、客員部門制度や所員の任期をおくことによって円滑な人事交流を実施し、高いレベルの研究と新分野の開発研究の場として機能を發揮することが重要である。また、若い研究者の養成のための機能もあわせもつことを期待すべきである。

これらについて、一般的見地からの検討は他の場所で述べたので（「全国共同利用研究所の現状と問題点」参照），ここでは残された僅かな紙数をつかって、物性研究所に焦点を合わせてその主要な問題点に限って私見を述べてみたい。冒頭に述べた「物性研3分科会幹事会覚書」は問題の指摘にとどまり、方向づけを避けているが、私としては9月以降に東大改革の論議と並行的に所内の論議を再開してもらい、大綱についての解答を用意する必要があると考える。

(1) 物性研究所の目的(3分科会覚書から)

物性研究所は全国共同利用研究所として、物性物理学を中心とする研究を総合的に遂行するこ

とを目的としている。物性物理学は今や物質に関する物理、化学から地質学、あるいは地球物理学その他工学の各分野にひろくまたがる物質科学の基礎を構成している。

物性研究所のあり方を吟味するにあたって、物質科学の将来に対して一応の見通しをもつ必要があろう。これまでの物性物理学の基礎論的観点からすれば、現在は予想された発展の限界に近く到達していて、これから学問の動向は未知の領域の開拓に依存するところが大きいといえる。すなわち、一方において、従来の研究より定量化し、精密化していく自然延長的発展の方向に向って研究を進めることはもとより大切であるが、他方において、以前にも増して新しい研究対象なり研究分野を積極的に開拓することが期待されているのであり、この方向に新しい原理的基礎的問題の追求の道が切り開かれるものと考える。その問題としては、従来の固体物理学の枠からはみ出るもののが現れるかも知れない。物性研究所としては、これらの2つの研究方向を並行させて進めるが、将来は後者が研究の主流となることもあり得る。

(2) 研究体制

上記のように、真に新しい分野を開拓するという困難な使命を負う研究所としては、つねに柔軟な研究体制を保持し、また臨機の予算措置を可能にしなければならない。

柔軟な体制として、第1には従来の部門制を廃止し、最小の研究単位（チーム）として研究室（いままでの半部門）をとる。第2には、相当数の定員研究室を設置して外部の研究者の実質的参加を容易にしなければならない。

基礎科学の分野では、いわゆる「プロジェクト研究システム」の効用を私は疑問に思っている。それは普通の目的に対して、ある期間内に何らかの成果を生み出そうとして研究者を組織するものであるが、その作業過程で真に創造的役割を演ずるのは頭に立つ1、2の頭脳で、実際に作業に参加する多数は研究者というより技術者に近い性格にとどまり、むしろ研究者としての創造的能力を犠牲にすることが強制されるものである。すなわち、このような組織を組むことはつねに無理が伴う。

しかし、科学の急速な発展と分化の傾向は益々強まり、新しい研究をスピーディに仕上げていくことが要求され、その場合の成否は多数の研究者の協力の有無、あるいは急速な情報交換の有無が決定的であることも確かである。したがって、ある種の研究集団の構成はひじょうに望ましいことであり、私はこの種の研究集団組織を「研究コアーシステム」と呼んでいるが、それは「学部」において実現することがむづかしいが、「研究所」においては至って容易であるという特長をもっている。

たとえば、レーザー分光技術をいろいろの物質あるいは現象の追求に使用しようとする研究者が共通の基本設備、すなわち各種のレーザー光源および各種の分光器を中心にして集り、それぞ

理がく。向象礎らさ柔室内る。も養夕こへ一ア
れ互いに学問的に隣接する領域の研究を進めるとする。組織の中心は量子光学を専門とする研究チームをおく。この種の組織の効能は説明するまでもないであろう。このようなシステムをいくつかの重点分野に対して組むことにより、それぞれの分野の進歩は加速され、周辺領域への浸透も速まる。もちろん、このためには特別予算投入が必要であり、研究所全体をこのような複数の組織で構成するために、数年単位で次々に新しく組織をつくることが必要である。いづれも固定的なものではなく、必要なときに発展的解消が行なわれなければいけない。現在の物性研究所では予算さえ許せば、直ちに 10 程度の重要な研究集団を形成することができる。

「研究コアーシステム」というのは、コアに大がかりな共通の基本的設備をおくものであるために、至って現実的な集団組織で、共通の研究テーマを中心に集団を組む「プロジェクト研究組織」とこの点で本質的に異なる。より現実的である所以は、一つには経済的理由であり、一つには研究者間に強い束縛を与えないで実行性があるためである。物性物理においても、研究装置は漸次大型化し、高価になりつつあるので、研究所内の各研究チームが最新の設備をつねに用意するのは益々困難になってきている。少ない予算をひろく分配するのでは、期待するような開拓的仕事を遂行できにくいというのが現実である。なお、「研究コアーシステム」を真に効果的に運用するためには、研究所の建物からそれに適した構造のものに改めることが望ましい。

もちろん、このような重点研究分野を選び出すために研究所内外の研究者の連絡を密にし、現在の物性研議会などがより実質的に活動するようにしなければならないと考える。

(3) 研究者組織

現在の教授、助教授、助手等の呼称を改めると共に、次のような任期制をしいてはどうかと考える。教授、助教授を一括して教授とし、その一部に任期(10年)をつける。助手は研究員と呼び現在の5年任期の制度を維持する。教授 1, 研究員 1~2, 技術員 2 が 1 チームをつくる(現在は 1, 1, 1)。

さらに、教授と研究員とを総称して所員と呼び、所員会を構成する。ただし、所員会の機能は主要な点に関する限り現行の儘でよいと思うが、研究員全員の参加は、物理的に実質的審議を困難にするので、その少数代表と教授全員とが審議機関としての所員会をつくるようにしなければならないであろう。

新しい所員の任用は現在同様すべて公募制により、選考は所外の他部局および他大学教官の加わった現行の人事選考協議会が行なうことを変えた必要はない。

(4) 大学院

「共同利用研究所」に設置される大学院は「研究院」と呼び、「大学院」に対応するものとして新たな構想にもとづいて制度化するのがよい。「研究員」は現在の博士課程に該当するレベルのも

のとして、2～3年を単位とする。専門分野によっては、現在の修士課程に相当するところから教育に関与する必要があるかも知れないが、その場合には研究所教官が「大学院」を兼任すればよいであろう。博士論文審査には他部局および他大学教官の参加している現在の人事選考協議会委員があたればよい。

「研究員」はもっぱら研究者の養成を目的とし、全国の大学の学生と民間機関の若い研究者に対して開放される。前者に対しては完全な国家給費が望まれる。物性研究所としては1研究チームに2名の研究生を限度と考える。

(5) 共通サービス部門

現在の共通部門の大半はいわば私設のものであり、制度として公けに認められていない。これらを早急に制度化して、要員の上でも強化しなければならない。これは近代的研究所として必須の条件と考える。また、最後になったが、研究者および技術者その他の大学職員の待遇問題は新しい大学づくりを考えるときに忘れてはならない問題と考える。

以上は主要と考える問題の一端に過ぎない。自力で解決できることはとも角として、予算にして人員にしても、自力ではどうしようのない問題が余りに多く、夢多く実り少ない話に終ることをおそれるが、大学が危機に瀕している時であるだけに、大学所属の研究者として、われわれの責任を一層強く感ずるものである。

ら
ば
会

て
一

れ
貢
新

て
と
E

物性研談話会

— 物性研究の現状と将来シリーズ —

(*) 6月23日(月) Application of Random Function Methods to Problems in Equilibrium Statistical Mechanics

Arnold J. F. Siegert

(Northwestern University)

(5) 6月30日(月) 量子光学の特徴と展望

矢 島 達 夫

註：各講演共、場所は物性研A棟2階輪講室

時刻は午後4時より

(*) Application of Random Function Methods to Problems in Equilibrium Statistical Mechanics

Arnold J. F. Siegert

The definition and relevant properties of Gaussian random functions will be stated and explained. The partition function for some systems of interacting particles can be represented as the average of a functional of such random functions. The mean field theories (Weiss, van der Waals) are contained in this representation as a zeroth approximation.

We have used this method to simplify and complete

the expansion of the thermodynamic functions of a system of particles with short range repulsion and weak, long range, integrable attraction, in terms of the inverse range of the attractive potential. We assume all properties of the system with only the short range repulsive interaction to be known and consider this system as a reference system for the purpose of a perturbation expansion. We derive corrections to the van der Waals equation and to the Maxwell (equal area) construction.

(5) 量子光学の特徴と展望

矢 島 達 夫

量子光学とはレーザーを中心とする科学技術の分野を意味する。レーザーはその成立から応用に至る迄物性科学と深い関連をもっており、光と物質の相互作用の新しい側面を開くものである。しかし従来の光物性とは、次のようにかなり異なった性格をもっている。

即ち、(1)光を単に物質を調べる道具に使うのではなく、光と物質を含めた全体系の動的振舞が研究の対象となる。(2)光の強度や偏光のみならずコヒーレンス特性が物性現象にも重要な影響をもつ。そこで光自身の性質も重要な研究課題である。

(3)広範囲の物質(気体、液体、固体を含む)に共通する新しい現象を追求することを主な目的とし、個々の物質はそれを具現するための example として取上げられる場合が多い。(4)光の強度、スペクトル、波形などをかなり自由に多彩な方法で制御できる。これらの実験技術の不断の開発と平行して研究を進めていくことが不可欠である。

ここでは以下の話題について簡単な展望を試みる。

(1) レーザー光散乱

Raman, Brillouin, Rayleigh などの自然散乱は物性全般に渡る有力かつ普遍的な手段として確立され、現在では量子光学からは独立した一つの大きな分野を形成している。今後、更に感度を飛躍的に向上させる方法を開発することが新領域を開くために必要であろう。

(2) 極端波長域のレーザー分光

レーザーの出現は従来実験の困難であった遠赤外領域に新しい道を開いた。しかし普通の吸収スペクトルの測定は従来の分光法でも一応可能であるから、レーザーの使用が必要条件あるいは極めて有利となるような magneto-optics, 励起状態の分光, 非線形現象, パルス分光などが興味の中心となる。極端紫外及び更に短波長域はレーザー自身の実現が今後の重要な課題である。

(3) 非線形光学

量子光学の本命の一つともいえるもので、レーザーによって始めて可能になる多くの新現象をもたらした。今後の興味の中心は次のようなものであろう。

(a) 高次非線形現象

高次非線形分極項や高次多重極による非線形効果、光の自己誘導現象、光によって誘起される相転移など。

(b) 超短パルス光の発生と応用

現在、巾 10^{-13} 秒のパルス光が実現されており、理論的には 10^{-15} 秒まで可能である。これは発生、観測、応用のすべてが非線形現象に関連している。その応用は次の点で重要な意味をもつ。即ち、物質を破壊せずに強い光が当たられる、時間的に極微の現象がみられる、光と物質とのコヒーレントな非線形相互作用をもたらす、“時間分光学”とも呼ぶべき新しい分野をもたらすなどである。

~~~~~  
短期研究会報告  
~~~~~

「金属合金の非晶及び液体状態の物性」

液体金属の研究は実験的にも理論的にも、最近数年の間にめざましい発展をしてきている。

1966年には、液体金属の物性の理解が現在どこまでなされているかを明らかにし、この分野の研究者間の相互作用を更に緊密にすることを目的として、Brookhaven National Lab. で第1回の液体金属国際会議が開かれた。国内でも、液体金属の研究は最近非常に盛んになり、すでにいくつかの興味ある仕事が世界的に認められているし、また非晶状態の金属についての研究もはじめられている。一方、基研を中心とした不規則系の統計力学研究グループのユニークな重要な仕事があり、具体的に液体金属、非晶金属への応用も考えられようとしている。そこでこの際、上記のBrookhaven 国際会議と同様趣旨の研究会を日本においても行なって、この分野の研究の現状分析と将来の研究の展望について討論しようということで、表題の研究会が、昭和43年12月19日、20日の2日間物性研で開かれた。これを契機として実験家と理論家の間、異なる立場あるいは見方で研究しているグループ間の交流を良くして行こうことも目的の一つとして考えられていたこと、第1回の研究会であり、顔合せ的な意味もあったことから、二日間の研究会としては内容が多すぎ、雑多になったきらいはあったが、終始活発な有意義な意見交換がなされ、上記の目的の意味では一応成功であったと思う。なお出席者は、招待者15名を含めて約100名であった。

発表された話題と発表者は、テーマ別に分類すると次のようなものであった。(米印はreview)

(I) Introductory talk

液体金属及び合金の理論的問題点

渡部三雄（東北大理）

実験的立場からみた液体金属合金の諸問題

竹内栄（東北大金研）

(II) 不規則系の理論

不規則系の基礎理論と液体金属

松田博嗣（京大基研）

不規則系の電子状態

米沢富美子（京大基研）

(都合で松原武生(京大理)が代理発表)

Hall 係数の理論

福山秀敏(東大理)

液体金属の光学的性質

渡部三雄(東北大理)

液体アルカリ金属のナイトシフトの温度依存性

松浦満(東北大理)

(III) 液体金属及び合金の structure と ion dynamics

Ashcroft-Lekner モデルによる structure factor 及び自己拡散係数, 圧縮率, 音速の計算

田中実(東北大工)

液体金属の自己拡散と粘性

下地光雄(北大理)

液体金属の圧縮率の理論

長谷川正之(東北大理)

液体金属の中性子非弾性散乱

小幡行雄(原研)

(IV) 液体Hg 及びその合金系の問題

液体Hg の $a(k)$ の subpeak の温度履歴現象

鈴木謙爾(東北大金研)

液体Hg 合金の陽電子消滅

辻和彦, 福島淳一, 速藤裕久(京大理)

液体Hg 合金の熱起電力の圧力効果

武内隆(豊田中研)

(V) 液体合金系の諸問題

液体Bi 合金及び液体Hg 合金のホール係数の異常

塩田一路(東北大金研)

液体Bi 合金のNMR

伊藤文武(東北大金研)

液体遷移金属合金における局在状態

田巻繁(新潟大理)

(VII) 超高圧下における融解現象

物質の融解に対する圧力効果 I

川井直人（阪大基工）

同上 II

藤田英一（阪大基工）

(VIII) 非晶状態の金属及び合金の問題

金属及び合金の非晶状態

田村剛三郎（京大理）

非晶状態におけるNi合金の物性

田村剛三郎、遠藤裕久（京大理）

非晶Biの超伝導

川口尚（九大理）

（世話人の手違いでこの講演は行なわれませんでした。この機会をかりてお詫び致します。）

大学紛争や大学立法反対運動に追われて、時間的にも精神的にも余裕がなく、報告が大変おくれてしまつたこと、また上記の発表内容の詳細についても省略させていただきたいことを御了承下さい。なお、上記の中、オリジナルな仕事はすでに発表されたものが多いと思われますので、御興味をお持ちの方は、発表された方に直接御連絡下さい。

尚、この会で討論された問題に関しては物性研究に近く発表される予定です。

世話人 遠藤裕久（京大理）

渡部三雄（東北大理）

松原武生（京大理）

~~~~~  
短期研究会報告  
~~~~~

磁性化合物の伝導機構

司話人 東大物性研 山下次郎
東北大・理 糟谷忠雄
東北大・理 平原栄治

磁性と伝導の相関については、現在、理論的仕事は一応本質のことがらについての成果は挙げられないと見做されよう。この理論的成果を裏付ける実験的成果は、世界的に眺めても不充分の感じである。殊に磁性化合物に関しての実験的成果は良質の試料の作成に不完全さがあるためか、実験データーが不充分であると考えられる。他方、この分野では理論的モデルの裏付けとなる適當な化合物を新たに実験室で作り出すことも大きな意義がある。最近開発研究されているRCAでのカルコゲナイトスピネルやIBMでのEu・カルコゲナイトはこの新物質、新材料の典型とも考えられる。これら二つの化合物群については、国内でも理論的又は実験的に研究されて、興味ある成果が得られつつある。

本研究会はこれら二群の化合物の問題点を中心にして、その他、この分野での現在興味ある問題点について、6月5、6、7日に亘って開かれた。

磁性化合物の磁性と伝導で問題点になっているものも、そのエネルギー帯構造が明らかになれば飛躍的解明がなされるであろう。この方面の仕事は多分に電子計算機の開発におんぶしている状態であるが、バンド構造について現在どの程度の知見が得られているか、又将来の見透し等について先ず山下次郎氏にお話しをしていただき、更に糟谷忠雄氏に磁性半導体の伝導機構の本質と問題点について、Euカルコゲナイトの持つ物理的意義に触れつつ話していたゞき、午後1.00より始められた研究会の第1日にこの研究会の意義と問題点を充分認識していくこととした。

スピネルカルコゲナイトの問題点はRCAの宮谷和雄氏にこの一群の化合物を多面的に討論する材料を提出していたゞいた。

又、この分野の一部に当然含まれるものとして、不純物伝導の問題があるが、不純物が磁性を持つ場合、従来の磁性のない半導体の不純物伝導に対してその本質に対する情報が如何に多く得られるかを認識する意味で、佐々木亘氏に磁性を持たない半導体の不純物伝導の概観を話していたゞき、次に柳瀬章氏に磁性半導体の不純物の問題点を話していたゞいた。

本研究会でお話し下さった方々のお話の内容の概略を以下列記して参考としたい。

尚、今回、当初の計画では森肇氏、金森順次郎氏のお話しもある予定であったが、大学の事情のため急に出席不可能になったことは残念である。森氏の代りに物性研中島研に来所中の末崎幸生氏にお話ををしていただいた。（平原）

第1日（6月5日） 13.00 より

磁性化合物のバンド構造（100分）

東大・物性研 山下次郎

磁性化合物の電子構造の研究、特にそれをいわゆるバンド理論によって研究することは、その方面で最も困難なものである。現在この研究が非常に遅れているのは理由があることなのである。

磁性化合物は一般に結晶構造が複雑であるので、これも困難さの大きな理由である。しかし、 NaCl 型の化合物も存在するが、そこでも困難なことは存在するのであるから、困難は本質的なものである。

今までにバンド構造の計算が試みられた化合物は、 TiO , VO , MnO , NiO というすべて NaCl 型のものである。その結果によると、 TiO , VO では3dバンドは O^{2-} の2pバンドよりも高い位置にあり、sバンドと混合するためにかなり広い幅をもつ。フェルミ面が存在してconductorであることが予想される。この点で実験と一致しているわけである。これに反して MnO , NiO においては、3dバンドが2pバンドの下に沈んでしまうという結果がでてくる。これは現在の種々の実験事実を解釈する上でかなり都合の悪いバンド構造であるから、計算がまちがった結論を出しているのであろう。その理由はよく知らない。これを救うためいろいろの試みもあるが、その物理的な考え方にはっきりしていない。いずれにしても、バンド理論はpara状態の MnO や NiO は金属であるという結論を出すであろうが、それ以前にすでにエネルギー・レベルの順序を正しく與えないものである。

このような物質は絶縁体であるから、ハイトラー・ロンドンの近似を用いることに割切ってしまえば実験を解釈する上では困ったことはないだろう。しかし、磁性体で電気伝導をもつものについては、バンド的な考え方をすることはできない。 NiAs 型の物質や ReO_3 などの研究はこれから行なわれなければならない。スピネルともなれば、単位格子が複雑すぎるので、問題は非常に困難である。しかし、例えば、 $\text{Cu}(\text{Cr}_2)\text{O}_4$ は絶縁体であるのに、 $\text{Cu}(\text{Cr}_2)\text{S}_4$, $\text{Cu}(\text{Cr}_2)\text{Se}_4$

は何故電気伝導を示すのかという根本的な問題が存在する。今までの考え方は、あまりにもイオンの valence を整数にとりすぎているように思われる（例えば、 Cu^{++} , Cr^{+++} , S^{-} のように）。これで巧く説明出来る事実もあるが、本質的な問題は、イオン間の valence が混る（バンドの言葉でいえば、CuのバンドとSのバンドが overlap して、縮重する）か混らないかにあるように思われるが、その問題はまだ将来の問題である。

磁性半導体の伝導機構（100分）

糟谷忠雄

ここでは特に純粋の磁性半導体の伝導帯に僅かに伝導電子が存在するときの magnetic polaron の性質について話された。

① magnetic ordered state ($T \ll T_N$)

magnetic system を magnon で記述すれば、形式的には phonon polaron の問題と類似する。但し、s-d exchange interaction の一次の項が事情をより複雑にする。強磁性の $T \rightarrow 0$ では spin polarization effect (2次以上) ではなく、screw wave vector Q の増大と共にこの効果は増大する。反強磁性状態では、形式的には acoustic polaron と同じ Hamiltonian で書ける（但し、spin wave の2次迄）。これはよく知られた small polaron を導くが、今の場合は non-linear effect が本質的に重要となる (S_n の大きさ一定の条件)。この non-linear effect は $\langle S_n \rangle$ と電子状態についての self-consistent equation を解くことにより得られ、有限の拡がりを持った spin-polaron state が得られる。

② para-spin-polaron

$T \gtrsim T_N$ の領域では元来 spin wave 近似は使えない。この領域の問題でも（如何に高温でも quasi-bound spin polaron が安定に存在する条件下では） linear theory (通常の帶磁率を使ひ近似) は small polaron を導き、再び non-linear effect が本質的に重要となる。ここでも①と同様な non-linear self consistent equations が解かれる。なおこの様な para-spin-polaron の mobility は現象論的 (q, ω) dependent な spin fluctuation の relaxation time $\tau(q, \omega, T)$ の導入によって求められる。

③ conductive spin-polaron

特に $T \rightarrow T_N$ の領域では上述の様な quasi-bound spin polaron の出来ない条件下での conduction electron も強い spin fluctuation による散乱を受けて、 $T \rightarrow T_N$, p (momentum) $\rightarrow 0$ (バンドの底) で self-energy, 散乱確率 (Born 近似) が発散する。これは大きな領域の spin fluctuation の発生による Born 近似の発散により起るもので、散乱機構をよりきちんと扱う必要がある。ここでは Green 函数による二体 correlation 及び最も簡単な vertex の近似による計算結果が示された、これに關聯して多体 correlation の重要性が指摘された。

第2日(6月6日)10.00 より

カルコゲン・スピネル化合物の伝導と磁性(90分)

RCA基礎研 宮谷和雄

$CuCr_2X_4$ ($X=S, Se$), $CuCr_2X_4$ ($X=S, Se, Te$) 及び $CuCr_2X_{4-x}Y_x$ の磁性と電気的性質について議論が行なわれた。又 一般磁性体の Hall 効果、特に異常 Hall 効果と mobility の解釈のしかたについて新しい意見が提出された。

$CuCr_2Se_4$ の p 型及び n 型半導体の電気的性質は、その carrier の種類に応じて、大きく異なること、特にこれらの臨界散乱の様子は carrier の種類に応じた "s-d 相互作用" に有益な情報を提供するものと考えられる。 $CuCr_2Se_4$ については、既に判明した磁気的性質(磁気モーメント, Neutron, NMR, χ の異常等)及び電気的性質(電気抵抗, Hall 効果, Seebeck 効果, 磁気抵抗等)を考慮すると、その metallic な伝導性は Cu^{2+} 基く itinerant 3d-hole の存在に帰せられることが議論された。又 $CuCr_2Se_{4-x}Br_x$ 系の stoichiometric 近傍 ($x \approx 1$)において、わずかな carrier 濃度の変化に伴い、磁気相互作用の大きさや、電気的性質(電気抵抗及び Hall 効果)が対数的変化を示すことが判明したこと、磁気相互作用と伝導機構との間に強い相関の存在することが報告された。これらが carrier 濃度に強く依存することから、carrier 間の相関相互作用に新らしい情報を提供するものである。他方磁性半導体の伝導現象を説明する多くの model (callen, Haas, Kasuya and Yanase, Friedman 等) は、決して完全なものではなく、これから発展が期待される。又多くの論文で述べられている Hall 効果及び mobility の解釈のしかたは、必ずしも正しくないことが指摘され、Karplus & Luttinger, Smit, Kondo, Abelskii & Irkhin

条件等のいづれも、個々の実験に基いた再検討が必要であることが、多くの例を用いて指摘された。

13.20より

食塩型稀土類化合物の磁性と伝導（50分）

京大・工 植田 邦

稀土類金属と窒素族、酸素族との作る食塩化合物の磁性と伝導を概観した。100余りあるこれらの化合物の格子定数から稀土類金属の価電子状態を推定し、2価状態のイオン結合に近い Sm, Eu, Yb と酸素族の化合物と4価状態にある CeN とを例外として、稀土類金属は+3価状態をとる。そして酸素族の化合物では、分子当たり1ヶの電子を伝導帯に残し、+3価の稀土類元素と-2価の陰イオンとで格子を組んでいるが、窒素族化合物では+3価、-3価と考えるには格子定数が小さく、金属伝導の原因でもある共有結合性の存在を考えなければならない。

これらの物質の磁性は s-f 相互作用に加えて、結晶場の影響が強く加わる。偶数個の 4f 電子を含む化合物では基底状態が一重項であって、そのうち結晶場が磁気相互作用よりも強い場合は磁気秩序が見られず、Van Vleck 常磁性となる (Pr, Tm)。一方磁気相互作用が相対的に強い場合は磁気的秩序を作りうる (Ho, Tb)。奇数個の 4f 電子を含む化合物では結晶場分裂状態の全てが二重以上の縮退を残す磁気的状態があって、全て何らかの磁気的秩序を作る。

一般に格子定数が大きくなるにつれ、強磁性から反強磁性へと移る特徴が見られる。例えば緑化物のほとんどが強磁性であるが、砒化物から先のほとんどは反強磁性である。燐化物では HoP の変った磁気構造に見られるよう、中間状態が存在している。この様に強磁性と反強磁性が競争しているためか、Nd 化合物、Ce 化合物など多くの化合物でメタ磁性的拳動が観測されている。

電気的性質はその化学的性質からの推定のよう Eu, Sm, Yb の酸素族の化合物が、半導体であることを除けば全て金属的である。Pr 化合物や Nd 化合物などで結晶場の影響が電気抵抗で見られているが、Ce 化合物における抵抗の負の温度依存性が何によるのかは今後の問題である。

14.4.0より

($\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$ の磁性と伝導 (50分))

東大・理・物理 松本元

LaMnO_3 は parasitic weak ferromagnet で、そのスピン軸は orthorhombic の b 軸であり、 ferrmomoment を c 軸方向に出す。又絶縁体である。この反強磁性体に、 Ca^{2+} を dope することによって Mn^{4+} が生じる (spin-echo 法 NMR の実験で確かめられた) と、電気伝導は急激によくなり、 $x = 0.3$ では metallic な様相を呈する。一方磁気的振るまいも奇妙で、 x が 0.1 位までは T_N は LaMnO_3 のそれと一致し (141°K)、 Θ_p (常磁性キュリー温度) は徐々に上昇、又 M_s も殆んど一定である。 $x = 0.1$ の付近で Θ_p は大きな変化をして T_N (T_c) と一致し、以後 0.3 まで $T_c \approx \Theta_p$ の関係を保ちつつ上昇し、 M_s も x と共に上昇する。又この系列の相変化温度と Jahn-Teller (Mn^{3+} の) との関連も調べられた。以上の実験事実をもとに重交換相互作用との関連が述べられた。 Kasuya によってその際有益な comments がいくつかなされた。

16.1.0より

磁性化合物の高周波電場内の特性 (50分)

東工大・理・応物 川久保達之

磁性化合物において、伝導電子の共鳴エネルギーが小さくて伝導電子と局在スピンとの間の交換エネルギーと comparable のときには、その伝導性に通常の半導体の低温における不純物伝導と同じような現象が見られる。このような伝導性に対しては静的測定のみではその全貌を捉えにくく、別の攻撃手段として高周波伝導の測定が考えられる。この報告では不純物伝導性をもつと考えられる NiO , VO_2 , TiO_2 についてマイクロ波領域までの伝導度を測定した結果、高周波伝導度は高温では直流の値と一致するが、低温では周波数分散を示すこと、この周波数分散は不純物中心の周辺に捕獲された電子による誘電分散であろうとの見解が述べられた。またこの種の伝導においては電子の drift mobility は捕獲中心に滞在している時間によって左右されると見えるが、ESR の吸収線の幅からこの時間を知ることができるのでないかという提案が、 Ti

を添加した VO_2 の ESR の測定結果を例にとってなされた。討議としては高周波伝導度の温度依存性が説明できない点、また捕獲中心となる不純物イオンをめぐって解釈に疑問がある点などの質疑があった。

1 7.20 より

CoS_2 系の磁性と伝導 (20分)

北大・理 宮台朝直

最近、硫化物磁性体が、電気伝導機構と関連して、磁気研究者の間に興味をよびおこしているが、 CoS_2 もそれらのうちの1つと思われる。 CoS_2 は pyrite (FeS_2)型結晶構造 ($\text{Th}^6-\text{Pa}3$)をもち、金属的伝導 ($\rho \sim 10^{-4} \Omega \text{ cm at RT}$)を示す強磁性体であるが、Gd doped EuS や CuCr_2S_4 などとは若干異なる側面をもっている；後者においては磁気モーメントを担う電子は localize しており、別な電子が電気伝導にあずかると考えられるのに対し、 CoS_2 では、両者の役目を同じ電子が果している可能性があるように見えるからである。

実験事実 pyrite 型の MX_2 の化合物は $\text{M=Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn; X=S, Se, Te}$ についてできる (ZnTe_2 をのぞく)。それらの電気伝導と磁性を Fig. 1 に示す。 CuX_2 は $T_c \approx 2^\circ\text{K}$ の超伝導体になる。伝導性は $S \rightarrow \text{Te}$ の方向に良くなる。

強磁性を示すものは $\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}\text{S}_2$ 系 ($x=0 \sim 0.95$)のみである。 CoS_2 と FeS_2 または NiS_2 の混晶系の磁性からは、 Co^{2+} (low spin state; $s=\frac{1}{2}$) と Ni^{2+} の磁気モーメントは各このイオンに局在していると考えられる。電気伝導は、 FeS_2 と NiS_2 のごく近傍を除いては、金属的である。

Du Pont グループの解釈 上記の主として伝導の機構を説明するために、狭い 3d band を考える。強い結晶場のために t_{2g} -band と e_g -band が split し、 FeS_2 ($\text{Fe}^{2+}; t_{2g}^6$) では下の t_{2g} -band が満たされ、 e_g -band は空なので半導体、Fe を Co でおきかえて電子数を増せば、伝導電子 (e_g -band) の数が増して金属的伝導を示す。band 巾が狭いので、磁気モーメントは localize している。 NiS_2 では Ni^{2+} が $t_{2g}^6 e_g^2$ となり e_g -band が half filled となるので、intraatomic exchange のために、 $e_g \uparrow$ と $e_g \downarrow$ -band が split して再び半導体になる。

問題点 上のモデルについて、狭い band を動くには mobility が大き

過ぎるのではないか (FeS_2 で $\mu_H \approx 230 \text{ cm}^2/\text{Vsec}$) という批判が理論家から出された。この物質の band 計算が望まれる一方、実験的に、比熱などによって状態密度を決められれば非常に有益であろう。また、伝導電子が exchange interaction にどれほど関与しているのか、伝導電子と磁気モーメントを担う電子は同一であるのか、という問題が残されていると思う。

Fig. 1 MX_2 の磁性と伝導性

X \ M	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
S	A F	P c	F	P cw	P c	D
Se	A F	P c	A F	P c	P c	D
Te	A F	P c	P c		P c	

磁性 : F=強磁性, A F=反強磁性, P cw=キュリー・ワイス常磁性

P c=一定常磁性, D=反磁性

伝導性 : [] =半導体 [] =一定の抵抗, [] =金属

[] =超伝導体

文 献

T. A. Bither, R. J. Bouchard, W. H. Cloud, P. C. Donohue and W. J.

Siemons; Inorg. Chem. 7 (1968) 2208

H. S. Jarrett, W. H. Cloud, R. J. Bouchard, S. R. Butler, C. G. Frederick and J. L. Gillson; Phys. Rev. Letters 21 (1968) 617

K. Adachi, K. Sato and M. Takeda; J. Phys. Soc. (Japan) 26 (1969) 631

T. Miyadai, S. Miyahara and T. Teranishi; Phys. Letters 27A (1968) 434

18.00より

磁性合金における電気抵抗の異常（20分）

（コメント）

京大・工 中村陽二

合金の電気抵抗は一般に温度と共に上昇し、磁性合金もその例外ではない。ところがいくつかの特別な場合には、かなりの広い温度範囲にわたって磁性合金の電気抵抗が温度と共に減少することがある。

その一つは Cu-Mn, Ag-Mn, Au-Cr, Au-V 及び Au-Fe などの貴金属と局在モーメントを持っていると考えられる 3d 遷移金属の高濃度の合金の場合で、phonon の寄与を純貴金属のそれに等しいとして観測値から引き去った電気抵抗の対数をとり、3d 遷移金属の濃度で割ると数百度にわたって各組成の抵抗一温度曲線は直線且平行で、一種の Kondo 効果によると解釈される。

もう一つの場合は、U-Mo などに見られる電気抵抗の減少で、フェルミ一面での状態密度が高く且つそのエネルギー微分が大きな値を持つとき、f 又は d 電子が温度の上昇と共に conduction band に落ちこむため電気抵抗が下るとする Blatt の考え方で説明される。Ce-P, Ce-As, Ce-Sb, Ce-Bi などの磁性化合物や Pu などで見られる広い温度範囲にわたる温度の上昇に伴う電気抵抗の減少はこの理由によるものかも知れない。

最後にインペール型強磁性 Fe, Ni, Mn 合金にみられる電気抵抗の減少で、これは Curie 点以下において induce される magnetic moment による磁気散乱によるものと考えられる。

（第3日 6月7日） 10.00より

h

半導体の不純物伝導の研究（50分）

東大・理・物理 佐々木 亘

このテーマがこの研究会で与えられた理由の一つは、恐らく、多量の不純物を含む半導体がヘリウム温度域で示す負の磁気抵抗効果が、磁性合金や化合物に見られる同様の効果との関連に興味を持たれていることにあると察せられる。ところで、半導体にあっては、負の磁気抵抗と磁性との間に、合金に見られるような対応が認められない。加えて、半導体の示す磁性については、不純物濃

度のごく低い場合を除き、未だ理解に達していない事実が多くある。例えば静帯磁率の温度変化をLPPの理論で理解しようとすると、定性的にはよく説明できるが、定量的には説明ができない。AC帯磁率の濃度依存性は、静帯磁率のそれに比して複雑である。

このような問題があるということを理解して頂くために、主としてSiを例にとって、その磁気的性質を不純物の含量の低い場合——即ち不純物を水素原子で置換えることによってよく理解される場合——から、多くの問題を含む高濃度の場合まで概観してみた。

11.00より

Euカルコゲナイトの磁性と不純物伝導(40分)

柳瀬 章

EuカルコゲナイトにGd, La等の3価の稀土類イオンを添加した時にできる、magnetic impurity stateの性質から、この物質の示す、磁性の異常性、不純物伝導にみられる、Hopping→Metallicの転移を説明する理論の概略を報告した。^{1) - 2)}

今迄我々の使ってきた方法は、magnetic impurity stateのまわりにできる、short range orderの問題を扱うのには適当でない点があった。

今回の報告では、この問題を扱う適当な方法を述べ、それを用いて、T_cより高温での、mag. imp. stateによる比熱、磁気散乱、それによる電気抵抗等を議論した。特に1%程度のGdを含むEuSでは、中性子の散乱の実験で mag. imp. stateのまわりに発達した、巨大スピニクラスターが充分に観測されることを指摘した。

1) J. Phys. Soc. Japan. 25, 1025 (1968), A. Yanase,

T. Kasuya.

2) Rev. mod. Phys. 40, 684 (1968), T. Kasuya, A. Yanase.

12.00 より

磁性体の伝導の臨界現象（30分）

東大・物性研　末崎幸生
 （九大・理・物理）

反強磁性金属（A. F.）のネール点近傍の電気抵抗の異常を通じて、磁性金属の臨界現象の一侧面を捉えることを試みる。考える系は局在スピニン系と自由電子系がs-d相互作用で結合しているとする。電子はスピニンにより散乱され従って抵抗にスピニン系の振舞が反映される。抵抗の温度微分の表式は結局次で表わせる。

$$(1) \quad -\frac{d\rho}{dT} = A \sum_{\mathbf{k}} \sum_{\mathbf{q}} (K_z + q_z)^2 \delta(\omega_{\mathbf{k}} - \omega_{\mathbf{k}+\mathbf{q}}) \left[-\frac{\partial f_{\mathbf{k}}}{\partial T} \right] \frac{d}{dT} (\vec{S}_{\mathbf{k}+\mathbf{q}})$$

$$\vec{S}_{\mathbf{k}+\mathbf{q}}$$

強磁性では $\vec{K}=0$ で波数 \vec{q} の大きい所での異常が $\frac{d\rho}{dT}$ を支配し $d\rho/dT \propto \log|T-T_C|$ の発散を示すが、A. F. では $|\vec{K}|$ は有限で $|K_z| \gg \xi^{-1}$ (ξ : 相関距離) では $|\vec{q}|$ の小さい領域からのみで(1)の発散項を取り出せることが示せる。この温度依存性を調べるために静的スケーリング仮説（S. S. H.）を採用するためこの説明を簡単にする。相転移の Landau の現象論が決定的に破綻した今日、一つの試みとして S. S. H. が Widom 等によって提唱された。⁽⁴⁾⁽⁵⁾ 要は転移点近傍ではゆらぎの相関距離 ξ が温度の関数として定まり、臨界現象は全てこの ξ のみで表現できると仮定する。言い換えると、臨界振動を記述する距離 r の関数は ξ がその長さの唯一のスケールであることを主張する。さらに相関関数は r と ξ のある同次関数で書けると仮定する。種々の相転移の各の異常は系に依存するが相互関係に統一性が観られ、この統一性の面を強調したのが S. S. H. と言えよう。 r の関数は波数空間で議論しても同値だから、例えば(1)の $(\vec{S}_{\mathbf{k}+\mathbf{q}}, \vec{S}_{\mathbf{k}+\mathbf{q}}^*)$ は古典論では $[q^2 + C|T-T_N|]^{-1}$ に比例するが、S. S. H. ではこれを拡張して $(\vec{S}_{\mathbf{k}+\mathbf{q}}, \vec{S}_{\mathbf{k}+\mathbf{q}}^*) = \varepsilon^{-r_f(q\xi)} \quad (\varepsilon = |T-T_N|/T_N)$ とする。従って $\frac{d}{dT} (\vec{S}_{\mathbf{k}+\mathbf{q}}, \vec{S}_{\mathbf{k}+\mathbf{q}}^*) = \varepsilon^{-r_f(q\xi)} g \pm (q\xi)$ となり、結局臨界散乱による $d\rho/dT$ は $(T-T_N)^{-1/3}$ に比例して発散する結果を得る。⁽⁶⁾ 電子の $m_f \cdot p \ll \xi$ となる程転移点の極く近傍では電子のスペクトルにゆらぎが影響を及ぼす事が予想され、この事情を明らかにする事は今後の課題であり現在研究中である。紙面の都合により舌足らずな報告に終ったことをおわびします。

参考文献

- (1) Ya. A. Kraftmakher, Soviet Phys. --- Solid State 8 1048, ('66)
- (2) I. Mannari, Phys. Lett. 26A 134 ('68)
- (3) M. E. Fisher & J. S. Langer, Phys. Rev. Lett. 20 1344 ('67)
- (4) L. P. Kadanoff et al. Rev. Mod. Phys. 39 395 ('67)
- (5) B. I. Halperin & P. C. Hohenberg. Phys. Rev. 177 952 ('69)
- (6) Y. Suezaki & H. Mori Prog. Theor. Phys. to be published.

13.4.0 より

ランダム格子および狭いバンドにおける
電子の局在化についてのコメント(30分)

京大理 松原武生

話をmetallic conductionに限り、電子がconductiveな状態とlocalizeした状態の何れをとるかについての判定条件についてコメントした。

局在化の原因には

- (1) 電子に対するポテンシャルのランダム分布
- (2) 電子間の強い相関相互作用

の二つがある。この二つの原因から来る局在化の理論的取扱いに互に似通ったところのあることを指摘した。

講義を四段階に分ける。

I Percolation problem

II Anderson の局在化の条件

III Green's function の locator 展開

IV Hubbard 理論と locator 展開の関係

Iでは古典粒子がランダム・ポテンシャルに捕えられて局在する条件を確率論の定理を用いて扱う方法を紹介。

IIではAndersonの簡単なモデルについて、電子の自己エネルギーを表わす級数の収束性と局在化を結びつけた議論を述べた。

ⅢではⅡの問題をグリーン関数を使って考えるときの種々の近似を紹介し、一番よい結果を与えるな locator 展開にふれた。

N, Ⅲの locator 展開と電子相関効果を考慮したHubbard 理論との形式的類似性を強調し相関による局在化とランダムポテンシャルによる局在化の相互関係についてコメントした。

16.00より

V, Ti 酸化物の伝導現象(30分)

京大理 可知祐次

Morinによって発見された、VO, V₂O₃, VO₂などのMetal-Insulator phase transitionについて現在までの実験的研究を概観し、少なくともVOについてはその存在が疑わしいことを述べた。これらの相転移の理論的説明としてGoodenoughのPairing model,これを稍定量化したAdlerらのcrystalline distortion theory, electronのcorrelationを重要なfactorとするHyland, Huddardらの考え方があることを紹介した。以上の諸説は磁気的データーの説明にはかなり有力であるが、輸送現象の実験データーの欠如により定着したものになっていない。つぎに、V₂O₃-V₂O₄, Ti₂O₃-TiO₂間にはM_nO_{2n-1},またV₂O₄-V₂O₅間にはV_nO_{2n+1}で表示されるMagnéli phaseがあるが、これらはいずれも長周期構造を有すること、またこれらの単結晶についての測定の結果からVO, V₂O₃, VO₂と同様のMetal-Insulator transitionのあることを解認した。電気抵抗には2乃至3桁の飛びがある。これらはすべて一括して説明されるべきものであると考える。

EuS の単結晶製作(15分)

NHK基礎研 中山忠久

本年2月の短期研究会で、同じような表題で発表したので、製法の細かい点は省略する。その後、製法には変りないが、出来た結晶の性質を調べた上で、多少問題点があったので、この点を加えて発表する。

成長法は昇華再結晶化法と高温溶融ブリッヂマン法とを用い、前者で数mm平方の薄い(約1μ)薄膜状のもの、後者で、数gr(10mmØ×約20mm)の単結晶が得られた。

今回は主として、前者に話を絞る。

昇華法で出来る薄膜状単結晶の多くは(001)の晶癖を有し、X線顕微回折法で調べた範囲では歪が全く検出されない。一方、この単結晶は劈開しやすく、また可視領域の吸収係数が大きいといふ面で、as grownで薄い結晶が出来る。本法は光学的性質を調べる試料を得るのに好都合である。しかし光吸収測定には、少なくとも現状の2~3倍の面積があることが望ましい。現状のsizeの単結晶で室温における、光吸収を350~1000m μ の波長領域で測定したが、これは蒸着膜すでに発表されているものと全く一致している。一方この単結晶の比抵抗は0.1~1.0Ωcmと非常に低く、これは結晶作成の際に用いたカーボンるつぼに原因がある。この低比抵抗の単結晶の光電導スペクトルを室温及び1iq. N₂温度で測定した。この結果、光電導は磁気励起子吸収に対応した領域にあり、スペクトルに構造が見られる。

現在、比抵抗の高い単結晶を作成し、更に実験を進めている。

他方高圧高温溶融プリッヂマン法により出来た単結晶は、前記のようなsizeで引き下げ方向の軸は大体(111)で、これは(001)で劈開することができる。

この単結晶を作るのに金属製るつぼを用いると、3桁以上抵抗が高くなる。この単結晶は適当なsizeで切り出せるので磁気や電導の性質を調べるのに都合がよい。

EuTe 薄膜単結晶の作成(15分)

東北大・理・物理 平原栄治

Euのカルコゲナイトに磁性半導体として最近注目されているが、反強磁性EuTeの光学的及び磁気共鳴の実験の目的で、この薄膜単結晶の作成を吾々の研究室で行なった。方法は別途に作製した粉末EuTeを加圧し、ペイスト型にして、10⁻⁵mm Hg真空中で蒸着させる方法である。蒸着下地としてはNaCl, KC1, CaF₂等の単結晶面が種々試みられ、現在は主としてNaCl単結晶が用いられている。NaClの(100), (110)及び(111)面を切り出してこれを下地とし大体540℃の温度に保って蒸着させると最も成績が良い。生成された蒸着膜は反射電子回折法で解析して单一結晶であること及び格子常数もバルクのEuTeに一致することが示された。膜の厚さは蒸着量によって加減出来るが、現在は2000Å程度のものである。この試料は光吸収及び磁気共鳴の実験に使用されるのみならず、伝導又は一寸工夫をすれば磁気測定にも使用される。

高純度金属の作成（20分）

東北大学金属材料研究所 矢島聖使

元素名	Y	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
原子番号	39	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71

Pmは天然には存在しない。○印以外は酸化物をフッ化物に転換した後、Ta容器中でCa還元して作る。○印はCaによっては RF_2 までしか還元が進まないので、ミッショメタルにより酸化物を直接還元して、蒸留して分離する。このようにして作った金属の純度は約98%で、主な不純物はTa, Ca, C, O, H, N, Fである。これを99.9%以上の高純度材料にするためには、市販Caの再蒸留, RF_3 中の ROF の除去、粗製金属の融点付近における加熱処理による不純物除去、融解物の徐冷によるTaの析出除去など種々の技術を必要とする。

~~~~~  
短期研究会報告  
~~~~~

特殊な構造をもつ合金などの構造解析と物性

小川四郎・岩崎 博

合金固溶体や金属間化合物の結晶構造をそれらの物性との関連において明らかにすることは、基礎的にも重要であり、応用的にも工業用材料の研究上重要である。これらの中には、構造のかなり複雑なものがあり、X線回折、電子線回折、中性子線回折、電子顕微鏡法等を用いて研究するのであるが、通常の正統的構造解析によって行なう他に実験的にも解析的にも、そのような慣用手段によらない場合もある。最近、規則格子合金の構造、マルテンサイト変態機構と積層構造、複雑な金属間化合物の構造等の研究が我国において盛んに行なわれつつあり、それらの研究手段はルーチンでない方法による場合が多い。この際、全国の関係研究者をつらねて研究会を開き、討論を行なうことが適切な時機であると考えて、本研究会を計画した。

プログラムは次のとおりであった。

物性研短期研究会プログラム

「特殊な構造をもつ合金などの構造解析と物性」

昭和44年6月13日(金)、14日(土)の2日間

第1日 A.M 10:00～

(座長 紀本和男 大教養)

○長周期規則格子構造の精密解析

東北大金研 岩崎 博

岡村清人

小川四郎

○AuCu₃に見られた線状散漫散乱の解析

原 研 土井 健治

正木典夫

○Ni₄Mo合金の短範囲規則から長範囲規則への遷移

阪大工 佐分利敏雄

小松公正
稔野宗次

(座長 渡辺伝次郎 東北大理)

- 長周期積層構造とその相転移

東北大金研 平林 真

- Laves 相の多形

広島大・理 小村幸友

(座長 長倉繁磨 東工大工)

- TiO 相の規則構造

東北大・理 渡辺伝次郎
寺崎治

- Ti_nO_{2n-1} の結晶構造

東北大・理 寺崎治
渡辺伝次郎

第2日 A.M 10.00 ~

(座長 小村幸友 広島大理)

- Al-Cu, Cu-Be 合金におけるG.P. 層の構造

(電子線散漫散乱による構造決定) 京大理 岡部俊夫
長谷部勝彦
万波通彦

- Stacking Disorder に基づくX線散乱

— モデルとつながりの表 —

阪市大・理 柿木二郎

- NiTi マルテンサイトの積層構造について

阪市大・理 永沢耿
柿木二郎

(座長 清水謙一 阪大産研)

- マルテンサイト変態に伴う積層不整

金材技研 梶原節夫

- β -CuZn 合金のペーナイト変態

北大工 武沢和義
佐藤進一

(座長 寺本 清 阪府大教養)

○合金の長周期構造の理論

東北大金研 立木 昌

○貴金属—遷移金属合金における原子配列, とくに Cu-Pd 系の長周期構造の成因について

名大工 安達健五

2日間, およそ40名の参加者によってきわめて熱心な討論が行なわれた。この研究会の特徴は各講演後の討論時間を充分にとったことにあり, 学会では味わえないような, 余裕ある雰囲気にひたることができた。

第1日の午前中は三つの規則格子関係の講演が行なわれた。岩崎, 岡村, 小川は長周期規則格子合金において一般的に存在する周期的原子変位の精密測定を CuAu II, Au_3Cd , $Cu_3Pd(\alpha'')$ について行なった。得られた結果を要約すると,

- (1) これらの合金において多くの原子は $L1_0$ 型あるいは $L1_2$ 型の基本格子点から一定の方向に周期的な変位をした位置を占めている。変位の大きさは合金によって差があるが, ほぼ最隣接原子間距離の 3-1% の程度である。
- (2) CuAu II では逆位相境界近傍の原子席で両成分原子による著しい混合占有が生じている。 $Cu_3Pd(\alpha'')$ でも同様の傾向が認められる。

なお, 周期的原子変位の成因について, Fermi 面と Brillouin 帯境界との相関を論じた里 - Toth の考え方を援用して, 上記3種の合金の場合に定性的説明を与えた。

つぎに土井, 正木は $AuCu_3$ 単結晶の線状散漫散乱について報告した。この合金単結晶を 900°C で真空焼鈍した後, 約 20 時間かかって室温まで徐冷したとき, 各規則格子斑点のまわりに十字形の線状散漫散乱が観測された。このような散漫散乱は定性的には Wilson の模型によって説明される。彼らは散漫散乱の強度分布から統計的中心対称性を仮定して, 散漫散乱の振巾分布を導びきその Fourier 変換をつくることにより, 規則度を求めた。

佐分利, 小松, 稔野は Ni_4Mo 合金の規則格子構造を電解研磨により作成した合金について, 電子回折および電子顕微鏡法により研究した。不規則状態から焼入れた試料の電子回折模様には弱い散漫散乱が現われ, その位置は規則格子反射の位置には一致しない。800°C で焼鈍した試料からの電子回折模様には前述の散漫散乱と長範囲規則格子反射とが共存する。このような観察から彼らは短範囲規則状態について論じた。

午後の前半には, 長周期積層構造に関する講演が二つ行なわれた。平林は金属元素, 金属間化合物等に現われる長周期積層構造を概観し, 次に $Au-Cd$ 合金についての研究結果を報告した。こ

の合金では Cd 25% - 35% の組成範囲において長周期積層構造が現われ、Cd 濃度の増加に伴って立方型積層構造から六方型積層構造へと移り変わることが解った。又この合金では六方晶の底面内に長周期を持ついわゆる六方二次元長周期構造が形成され、その長周期と価電子数との関係は Fermi 面と Brillouin 帯境界との相関に基づいて説明できる。

次いで小村は Laves 相の多形について報告した。Laves 相には MgCu₂ 型、MgZn₂ 型、及び MgNi₂ 型の 3 種類があるが、それらの結晶構造は 6 種類の基本層の積み重ねとして記述することができる。Laves 相は原子半径の異なる球の密なつめ合わせと見なせるから、size 因子化合物ということができる。しかし構造を決定するのは size のみではなく、一原子当りの電子数すなわち e/a も又重要な役割りをはたしている。MgZn₂ - x% MgCu₂、MgZn₂ - x% MgAg₂ 系において $e/a = 2.00 - 1.90$ のごく狭い範囲に数種類の新しい積層多形、すなわち 8 層構造、9 層構造、10 層構造等が存在することを見出した。又 X 線反射強度の大きい適当な逆格子点を選んで Brillouin 帯を作つてみると、 e/a とそれらの Brillouin 帯の間には密接な関係があり、 e/a が変化するにつれて構造が変化することがよく理解できる。

午後の後半には渡辺、寺崎による酸化チタンの構造についての二つの報告があった。最初のものは TiO 相の規則構造に関するものである。この相ではかなり広い範囲にわたつて固溶体が存在し、かなり多数の空孔が Ti 原子位置及び O 原子位置に存在するのが特徴である。TiO_{1.0} の規則格子構造は単斜晶系でその単位胞中に 12 個の Ti と 12 個の O とがふくまれているが、その中で 2 個の Ti と 2 個の O が規則的に抜けている。TiO_{1.25} の規則格子は正方晶系で単位胞中に 10 個の Ti と 10 個の O を含むが、その内 2 個の Ti が抜けている。Ti 格子に着目すると丁度 Ni₄M_o 型構造になっている。次に Ti_nO_{2n-1} の結晶構造に関する報告があった。この構造は Magnéli 相と呼ばれるもので、彼等はその結晶構造と microstructure を調べる目的で $n = 8$ に対応するものを中心にして電子顕微鏡観察を行なつた。Ti₈O₁₅ においては (121)r の約 8 倍の周期の構造が観測され Andersson の model を支持した。 n が非整数の組成では、それをはさむ最も近い二つの整数の組成がまじりあつてゐる。多くの場合互いに双晶の関係にある小さな band からなり、少なくとも 3 種類の双晶がある。

第 2 日の午前には G. P. 層の構造に関する一つの講演と積層構造による X 線散乱に関する二つの講演が行なわれた。岡部、長谷部、万波は Al-Cu、Cu-Be 合金の板状の G. P. 層の構造を電子線散漫散乱を用いて決定する報告を行なつた。電子回折で構造決定を行なう際には動力学的理論を適用せねばならない。彼等は高木の温度散漫散乱の理論を格子欠陥による散漫散乱現象に拡張し、適当な近似のもとで構造決定を行なつた。

次いで柿木は積層不整に基づく X 線散乱の解釈について詳しい講演を行なつた。基本的な原子配

列と層のつながりの確率を与える回折強度が求められる一般式を示し、これを用いて積層不整を解析する手順について説明した。積層不整を含む結晶の例として Cu₃Al 合金をあげ、電子回折写真における強度分布を基にして解析を行ない、この合金では 9 R 型構造を標準構造とした積層不整が存在することを明らかにした。また週期が同じで、積層順序の異なる二つの構造が混在する場合、二つの構造のつながり方の如何によって回折強度分布に差異の現われることを示し、このような場合の解析には特別な注意を払う必要があることを明らかにした。

次に永沢、柿木は NiTi マルテンサイトにおける積層不整について、上記の方法を応用して解析を試み、4 H 型構造を標準とする構造において、2 種の積層不整が存在すると仮定することによって実験結果を説明できることを示した。

午後の前半には、マルテンサイト変態とペーナイト変態に関する二つの講演が行なわれた。梶原は Cu-Al 合金のマルテンサイト変態に伴なう積層不整について研究した。 β 相を急冷するとマルテンサイト変態をおこし、組成によって γ' 相または β' 相を生ずる。これらは規則格子を無視すれば、それぞれ h. c. p. 構造および長周期積層構造(9 R)をもつ。 β' マルテンサイトの構造は塊状試料と薄膜試料では異なる。 β' マルテンサイト中には非常に多くの積層欠陥が含まれており、このため電子回折斑点がかなり shift したり、diffuse になったりしている。解析の結果、塊状試料の場合には六方形の積層欠陥が主であるが、薄膜試料の場合は立方型の積層欠陥が増大する傾向がある。

次いで武沢、佐藤は 40% Zn を含む CuZn 合金におけるペーナイト変態について報告した。高温より急冷後、180°C-260°C で変態させたが、塊状の状態で変態させた場合と、薄膜にした後、電顕内で変態させた場合とがある。後者の方法によると、薄板状のペーナイト結晶の構造はマルテンサイトの場合と同じく 9 R 型の稠密構造である。この結晶は加熱時間とともに大きさと厚みを増す。そして薄膜の方針によってペーナイト板の生成され方が異なる。塊状の状態で変態させた場合にもほぼ同様である。

午後の後半には二つの理論研究が発表された。立木は長周期規則格子合金の成因に関する理論をもっぱら CuAu について述べた。里一 Toth は Fermi 面と Brillouin 帯境界との関連に基づいて定性的な説明を試みたが、立木はこの考え方沿い、正統的な理論的計算を行なった。Fermi 面が 110 方向に平で、energy gap 面がこの Fermi 面と広い範囲で近接することが必要であるが、Cu の band を用いて長周期規則構造の energy を計算した結果、実現している週期の構造がもっとも安定になっていることがわかった。A₃B 型の長周期構造の場合は、一般に A と B とは原子価が異なるから、CuAu と同じような取扱いは許されないことを示した。長周期積層構造に関する里一 Toth の考え方や Hodges の議論は実現している構造と伝導電子の数との

関係をある程度説明することはできるが、ある合金が接近した energy をもつ多くの積層構造の中のどの構造をとるかについては何も説明できない。立木はこの点を説明することが、今後に残された長週期積層構造の理論的研究の課題であることを示した。

安達は Cu, Ag, Au のような金属と, Ni, Pd, Pt のような遷移金属の間の 9 組の合金をとりあげ、それらの状態図と原子配列が多種多様であることを size 効果、偏極効果、単純な電子論的考察等の観点から現象論としての説明を試みた。さらに原子対相互作用の立場に立って上記合金中に現われる長週期規則配列の安定性について論じ、未解決ないくつかの問題を提起した。また Cu-Pd 系の長週期構造の band 理論について述べた。絶対零度における周期と組成の関係を調べるために、すでに計算された Cu および Cu_3Au の energy band を基にして Cu-Pd 系の Fermi 面を作成した。これから長週期構造の安定化が推論されるが、一次元の長週期が安定か、二次元のそれが安定かを知るにはさらに詳しい Fermi 面の形状の吟味が必要であると結論した。

以上で研究会の報告を終るが、とくに感じられたことは、規則格子、マルテンサイト構造、金属間化合物等の研究を通じて実験事実の整理から、さらに進んで電子論的説明を試みる傾向が目立ちまた純理論的研究でも進んで実験事実の解釈を行なおうとする機運がもり上つてゐることである。

なお、本研究会の予稿集が若干残っておりますから、御希望の方は、小川までお申し出下されば、お送りします。

~~~~~  
短期研究会報告  
~~~~~

加速器による物性研究

豊沢 豊
石川 義和
大野 和郎

最近、物性研究の中で大型施設が必要と考えられるものがいくつか考えられて来ている。その中の典型的な例は原子炉と加速器であるが、この研究会ではとくに加速器が必要と考えられているシンクロトロン軌道輻射、中性子散乱、オンビーム核物性の諸分野が、物性研究にとってどのような意義があるかを議論した。これは、これらの研究に必要な物性専用の加速器の建設や、またそれを中心とした研究体制をつくるためには、まずその研究の物理学上の問題点の討議から始められなければならないという考えに基づいて企画されたものである。

研究会は6月20日、物性研で開催され、ほゞ60名の参加者があった。プログラムは下記の通りである。

1. シンクロトロン軌道輻射関係

- S O R による固体分光学 佐川 敬 (東北大)
- S O R による気体分光学 中村正年 (教育大)
- 海外状勢 主として storage ring について 佐々木 泰三 (東大)
- 理論家として何を期待するか 森田 章 (東北大)

2. 中性子散乱関係

- 加速器による中性子分光学 石川 義和 (物性研)
- 国内外における中性子源とそれによる研究 木村一治 (東北大)
- 加速器による分子分光学 飯泉 仁 (原研)
- 1 eV 近傍の中性子分光学 山田 安定 (阪大)

3. オンビーム核物性関係

- 加速器による核と物性の中間領域の研究 大野 和郎 (物性研)
- チャンネリングによる核反応機構の研究 藤本文範 (東大)
- メシックアトムについて 森田 正人 (阪大)

- パルス電子線による電子正孔捕獲中心
- オンビーム化学

上田正康 (東北大)
吉原賢二 (東北大)

総括して研究会を眺めてみると、1日で3つの全く独立した分野の討議をしたため、時間が足らなくて、個々の問題についての印象が多少散漫になってしまったが、将来計画が前進するための一歩にはなったものと信ずる。

以下に各3分野について主として世話を人がまとめた概説を記した。

1 シンクロトロン軌道放射

シンクロトロン軌道放射(SOR)に関しては、まず佐川氏が、新光源としてのSORの特長を解説した後、それを利用した固体物性研究の現状を紹介した。シンクロトロン中の電子から出される軌道放射は、通常軟X線域にピークを持ち、紫外から可視・赤外にまでも長く尾を引く連続スペクトルであって、しかも軟X線域の各波長での強度が従来の線スペクトル光源と同程度という強力なものであり、更に平行性、偏光性、真空度など多くのすぐれた特長をかねそなえ、分光学的研究にとり劃期的な光源である。強度のスペクトル分布、方向分布、偏光性、電子エネルギーへの依存性など、すべてがSchwingerの理論と合致することからもわかるように、素性のはっきりした光源であって、黒体放射にも匹敵する標準光源となり得るであろう。これを利用した固体の分光学的研究としては、多くの絶縁体及び金属結晶で、軟X線域での吸収・反射スペクトルが測られ、バンド構造、励起子構造、電子・正孔の交換相互作用、二電子励起、プラズマ、フェルミ面附近での異常性など、一電子問題から多電子効果に至る種々の段階で多くの知見と新しい問題とを提供している。これらに関し、わが国のINSSORグループ(核研シンクロトロンのSORを利用して実験するため結成されたグループ)が果した先駆的役割は大きい。偏光を利用した研究としてはCdSのスペクトルの異方性、Alでのプラズマの研究(斜入射偏光による)などがある。BeのK吸収端、CaのM_{II}、M_{III}吸収のように、SORで測定された連続吸収スペクトルが、従来多線スペクトルによるデーターを推定でつないでいたものを著しく様相が異っているものも多い。又d-stateでの遠心力に由来する吸収のdelayed onsetや、連続スペクトルと離散スペクトルの共鳴に由来するFano効果など、極めて多様なスペクトルがあらわれる。今後の発展方向としては色々考えられるが、何よりもまず、光源の安定性、マシンタイムなどの点で、加速器IC storage ring (St. R)をとりつけることが緊要である。又光電子放出スペクトルを測定する計画も国内にあり、これは内殻準位の絶対位置や化合結合の状

況などに関する知見を与えるだけでなく、Auger過程や二電子励起のより直接的研究手段として多くの期待がかけられる。

次に中村氏は、SORによる気体の分光学的研究の現状を紹介した。これには、地球上層の大気で、太陽光によりどのような電離現象が起っているかを実験室でしらべるという意味もある。従来よりも高いエネルギー領域での分光学的研究が可能になった結果、種々のタイプの励起状態を対象とすることができます。たとえば、連続的なイオン化準位に重なってあらわれる離散的遷移のスペクトルが、自動的電離に由来する特有の形状をもつ(Fano効果)ことが、多くの原子・分子で見出された。このような離散スペクトルとしては、内殻電子の励起によるものや、二電子励起によるものなど、種々の場合があり、新しいリドベルグ系列が続々と見出されている。分子の場合は、イオン化準位より低い連続準位として原子間解離準位があり、事情は一層複雑であるが、広い波長域でのスペクトルから、化合結合に関する重要な知見も得られている。分子を無限に大きくした極限として固体を考えるなら、固体スペクトルと気体スペクトルとの比較から、固体内部の原子間の結合状態に関する知見——これはバンド構造の一侧面でもあるが——が得られるものと期待されるが、原子又は分子スペクトル自体に、未だ解明されなければならない問題が山積している。気体吸収の実験を行なっているのは、現在、米国のNBSと日本のINSSORだけであるが、加速器の性能上、後者はより短波長領域(100 Å前後)で偉力を発揮している。今後の計画としては、光電子放出や、励起状態からの螢光及び吸収スペクトルを観測すること、又SORが強力なことを利用し、高圧下で禁止遷移を観測することなどを考えている。

佐々木氏は、主として国外でのSOR分光学の進展状況に関する種々のデータ——各地の装置とその性能、所属する研究グループとその研究対象、技術的及び学術的論文数の消長など——を示しながら、国内での研究体制も含めて、興味深い比較を行なった。現在電子シンクロトロン(E.S.)やSt.R.を備えて研究を進めているグループは世界に数多くあるが、その中米国のCornell大学は、SOR光源の特性に関するSchwingerの理論を確認することを目的としてきた。分光学的研究の草わけは米国のNBS(1961年)であり、特に気体分光学ではめざましい成果をあげた。最近、移転のため一時休店していたが、近々復活し、今度は固体もやる予定である。ソビエトのノボシビルスクには、E.S.とSt.R.とがあるが、宇宙物理とプラズマ関係が主であって固体分光はやっていない。西独ハンブルグにあるDESYでは、固体分光に重点をおき、立ち上りはINSSORより後れたが、初めから光電測光を手がけていたこともあって、最近着々とすぐれたデータを出しており、更にSt.R.も近く完成する予定である。米国の中西部大学連合ということで出発したMURAのSt.R.は、さまざまな曲折を経て最近動き出したが、これは、磁場・ストレスなど外場の下での分光学も含んだ広汎な固体物性研究計画として強力なものになるだろう。(

その他多数についてはここでは省略する。) 日本の INSSOR は立ち上りは早く、特に固体に関しては先駆的なデータを多く出して注目されたが、定性的な写真法から定量的な光電測光へ切りかえたのは最近であり、又 S t. R. については未だ建設予算すら認められていない。又研究体制ももっと定常的な姿にもっていく必要がある。

最後に森田氏が、理論家としての立場から、幾つかの話題と、実験家に対する期待とをのべた。一つは、金属の軟X線吸収及び放射スペクトルの threshold anomaly の問題で、最近内外の理論家の注目を集めているものである。Fermi 面附近の伝導帯電子が、内殻準位の正孔によって散乱される効果と、同じ相互作用による正孔準位の抜けとのせり合いによって、Fermi 面に相当するスペクトル端が、鋭くもち上ったり、逆にけづりとられたりする。一種の多電子効果であるが、理論と実験との一致をしらべるには、従来の実験データの分解能にも問題があり、定量的な測定が望まれる。第二は、一般的の固体の軟X線又は紫外吸収スペクトルで、吸収端がら高エネルギー側へかなりはなれた所にあらわれる種々の構造の起源に関する問題である。昔の Kronig 理論の対象となったスペクトル構造は、最近の S O R による測定(たとえば Ni)では跡かたもなくなっており、とにかく信頼できる定量的データを蓄積する必要がある。一方、Si , Ge などでは、吸収端から 25 eV 位まで、pseudopotential によるバンド計算の結果と一応よく合うスペクトルが得られてはいるが、実験的には surface contamination の問題があるようである。又、アルカリハライドの軟X線スペクトルで吸収端から 10 eV 程度にあらわれる強い吸収帯が、果して二電子励起によるものなのか、それとも別な伝導帯によるものなのか? これは理論家に残された宿題であるが、実験的にも、光電子放出スペクトルその他の方法も併せて systematic なデータをそろえる必要があろう。

(豊沢 豊)

2 中性子散乱

中性子散乱に関しては、まず石川が全体の序論も兼ねて、中性子散乱の線源としての加速器と定常出力原子炉の比較、加速器ではどの程度の仕事が出来るかという事、加速器で行なわれる研究の特徴等を総括して述べた。

まず加速器によるパルス線源と定常出力炉を比較してみると、おののの一長一短があることがわかる。パルス線源は Time of Flight 法と呼ばれる測定法に適した線源で、又線源の波長を変えやすいという利点がある。一方定常出力炉では一応結晶法、Time of Flight 法両者が出来、その建設はパルス炉よりは技術的には確立しているが、パルス線源よりも建設にも維持にも多額の費用が必要である。特に波長については、加速器は 1 eV から 0.1 eV のエネルギーを持った中性子の線源として定常熱中性子より優れている。

S.
e 1 1
光
あ
エ
こ
り
た
ト
(

たとえば、100kWの平均出力を持つ加速器は、1eV程度の中性子の線源としては40MWの出力を持つBrookhavenのHFBR(High Flux Beam Reactor)に匹敵することが予想される。更に1eVの中性子散乱では結晶法よりTime of Flight法が優れており、TOF法ではパルス中性子源の方が、良い事を考えれば、HFBRよりも優れた研究が出来ると期待出来る。一方0.025eVの熱中性子であれば、HFBRの方がこの加速器より 10^2 も強い線源となる。そこで加速器は特に高いエネルギー(1eV-0.1eV)の中性子散乱の研究の線源に適していると結論出来る。次にこの100kWの加速器でどの程度の研究が出来るかを知るために、非干渉性非弾性散乱の実験を異った4種類の方法で行ったとして、最後に検出器に来る中性子数nを計算してみた。その結果によれば、もし条件をよく選べば、磁気散乱の中で最も弱い伝導電子のスピントランジットによる磁気散乱でも、エネルギーと運動量の分解能を $1/10$ 程度にするならば、20時間程度の時間で測定を行う事が出来る事がわかった。もし分解能をこれ以上に上げる必要があるならば、加速器にブースターをつけなければならない。

熱中性子による散乱が固体内の空間的時間的相関を研究する唯一の研究手段であることはよく知られていることである。そこで0.1eVまでの中性子散乱により主としてホノンやマグノンの集団励起の分散関係が多くの物質で研究されてきた。中性子の波長が0.5~0.2Åと短くなった時には集団励起よりも単粒子励起の方がより観測の対象になる。問題を磁気散乱に限れば、このような中性子による散乱でまず興味ある問題は金属磁性体の研究であろう。その第一はFe, Niなどの強磁性金属のストーナー励起の測定で、運動量qが非常に小さいところでは、理論的には可成強い散乱が起るはずである。たゞし、エネルギー間隔の少ないNiでも(0.5eV位)，入射中性子のエネルギーを1.5eV程度にしなければならないのでこの研究は原子炉では難しい。第2は遷移金属常磁性体の $\chi_q(\omega)$ の測定で、これもフェルミエネルギー E_F 程度の中性子が必要となる。この $\chi_q(\omega)$ の測定は金属の磁性を知る上に最も重要なことは言うまでもない。

集団励起であるmagnetic excitonの分散関係の測定はこのような高エネルギー中性子でなくては測定出来ない問題の一つである。このmagnetic excitonは光散乱でその存在が確認されてはいるが、その分散関係は波長の長い光では観測出来ない。

hなるエネルギー変化をする中性子の散乱は、その振動数で変化する現象を観測していることを意味している。そこでこのhのが高くなることは、より早い変化を追跡出来ることを意味している。たとえばプラスとマイナススピンがのなる振動数で変化している場合、この振動数より遅いエネルギーの低い—熱中性子で観測すると、磁気モーメントがないように見える状態—non magnetic state—になるが、エネルギーを高くするとこれが中性子と相互作用をするようになり散乱が起る。この意味でいわゆるnon magnetic stateにある V_2O_3 , Ti_2O_3

などの研究を高エネルギー中性子で行なうことは興味深い。この問題についてはあとで山田氏が理論的考察を行なわれた。

なお以上の話に対して小幡氏(原研)が $\chi_q(\omega)$ の測定で, orbital momentによる $\chi_q^{orb}(\omega)$ とスピンによる $\chi_q^{spin}(\omega)$ が区別されたら面白いとのコメントをされた。

次に木村氏が最近訪問された欧米の研究所でのパルス中性子源についての動向を紹介された。まず将来の中性子源としてパルス中性子源がよいか定常出力炉が良いかという問題に関しては, Karlsruhe の Beckurty, Sacley の Meriel Brookhaven の Shirane 等 H F B R がつかえる立場の人々は定常出力炉の利点を述べ、まだ当分低エネルギー領域でやる事は多くあると考えているのに対し, Harwell の研究者, Sacley の Cribier 等は将来は高エネルギーの研究に適しているパルス中性子源の方が必要であることを強調していた。たゞ木村氏の印象では、世界中でこれから High Flux Reactor を作ろうとしている国は、日本以外にないとの事であった。その他に, SORA の燃料テストを行った Oak Ridge で、これら燃料棒が非常に無難作に置いてあるのを見て、ブースターも日本で考えている程難しいものではなさそうに感じられた事、Ispra では SORA に correlation type chopper をつける事を考えている事等の報告が印象に残った。一方日本での仕事として、現在の東北大学の加速器(平均出力 3 kW)でも Be フィルター法で測定するならば、NH₄Cl の非干渉性非弾性散乱の研究が充分に出来る事が示された。

中性子による分子分光学は、現在すでに加速器で研究が行なわれている分野である。これらの結果の紹介を含めて飯泉氏が、とくに熱中性子より高いエネルギーの中性子($E > 0.1$ eV)の散乱では、分子分光学の分野ではどのような研究がなされているかを展望された。

分子又は分子性結晶での中性子の非弾性散乱では、1) Intra molecular vibration 2) molecular rotation 3) Lattice vibration について知識が得られる。この中 1), 2) は高いエネルギーの入射波を要し、したがって加速器による中性子散乱の研究テーマとなる分野であるが、光吸収や光散乱でも研究されて来た分野である。3) は分子性結晶格子の振動の分散関係を求めるもので熱中性子散乱によってのみ研究される分野である。高いエネルギーの中性子によって研究が期待される第 1 の問題は、internal mode の運動量依存性の研究で、これによって分子間力によって分子内振動がどのように変化するかを知る事ができる。この種の研究でこれから将来性があるものは、高分子 — 特に生体高分子 — の研究で、くりかえし単位内の内部振動状態、それに及ぼす鎖間の相互作用等を知ることができる。

高エネルギー中性子によって今後開かれる新しい研究として、振動エネルギーより遷移エネルギーが充分に高く short collision time approximation が散乱断面積の計算に

適応出来る散乱、又散乱と同時に分子の解離が起る場合の散乱の研究等が考えられる。

最後に山田氏が、1 eV 位の高エネルギー中性子散乱でどのような新しい研究が出来るかの一例として、covalent bonding そして基底状態が singlet である系による磁気散乱の計算結果を紹介された。その結果によれば、励起状態である triplet 状態の基底状態からのエネルギー差 ΔE に相当するエネルギー変化を伴う中性子散乱があり、その散乱断面積は通常の磁気散乱と同程度の大きさであることがわかった。たゞしその磁気散乱因子 F^2 は弾性散乱のそれと異なり基底状態の波動関数と励起状態の波動関数の積の波数 k のフーリエ成分に相当している。この F^2 は $k = 0$ で消滅し、前方散乱はない事を示している。このような所謂 non magnetic state での散乱は広い未知の研究分野として残されていると考えてよいであろう。

(石川 義和)

3 オンビーム核物性

On beam による物性の研究(大野)

On beam での核と物性の中間領域の研究は、日本でも阪大杉本、原研の channeling グループによって成果が出ている。放射線を用いる特長は感度が非常によいことである。

更に On beam の特長は、1) 核反応によって出来た R. I. のスピンを整列させることができることである。2) R. I. の variety をます、3) 短寿命のものが得られる。

4) Implantation によって、ある意味で理想的に近い不純物を含む物質ができる。

5) Channeling によって少数原子の結晶内の位置をきめることができる。等である。加速器としては、各種イオンを容易に加速出来るという意味でタンデムバンデグラフが最適のように思われる。(イオンソースが接地側にある)

最近、On beam で行なわれた実験のうちでおもしろい例を一つあげる。Mo, Ru, Pd, Cd, Te 等に 33 Mev の酸素イオンをあてて、短寿命の励起状態にあげ、recoil を利用して、これを鉄等強磁性体の中にうちこみを行い、鉄を磁化して放出される γ 線の角度分布を磁化の方向を反転して 2 度測定を行い、そのずれから $\omega \tau$ を求めるものである。半減期 τ は他の実験から測定されているので、これからのがもとより、internal field が得られるが、このようにして得られた内部場は普通の方法で求められたものより、プラスの方に大きくずれている。この内部場には次のような特長があり、1) $H_{\text{anomalous}}$ は正である。

2) H_{anom} は Fe, Co, Ni の atomic moment に比例している。3) Gd にうちこんでも観測されない。4) うちこまれた原子の速度が $\sim 10^8 \text{ cm/sec}$ 以下のときは観測されない。5) $5 \times 10^{-12} \text{ sec}$ 以下で働く。6) 大きさは recoil 原子核の Z が大きいほど

大きく～MeG. 程度である。これらのことから recoil 原子が s state IC polarized 3d electron を capture したものが内部場を作るするとこの現象はうまく説明される。

チャネリングによる核反応機構の研究（藤本）

単結晶内を荷電子が高速度で走るとき、結晶の間隔が見通せる方向にはエネルギー損失が少く、集束作用もあって、飛程は長く（channeling という）、逆に結晶軸或いはある結晶面の方向には結晶を作っている原子によって散乱されて出てこない（blocking という）。これを核反応の機構の解明に利用したのがこの例である。単結晶の Ge IC proton をあてて、 $Ge^{70}(pp')Ge^{70}$ の p' をある方向から見て channeling と blocking がどのように起こるかをしらべれば、この反応で recoil した Ge がいつ p' を放出したかを知ることが出来この反応の反応時間をきめることができる。これによって $10^{-17}sec$ 程度の反応時間をきめ得たことは従来の方法の $10^{-14}sec$ の壁を大きく破ったものとして注目すべき実験である。

mesic atomについて（森田）

例えば μ メソンが原子核につかまって mesic atom を作ると、その質量が電子に比べて 207 倍大きいため、半径は $5 \times 10^{-13} cm$ ($Z=50$) となり、原子核の半径と同じ程度になり、微細構造、超微細構造等を含んで、その X 線等のスペクトルをしらべることは原子核の電荷分布等を知る上で非常に都合がよく、Bi²⁰⁹ はこの方法で charge 分布が求められている。又 Sm¹⁵² の第一励起準位（rotational state）からの γ 線は普通の atom と mesic atom とでは相互作用がことなるため 0.55 kev だけ違つて観測される。これは原子核の半径 $\frac{\delta \langle R^2 \rangle}{\langle R^2 \rangle} = 3.52 \times 10^{-4}$ に相当している。同じ実験で W では $\frac{\delta \langle R^2 \rangle}{\langle R^2 \rangle} < 0$ となっているが、これは shell model で説明がつく。

（大野和郎）

パルス電子線を用いた物性の研究（主として捕獲電子、正孔の問題）（上田）

過渡的な光吸収の変化の測定が主な手段で ESR、電気伝導測定が補助的に使われている。歴史的にみて最初の研究の一つは $H_2O + KI$ 溶液内での I_2^- , I_3^- 分子の過渡的生成の検出で夫々 $3700 A^\circ$, $3530 A^\circ$ に peak をもつ吸収として見出された。 H_2O 中の水和電子（self trapped 電子の如きもの）の存在予想が、 $10 \mu sec$ の寿命をもち $7200 A^\circ$ に peak をもつ幅広い吸収帯のものとして確立されたのが pulse radiolysis 分野での大きい成果とされている。氷結晶及び polar を溶媒中の trapped electron の研究が数多くなされ、一

方溶媒分子より溶質分子へのエネルギー伝達が biophysics との関連に於て、又 space physics との関連から気体に於て原子の励起状態間の光遷移、不安定分子の生成、それに続く化学反応過程が研究されている。KCl 結晶での F 中心の生成が He 温度近くで、パルス照射後 80 nsec の時常数でおこることが、東北大ライナックの短いパルス電子線(～6 nsec, 1 amp)を用いて、はじめて測定された。又、trapped hole と electron の再結合による寿命の短い発光現象からの trapped exciton のすぐれた研究も出た。固体への応用は最近始まつたばかりであるが、電子、正孔の dynamic な素過程の研究に短いパルス、大電流の電子線の利用は盛んになるであろう。

(上田正康)

オンビーム化学(吉原)

オンビーム化学はビームを照射しながらターゲット中に起る化学的変化を測定するもので、極短時間内に起る変化の解明が可能な点で重要であり、今後の発展が期待される。

今後研究すべき課題についてつぎのようなものが考えられよう。

- (1) 一種の chemical reactor の中のイオン分子反応。ライナックプースターの中性子を Li₂CO₃ の層によってトリチウムに変換し、T を反応室に導いてここで起るイオン分子反応を質量分析計で解明する。コンバーターとしては³He を用いてもよい。
- (2) ライナックを利用するポジトロニウム化学の研究。ライナックの γ 線を照射するさい、電子対創性によりポジトロンを生じるが、これを物質に照射して物質の電子状態の変化を研究する。
- (3) 核分光学的研究、核分光学をオンビーム照射実験によりいろいろの角度から研究しうる。

(吉原賢二)

~~~~~  
短期研究会報告  
~~~~~

1°K以下の生成とその温度領域での物理

上記研究会が6月26日、27日の両日に行なわれた。同様のねらいをもった「1°K以下の生成」と題する研究会が東北大学で開かれたのは1959年11月であった。当時日本では断熱消磁は仙台以外では未だ行なわれておらず、またHe³クライオスタットが新しい低温生成の手段として出現した時期であったが、この研究会がこれらの技術の普及に果した役割は大きいものがあった。

以来10年、これらの技術は国内でも何ら特別のものではなくなり、この温度領域での物性測定は数多くまた多方面にわたるようになった。他方He³—He⁴ dilution refrigerator が強力な新技術として登場し、国外ではすでに試作の段階をすぎて“普通の技術”として急速に普及、実用化されてきている。この時期にあたり、dilution refrigeratorを中心^oに1°K以下の生成の方法と技術に関する討論、特に技術上の問題点に関する実際の経験を交えての報告とそれに関する討論、加えて1°K以下においてどのような物理学上の問題がありどのような点が未解決であるかの報告、提案についての討論を行うことを目的として今日の研究会が企画された。

なお普通のHe³クライオスタットに関する問題は高温領域として今回の対象からは除外した。

報告、討論は、I、1°K以下の温度の生成の原理と技術と II、1°K以下の物理とに分けてそれぞれ第1、2日に行なわれ、出席者は現在物性研に滞在中のこの方面に経験の深いDr. Steyerl を含め約60名であった。

なお、世話人として神田英蔵、長谷田泰一郎、菅原忠が企画、立案にあたった。研究会の内容の要旨を以下にまとめる。

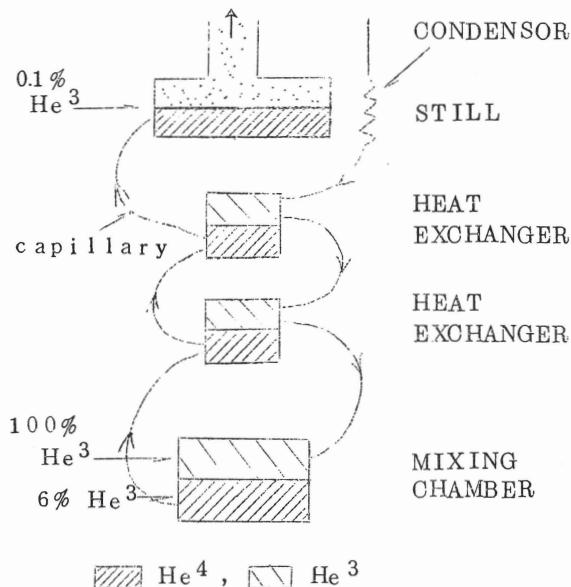
I 1°K以下の温度の生成の原理と技術

I-1 He³—He⁴ dilution refrigerator の原理、技術と物性研究への応用：製

作上の問題点 (California大学) W. A. Steyerl

Dilution refrigerator の概略を図に示す。

refrigerator に送り込まれる He³ gas は一旦 liq He⁴ で約 1°K 迄冷やされると同時に大きなインピーダンスを持つコンデンサー部によって液化されて最初の heat exchanger に入る。冷却は mixing chamber での He³ の断熱拡散に際して起る。ここで十分冷やさ



れた希薄 $\text{He}^3 - \text{He}^4$ 混液は heat exchanger を経て、上から送り込まれる He^3 を冷やしながら still に至る。heat exchanger の設計、製作はこの種の dilution refrigerator における最も重要なポイントであって、以下2, 3 関連した問題をとり上げる。

1) Viscous heating

Heat exchanger 内での圧力降下 Δp は 混液の粘度 η , 流速 \dot{V} , He^3 循環速度 n He^3 密度 ρ とすると

$$\Delta p = \eta \dot{V} Z = n (Z \frac{\eta}{\rho}) \quad z : \text{flow impedance} \quad (1)$$

で与えられるが、 η は低温側で T^{-2} に比例するので最終段の heat exchanger で

viscous heating として効いてくる。即ち

$$\dot{Q} = \Delta p \cdot \dot{V} = n C_V \Delta T \quad (2)$$

に於て(1)を入れると

$$\frac{\Delta T}{T} = \frac{1}{2} n z / T^4$$

$n \sim 10^{-5} \text{ mole/sec}$, $z \sim 10^{+8}$, $T = 0.02^\circ\text{K}$ を入れると

$$\frac{\Delta T}{T} \sim 0.08$$

従つてインピダンス z を小さくおさえる事が重要である。

2) Exchanger 中の heat transport

熱交換速度 \dot{Q} は次式で与えられる。

$$\dot{Q} = C_v \dot{n} \Delta T \quad (3)$$

\dot{n} を $\sim 3 \times 10^{-5}$ He³ mole/sec として計算した結果を表に示す。

Exchanger 温度 (°K)	\dot{Q} (erg/sec)	ΔT (°K)
0.5	125	0.15
0.1	20	0.05
0.02	2	0.02

熱交換速度をかせぐ為には、ポンプの排気速度をあげる必要があるが、Los Alamos の例では、循環速度 $\dot{n} \sim 10 \times 10^{-5}$ He³ mole/sec で $20 m^3 K$ に至るのに約 3 hr を要する。

3) Heat exchanger の設計等

Heat exchanger における熱伝導を効果的に行なう事が重要な問題であるが、sintered Cu 方式の利点もここに生かされる。即ち Kapitza resistance による He - Cu disk 間の温度差 ΔT はこの時

$$\Delta T / T \sim \dot{Q} / 10^5 T^4 A$$

で与えられるが、sintered Cu disk の場合、有効表面積 A は $A \sim 4 \times 10^8 cm^2$ と大きくとれるので

$$\Delta T / T \sim 0.1 \quad (\text{at } T = 0.02 \text{ °K})$$

と比較的小さくおさえる事が可能となる。

尚、Cu - Cu 間の熱抵抗は、電気抵抗の測定値を Wiedeman - Frantz 則に入れて計算出来るが、結果は $\frac{\Delta T}{T} = \frac{10^{-5}}{T^2} \cdot \dot{Q}$ となり、exchanger の温度 $\sim 0.02 \text{ °K}$ で $\frac{\Delta T}{T} \sim 2 \times 10^{-2}$ と小さく、適当な純度の Cu で問題はない。

4) Heat leak

種々の原因から生ずる熱流入がある。例えば、流れている He³、毛細管からくるもの、グラファイト板を介すもの等の他に前述の viscous heating、更に振動によるもの等、最終的な到達温度は Los Alamos の場合にはこれらを考慮して次の式で与えられた。

$$T(m \text{ °K}) = 14 + 3\sqrt{\dot{Q}}$$

現在、物性研で試作中の refrigerator に関しては、一応 $20 m^3 K$ を目標に置いている。製作上の要点として refrigerator 全体が "rigid" である事が要求される。温度コントロールは mixing chamber の周りに manganin 線を巻いて行なう。

I-2 断熱消磁

(東北大金研) 大坪秋雄

(1) Dilution refrigerator (以下D. R.) との比較

(a) 簡便さ — D. R. が気体を扱うためリークや閉塞のトラブルが多く、動作も複雑であるのに比し、断熱消磁(以下A. D.)は $T_f \propto H_f$ で動作明快、装置簡単、マグネットさえあれば安価である。

(b) 低温での有効性 — D. R. の $\dot{Q} = 1.0 \text{ RT}^2 n_3$ で $n_3 = 1 \times 10^{-5} \text{ mol/s}$ で 1 hr の吸热量と、CMN 20cc を 50KG/15mdeg の等温磁化から断熱消磁し、等温消磁した時の吸热量をくらべてみると

	0.2 °K	0.1 °K	0.01 °K
A. D.	$6 \times 10^5 \text{ erg}$	3×10^5	3×10^4
D. R.	12×10^5	3×10^5	3×10^3

(c) $< 10^{-3} \text{ °K}$ では不可欠 — D. R. は viscous heating のため 4 m deg 迄だが、nuclear spin A. D. なら 10^{-6} °K 迄。

(2) Cooling capacity (specimen cooling)

Specimen と無限小温度差を保ちながら消磁冷却すると、 $R \ln(2I+1) - \Delta S \{ H_i/T_i \} + vS' \{ T_i \} = R \ln(2I+1) - \frac{\lambda}{2} (\frac{He}{T_f})^2 + vS' \{ T_f \}$ から冷却される specimen のモル数 v がきまる。30KG/15mdeg での $\Delta S/V$ は Cu^{63, 65} で 0.895×10^5 , In^{113, 115} で $1.758 \times 10^5 \text{ erg/cm}^3 \text{ °K}$, Specimen として例えれば He³ は 1.5 m deg で $1.05 \times 10^5 \text{ erg/cm}^3 \text{ K}$ (Cu の電子系はこれより 4 小さい) 故にほぼ等容量の coolant で $10^{-4} \sim 10^{-5} \text{ K}$ に冷せる。

(3) Cooling Power

スピニン系の伝導電子格子系を通しての吸熱能は $dE/dt = \frac{E}{\tau_1 T_1} [T_1 - T_s]$, $E = \frac{-c}{T_s} [H_f^2 + H_i^2]$ 。即ち τ_1 短くゼーマン、相互作用或は四重極エネルギーの大きい程大きい。 10^{-3} °K で、Cu^{63, 65} では 0.01 erg/sec ($H_f = 600 \text{ G}$), In では 10 erg/sec ($H_Q = 2500 \text{ G}$) である。他物質を冷すときは T^{-3} 比例する Kapitza 抵抗が更に直列に加わる。

(4) 将来計画 D. R. と nuclear cooling の組合せ

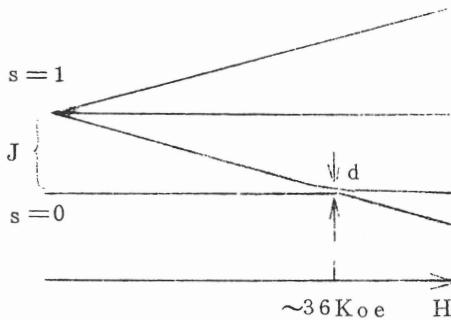
Goodkind らは細い銅線を核冷却剤および熱リンクとして 2 段階消磁で He³ を 4 m deg 迄冷した。我々は、磁場に無関係で且熱伝達のよい He³ - He⁴ 希釈冷却器を第一段とし、段間のリンクには銅線を使うが、第 2 段には吸熱能の大きい In を表面積をふやして Kapitza 抵抗をへらすため微粉にして用いることによって He³ を 10^{-4} °K 迄下げる事、又 10^{-4} °K の伝導電子系の物性をはかる事を試みている。

I-3 断熱磁化

(京大理) 長谷田泰一郎

低温生成の変った方法として、断熱消磁の逆過程による冷却 — 断熱磁化冷却 — についての実験的驗証、並びにその発展、問題点等についての報告である。この問題は以前、大塚氏によって短期研究会に於て議論された事があるが、実験的には未だ成功していなかったものである。

$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ 中の Cu^{2+} イオンは等方的な反強磁性的交換相互作用 ($J \sim 5^\circ\text{K}$) によって孤立した Cu^{2+} ion pair を作っていると考えられている。従ってエネルギー準位の外部磁場分裂を図示すると $H \sim 36\text{KOe}$ で singlet-triplet mixing が生ずる。



図中 d は、anticrossing の大きさを示すもので、到達温度を決める因子であるが、これは pair 間相互作用、小さな結晶場異方性等、種々の原因で生ずるものである。

実験的には交流帶磁率 χ' の磁場依存性からもそのオーダーの計算はなされたが、むしろ断熱磁化実験の方から定める事ができると考えられる。磁化冷却の実験はまだ予備的な段階であるが、初期温度 $T_i \sim 1.6^\circ\text{K}$ から出發して、断熱磁化過程の下に外場 $H \sim 36\text{KOe}$ に於て温度極小 $T_{\min} \sim 0.5^\circ\text{K}$ を明確に把えた。

最終到達温度に関しては、若干興味ある議論が期待される。即ち 1) mixing field ($H \sim 36\text{KOe}$) に於て、十分な低温にあって long range ordering が生ずる。或いはそりでなければ 2) 断熱磁化冷却による最終到達温度には、断熱消磁に於ける様な制限がない。といふものであるがどうであろうか。

1-4 He^3 の断熱圧縮による冷却

(東北大理) 大塚泰一郎

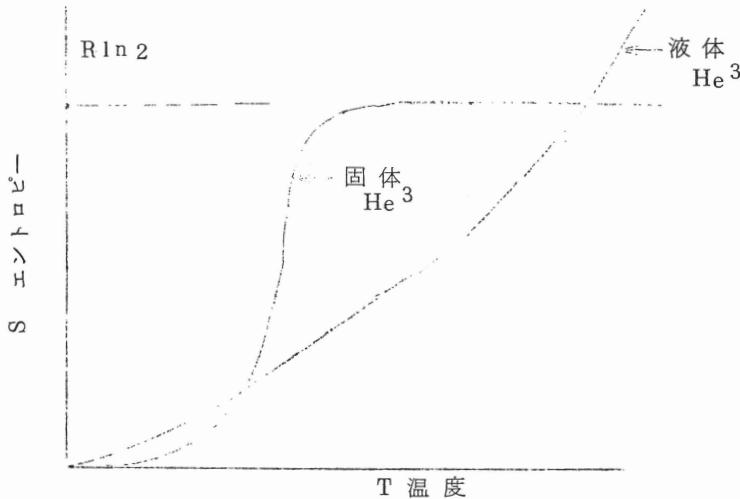
He^3 を圧縮して固化させることにより、冷断熱状態で冷却の期待できる可能性は Pomeranchuk (Zh. Eksperim. i Teor. Fiz. 20 (1950), 919) により 20 年近く前に予言されていた。Pomeranchuk の議論は、液体 He^3 の核スピンはフェルミ統計の要請によりある温度以下で縮退するのに対し、固体 He^3 ではそのような事情がないので、より低温まで核スピンは自由のまゝ、従ってエントロピー $R \ln 2$ (R :ガス定数) を保つという点に立脚している。

上記の事情は具体的には固体 He^3 の融解曲線の異常をふるまいに現われている。すなわち He^3 の $P-T$ 相図で、 0.32°K のところに融解曲線 P_m の最小が現われて、その温度以下では

$dP_m/dT < 0$ となる。従って融解に際しての体積変化 $\Delta V = V_1 - V_s$ (V_1 , V_s は夫々液体固体の比体積) が正であれば Clapeyron の式

$$\frac{dP}{dT} = \frac{(S_1 - S_s)}{T(V_1 - V_s)}$$

より固体のエントロピー S_s は液体のエントロピー S_1 より大きいことが結論される。実際にエントロピーがどう変化するかを示すと図のようになり、断熱圧縮による冷却効果の存在が明らかである。固体液体のエントロピー対温度曲線が交差する点が P_m 曲線の最小にあたる。

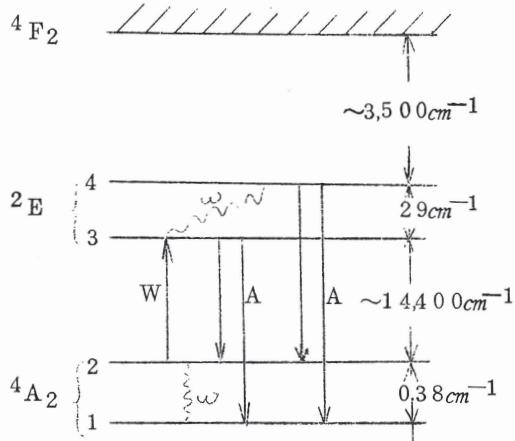


断熱圧縮の実験は先ず Anufriev (JETP Letters 1 (1965) 155) によって行なわれ、 $50\text{ m}^\circ\text{K}$ からはじめて $20\text{ m}^\circ\text{K}$ 到達しているが、最近 Johnson 等の Wheatley group (Phys. Rev. Letters 10 (1969) 449) によって入念な実験が行なわれ、特別製のフレキシブルな金属容器にいれた He^3 をまわりから 液体 He^4 をつかって圧縮することにより、 $23.6\text{ m}^\circ\text{K}$, $48.9\text{ m}^\circ\text{K}$ から始めて、夫々 $2.15\text{ m}^\circ\text{K}$, $2.82\text{ m}^\circ\text{K}$ に到達することに成功している。この終着最低温度は多分固体 He^3 の核スピンがオーダーはじめめる温度と想像されるが、その確認には尚別の実験の要がある。詳細は Johnson 等の論文を参照されたい。

1-5 Optical Cooling

(京大・理) 辻川郁二

光冷却の原理は甚だ簡単である。図に示すルピー ($\text{Cr}^{3+}-\text{Al}_2\text{O}_3$) 中の Cr^{3+} のエネルギー準位に於て、今ルピー・レーザーを光源として $2 \rightarrow 3$ のイオン励起を行なうと、 $3 \rightarrow 1$, $3 \rightarrow 4 \rightarrow 1$, 2 の過程で刻れ光よりフォトン・エネルギーの高い螢光が出る事になる。結局、試料ル



ビーのフォノン・エネルギーが光エネルギーに形をかえて試料外に放出され、従って温度が下るというものである。冷却速度の計算結果によれば、 10^{-3} watt の continuous laser 光を使えば、 $4.2 \rightarrow 0.03^{\circ}\text{K}$ の冷却が可能な範囲に入る。最低到達温度は基底状態の splitting 0.38 cm^{-1} によって制約をうけるが、大出力の光源が使用される事になれば冷却速度も上がり、更に温度

降下が期待される訳である。勿論、上述の様な理想的な場合の解析に対して種々の問題点 — heating effect も考えられるが、列挙すると、

1) 多量フォノン過程による $^2\text{E} - ^4\text{A}_2$ の遷移

2) 準位 3, 4 の上下に幾つかのバイブロニック相互作用やイオン対に起因する準位が存在し、これらの準位へのフォノンの出入を伴う遷移による熱発生効果

3) Raman Scattering

等で、この他種々の熱流入、phonon equilibrium, self absorption の問題が残る。

しかし、最近、Bell の Kushida, Geusic によれば Nd^{3+} - YAlG に対して、冷却効果を見出したとの報告がある。この場合、恐らく Dy^{3+} 不純物の影響で、結果的には試料全体として温度上昇してはいるが、 Nd^{3+} をドープしたものとそうでないものとの差は、上述の様な解析にもとづく冷却速度を与えていているものと解釈される。

I-6 温度測定

(California大学) W. A. Steyerl

4°K 以下、 10°K 位迄は CMN の帯磁率測定が、又数 10°K 位迄なら Speer carbon resistor が使用できるこれ以外 10°K 領域で有効なものに nuclear alignment から温度を決定する方法がある。

1) CMN

$\text{Ce}_2\text{Mg}_3(\text{NO}_3)_{12} \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ (CMN) の帯磁率が $T \gtrsim 10^{\circ}\text{K}$ で Curie 則にのる ($\chi \propto \frac{1}{T}$) 事を使っていいる。 $T \lesssim 10^{\circ}\text{K}$ では Curie 則からのずれがあらわれるので、非磁性物質で稀釈したもの、例えば ($\text{Ce}_{1.1}\text{La}_{0.9}$)_MN 等を使えば更に測定領域を 10°K 遠の

ばす事が出来る。帯磁率測定法は、例えはAC法について Daybell: Rev. Sci. Instr. 38 (1967) 1412がある。

2) Speer carbon resistor

Allen-Bradley の抵抗は 1°K 以下ではその急激な抵抗値増大の為使えなくなるが、例えは、Speer carbon resistor $100\Omega \frac{1}{2} \text{w} - 1002$ は温度変化が前者に比し、ゆるやかで数 $10\text{m}^{\circ}\text{K}$ の温度測定が可能である。具体的に、抵抗測定はプリッジ法で行なうのが電力消費の点で有利 ($10^{-11} \sim 10^{-12} \text{watt}$) で、rf or AC法ではこれが大きい ($10^{-10} \sim 10^{-9} \text{watt}$)。

3) Nuclear alignment

適当な放射性原子核(例えは Co^{60} in Co, Mn^{54} in Cu)について γ -ray anisotropy の測定から温度を決定しようとするものである。その最も大きな特徴は、微量の試料で検出可能な事と、測定に際してのエネルギー発生が非常に小さく ($Q \ll 10^{-4} \text{erg/sec}$), $m^{\circ}\text{K}$ 領域で使用できる極低温用温度計としての条件を備えているが、現段階では未だ将来のものとして位置づけられている。具体的には Mn^{54} in Cu の場合 $-3m^{\circ}\text{K} \sim 20m^{\circ}\text{K}$ の温度測定が可能であった。

I-7-1. 1°K 以下の物性測定 — He³—He⁴ dilution refrigerator の応用

(東北大金研) 斎藤慎八郎

われわれのところで動作している He³—He⁴ dilution refrigerator について特に技術的な面から考察した。こゝではスペースもあまりないのでそれらのうち4つほど拾ってみると、

1) Sintered copper heat exchanger

製作法には幾通りがあるが、銅ブロック中に直接焼結する方法では、焼結過程で起る収縮に注意せねばならない。良い熱交換器を作るには銅粉の熱膨脹 — 温度曲線を参考にして熱処理の条件を決めるといふことを示した。

2) Mixing chamber の構造と phase separation

London と Mendoza によれば mixing chamber に入る濃縮側の毛細管下端は底まで下っているほうがよいという。われわれの実験ではそのようにすると phase separation のきっかけが遅れて起るような感じを受けた。原因が本質的なものかどうかは未だ検討を要する。一方、mixing chamber 内外に温度計をつけることによって Kapitza 抵抗による温度差を調べたところ、 0.1°K 程度なら接触面積を増す手段を

特別に講じなくても大きな障害とならないことが判った。

3) Still より蒸発する $^3\text{He}/^4\text{He}$ の濃度

He leak detector の加速電圧を変えて $M/e \approx 2.5$ から 4.3 (M : 質量数, e : イオン荷電数) まで sweep し濃度比を測定した。still から蒸発する ^3He gas には数 % から $2 \sim 30$ % に及ぶ ^4He が混入して来る。これら濃度比に関する知見は、 ^3He の循環速度及び maximum heat extraction を求める際に重要となる。

4) Eddy current heating

$\sim 10^5 \text{ mol/sec}$ 程度の ^3He 循環速度をもつ refrigerator では、今のところ、 0.1°K 附近で数十 μW 程度の heat extraction しか得られない。物性測定には磁場走査や変調が必要なことが多い、これらによって生じる eddy current heating をこの程度の発熱以下におさえるにはかなりの注意がいる。dilution refrigerator は磁場に煩らわされないので利点！ と考えるのはまだ安易にすぎるようである。

I-7-2. 1°K 以下の物性測定 — メスバウア効果の測定

(物性研) 篠原元雄

今まで行なってきた断熱消磁を用いてのメスバウア効果測定について、技術的な問題点を報告した。 $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ($T_N \approx 1.1^\circ\text{K}$) と $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ ($T_N = 0.129^\circ\text{K}$) の hfs の測定、ミリ度領域でのメスバウア温度計の開発などがすでに終了又は現在進行中である。

メスバウア効果測定のための要請として、統計をあげるために長時間の連続測定を必要とし、又よいスペクトルを得る必要上試料を充分に固定して振動を極力除かねばならない。一方断熱消磁の側からは、ワンショットの技術であって長時間一定の温度に保つのが難しい。更に試料をあまり厳重に固定することは(それ自体が熱流入の原因となる様な振動を抑えるのは別として)熱流入を少くする上から望ましくないという制約がある。これらはそれぞれ相反する要素であって、それらをどのように両立させるか課題となる。こゝに報告した装置では、寒剤の塩を比較的多くすること($\sim 60\%$)とヒートガードを活用することによって温度上昇をおさえ、試料の振動を除くためには、試料ホルダーのつけ根をステンレス・スプリングにより、ヒートガードに熱接触した銅材を経て断熱セルに固定した。この結果、 MnNH_4 タットン塩を寒剤に用いた場合、 0.15°K 程度の略々一定の温度に 8 hr 以上、CrK ミヨウバンでは 0.25°K から 0.05°K まで約 6 hr 保つことができた。試料の振動の除去については、かなりよいスペクトルが得られているがまだ充分とはいえない。

更に苦心を要するのはガンマ線用 Be 窓の問題である。これには 2 点あって、液体 He 温度で

真空中に耐える窓を作るためのBeの接着の問題と、鉄不純物の含有量の少い(鉄のメスバウア効果の場合)Be板を確保する問題とである。

II 1°K 以下の物理

II-1. He^3 における問題点

(日大理工) 三沢 節雄

現在までの実験では、 He^3 の超流動は観測されていない。したがって He^3 の粒子間相互作用は、 He^4 の場合とは異なり、大部分の物理量における自由粒子の場合からの定量的なずれとして現われるであろう。初期の比熱と核スピン帯磁率の実験では実際そうなっており、自由フェルミガスの場合にくらべて前者は2倍、後者は1.1倍となっている。これはLandauのFermi liquid理論のパラメーターを適当にとることにより説明できる。Doniach & Ingelsbergはspin fluctuationの影響を取り入れて比熱に $T^3 \ln T$ の項を出している。最近の実験ではたしかに比熱はTの一次からずれているが、細かい点は不明である。Landau理論のパラメーターは色々な物理量の温度変化等を精密に測れば決められるはずであるが、実際測られているのは少数である。測定値を使えば、O-soundの音速等はよく説明できる。又超流動の可能性もないわけではない。

II-2-1. He^3-He^4 における問題

(京大理) 恒藤 敏彦

He^4 中の稀薄な He^3 は Fermi gas の問題としてよく理解できる。稀薄でない場合は He^4 の方に注目して、λ-transition や phase separation が問題となる。phase diagram をかくと、normal, super 及び分離した状態の三つの相があるがその三重点の近くで自由エネルギーを温度と He^3 の濃度の函数として適当に形を仮定すると、normal - super, super - 分離相間の転移における比熱のとびが逆になることが説明できる。ただし、色々と inconsistent な結果も出てくる。

次に、回転する super fluid mixture では適当な条件の下で、中心に He^3 が分離してくれる。これはNMRで観測できるかもしれない。又 vortex のゆらぎや、相が分離したときの boundary wave の問題もある。

固体 He^4 中の He^3 の diffusion は、格子のひずみによる He^3 原子間の相互作用の影響が大きい。簡単な計算によれば、diffusion constant は He^3 の濃度の平方根に反比例する。

II-2-2. He³-He⁴の問題点 — 実験の側から

(東北大理) 佐藤 武郎

He³-He⁴混合液体は、フェルミ縮退温度を大きく変化させ得る対象としての興味から、近年特に稀薄He³溶液で詳細な実験・計算がなされている。これに対して、λ転移点での問題 — λ点の降下、singularityに対する dilution effect 等 — がなおざりにされすぎているようである。特に後者に対する実験は皆無といってよい。

混合液中のHe³の有効質量は、比熱、second sound, oscillating disk-pile等により測定されているが、higher concentration (He³ 10%以上) 領域での実験は少い (Grigoriev et al : Soviet Physics JETP 24 (1967) 707)。

II-3-1. 稀薄合金の問題点

(物性研) 芳田 奎

s-d problem の最近の話題を解説した。

この問題に関する低温での議論は、Suhl の dispersion theory, Nagaoka の Green 関数の decoupling の方法等が現われ、最近では改良した取扱いがなされている。しかし、0°K 近くでの物理量のふるまいについては十分とはいえない。

Yoshida 等による波動函数を計算する方法では、基底状態は singlet であり、電子の分布も求められている。電気抵抗の磁場依存性も計算されているが、logH の項をふくまないにもかくわらず、数値的には似たふるまいを示す点に注目すべきである。

その他最近又色々な近似が提唱されているが、一長一短で決定的なものはない。この中で、Green 関数を計算機で解いた Suhl 等の仕事と、Haman, Schrieffer 等の函数積分の方法が注目されている。実験としては、dスピンの緩和の異常を測ることが考えられるが、bottleneck effect をなくすために、sスピンの緩和を早める必要がある。

II-3-2. 稀薄合金の問題点 — 実験の側からのコメント

(都立大理) 久米 潔

実験的には、温度を下げる事と同時に、Kondo 温度の高いものを選ぶのがよからう。Ag-Mn 等が考えられる。

II-4 微粒子

(物性研) 川端 有郷

金属微粒子について述べる。金属微粒子中では電子のエネルギー準位は discrete でありその間隔は 100°A 程度の大きさのもので 1°K ぐらいである。したがって、低温における物

理量の異常が期待できる。電子比熱は bulk な金属では温度の一次であるが、微粒子ではより高次のべきとなる。スピン帯磁率は spin-orbit を無視すれば温度に比例する。これらの量の温度依存性が exponential でないのは、エネルギー準位の分布を考えた結果である。帯磁率の変化は NMR の Knight shift にも反映されるであろう。

微粒子の超電導は理論的にははっきりしない点が多いが、Giaever 等は Tunneling によって 25°A の粒子も超電導になると報告している。ただし実験の解釈に疑問の点もあるので、NMR、比熱、反磁性等の測定が望まれる。

II-5. Exciton の Bose 凝縮

(物性研) 豊沢 豊

Exciton は近似的に Boson と見なせるので、Bose 凝縮を起す可能性は以前から指摘されていた。現在あるのは理論のみであるが、凝縮を起す最低の exciton 濃度は 10^{-6} ケ/atom ぐらいと思われる。この程度の exciton を励起するのは技術的には困難でなさそうである。phase diagram も計算されているが、低濃度では自由な exciton gas, 高濃度では exciton が出来ずに conductive になる。この中間濃度の低温領域で凝縮が起る。その最高温度は誘電率の 2乗に比例し、reduced mass の 2乗に逆比例するので、band gap のせまい半導体が有利である。Ge では 1°K ぐらいとなる。ただし、2つの exciton が水素分子の様な molecule を作る可能性や、exciton の recombination 等の影響も考えるべきである。観測の方法としては、indirect な recombination における放出された光の line shape を調べることが考えられる。

この他コメントとして、「Ta-Ru系の超伝導」(名大理 馬宮, 益田) — Ta-Ru 合金についての断熱消磁温度での実験結果の報告 — と「 1°K 以下におけるメスパウア効果」(京大化究 新庄) — 極低温での観測手段としてメスパウア効果が有効な諸問題の紹介と今後の実験結果の報告 — があった。

最後に $m^{\circ}\text{K}$ 又は以下の温度領域の研究の展望についての討論をやる予定であったが、時間の関係で研究会の行事としてやることを取止め、有志の間での意見交換の会に変更した。出席したのは理論家 Steyerl 博士を含め約 7 名であったが、ご参考までに二、三の意見をお伝えする。

$m^{\circ}\text{K}$ 以下で新しい問題がありうるかどうかについては大別して意見は二つに分れた。 He^3 の超流動などは別とすると、超低温では自由度をほとんど失うから特別なことは起らぬであろうという意見と、この温度領域にともなう難しい技術の克服や未開の分野であるということを含め期待してよいという意見の二つである。またやや別の角度から超低温が、例えば小さい励起エネルギーの

研究など他の分野の研究手段として重要であるという意見も多かった。この意味では超低温は精密物理の一つの扱い手として活躍するであろう。その他の話も出たが省略する。何れにせよ低温のこれから進むべき方向の一つとしての $m^{\circ}K$ 又は $\mu^{\circ}K$ の領域の研究が単なるムードではなく、はっきりした認識と展望の上に立って進められることを願ってこの報告を結ぶ。

報 告 者

東北大金研	齊藤慎八郎
阪大基礎工	天谷善一
東大物性研	川畠有郷
"	篠原元雄

東京大学物性研究所の助手公募の通知

下記により助手の公募をいたします。適任者の推薦、希望者の応募をお願いいたします。

(1) 研究分野

極低温物性の実験的研究、特に金属電子および液体ヘリウムの動的性質の研究

(2) 研究室

固体核物性部門(近く就任予定の生嶋助教授研究室)

(3) 資格

応募資格としては修士課程修了又は同等以上の能力のあること。

(4) 任期は原則として5年以内とする。

(5) 公募締切 昭和44年9月30日(火)

(6) 就任時期

なるべく早期を希望するが、博士課在学中の場合は事情により45年3月まで延期できる。

(7) 提出書類

(イ) 推薦の場合

- 推薦書(健康に関する所見を含む)
- 履歴書(略歴で結構です)
- 主要業績リスト(ほかに出来れば主な論文の別刷)

(ロ) 応募の場合

- 履歴書
- 業績リスト及び主な論文の別刷
- 所属の長または指導教授等の本人についての意見書(宛先へ直送のこと)
- 健康診断書

(8) 宛先 東京都港区六本木7丁目22番1号

東京大学物性研究所 人事掛

電話(402)6254, 6255 郵便番号106

(9) 注意事項 公募書類在中、又は意見書在中の旨を表記し、書留で郵送のこと。

(10) 選定方法 東京大学物性研究所教授会で審査決定いたします。
ただし、適任者のない場合は決定を保留いたします。

東京大学物性研究所長

鈴木 平

東京大学物性研究所の助手公募の通知

下記により助手の公募をいたします。適任者の推薦、希望者の応募をお願いいたします。

(1) 研究室名および公募人員数

光物性部門（櫛田研究室）助手1名

なお、光物性部門には教授に塩谷繁雄、助教授に櫛田孝司が在職中。

(2) 研究分野

光学的手段による固体物性の実験的研究、特にレーザーを手段として使うなどの動的な光物性の研究に興味と意欲をもつ人を望む。

(3) 資格

応募資格としては修士課程修了またはこれと同等以上の研究歴をもつ人。

(4) 任期は原則として5年とする。

(5) 公募締切 昭和44年10月15日(金)

(6) 提出書類

(イ) 推薦の場合

- 推薦書（健康に関する所見を含む）
- 履歴書（略歴で結構です）
- 主要業績リスト（ほかに出来れば主な論文の別刷）

(ロ) 応募の場合

- 履歴書
- 業績リスト及び主な論文の別刷
- 所属の長または指導教授等の本人についての意見書（宛先へ直送のこと）
- 健康診断書

(7) 宛先 東京都港区六本木7丁目22番1号

東京大学物性研究所 人事掛

電話(402)6254, 6255 郵便番号106

(8) 注意事項 公募書類在中、又は意見書在中の旨を表記し、書留で郵送のこと。

(9) 選定方法 東京大学物性研究所教授会で審査決定いたします。
ただし、適任者のない場合は決定を保留いたします。

東京大学物性研究所長

鈴木平

人 事 異 動

櫛 田 孝 司

4 4. 7. 1

光物性部門助教授に採用

TECHNICAL REPORT OF ISSP 新刊リスト

Series A.

- No. 357 Shizuo Miyake and Kazunobu Hayakawa: Resonance Effects in Low and High Energy Electron Diffraction by Crystals.
- No. 358 Masakatsu Kochi, Yoshiya Harada, Tomohiko Hirooka and Hiroo Inokuchi: Photoemission from Organic Crystal in Vacuum Ultraviolet Region.
- No. 359 Nobuo Tsuda: Superconducting Tunneling Effects in the Mixed State of Nb.
- No. 360 Kenji K. Kobayashi: Dynamical Aspects of Classical Liquids.
- No. 361 Nobuko Sakai, Ichimin Shirotani and Shigeru Minomura: The Effect of Pressure on the Electronic Absorption Spectra of TCNQ Ion Radical Salts.
- No. 362 Masuo Suzuki: Singularity of Nonlinear Response near the Critical Field. I --- Static Case ---
- No. 363 Koichi Kobayashi, Yunosuke Makita, Takao Kawai, Mihoko Kanada and Susumu Kurita: Electronic Process in Thallous Chloride.
- No. 364 Hiroshi Kukimoto, Shigeo Shionoya, Seizo Toyotomi and Kazuo Morigaki: Screening and Stark Effects Due to Impurities on Excitons in CdS.
- No. 365 Eiichi Hanamura: Screening and Stark Effects Due to Impurities on Excitons in Semiconductors.

- No. 366 Toshizo Fujita, Atsuko Ito and Kazuo Ôno: The Mössbauer Study of the Ferrous Ion in Some Anhydrous Dihalides of Iron-Group Elements.
- No. 367 Yasuko Nakano and Tohru Azumi: Phosphorescence of Quinoxaline-Durene Mixed Crystal --- Analysis of Fine Structures and Decay Characteristics ---
- No. 368 Yoshikazu Ishikawa, Yasuo Endoh and Teiji Takimoto: Antiferromagnetism of a γ Iron-Nickel-Chromium Alloy.
- No. 369 Yutaka Toyozawa: Bound and Quasibound Phonon Sidebands in the Exciton Spectra.
- No. 370 Hiroshi Tamura, Taizo Masumi and Koichi Kobayashi: Cyclotron Resonance of Photocarriers in Thallous Halides.
- No. 371 Kanetada Nagamine, Akira Uchida, Akira Mikuni, Takenori Suzuki, Minoru Imaizumi, Shinroku Kobayashi and Shinsaku Kobayashi: Nuclear Spin-Spin Effect in the Total Cross Section for 1 MeV Polarized Neutrons on Polarized ^{59}Co Nuclei.
- No. 372 Yoshihiro Kuroda: On the Renormalized-Random Phase Approximation for Dilute Magnetic Alloys.
- No. 373 Yutaka Toyozawa: Phonon Structures in the Spectra of Solids.

編集後記

7月の末で、ひどく暑い日が続いた上、大学立法が強引に参議院にもちこまれ、何ともやりきれない時です。そして予定の原稿を待っているうちに、とうとう強行採決ということになりました。

本号は研究会報告が大部分になっています。ちょうど研究会が多い時期に当たっただけでなく、力を入れて書いて頂けたことを喜んでおります。内容については大てい予稿集が出るわけですが、研究会を終った時点での現状分析や将来の展望などがまとめられたという意味で、これらの報告は研究会に出席できなかった人にとって大変読みがいがあろうと思われます。

東京都港区六本木7丁目22番1号

東京大学物性研究所

田沼 静一
細谷 資明

次号の原稿〆切りは9月30日です