

物性研だより

第11卷
第6号

1972年2月

目 次

短期研究会報告

○ 低波数領域の固体分光	1
世話人 中川一朗(東大・理) 島内武彦(〃〃) 三石明善(阪大・工) 伴野雄三(物性研) 神前熙(〃〃)	
○ 金属微粒子の物性	8
世話人 伊藤順吉(阪大・基工) 菅原忠(物性研)	
○ ヘリウムの物性	13
世話人 碓井恒丸(名大・理) 中嶋貞雄(物性研) 生嶋明(〃〃)	
○ 磁性体分光の現状と将来	20
世話人 菅野暁(物性研) 守谷草(〃〃)	
物性小委員会報告	28
物性研ニュース	
○ テクニカルレポート新刊リスト	33
編集後記	35

「低波数領域の固体分光」研究会報告

比較的簡単なイオン性結晶のフォノンの研究は、化学と物理の両分野にまたがって、遠赤外分光、ラマン散乱その他の実験的手段によって行われているし、また理論的研究も活発に行われているが、従来これらの研究者間の交流が不足していて、相互の立場の比較検討を行う必要を感じてこの研究会が提案された。

研究会は昭和46年12月6, 7日の両日物性研で行われ、上の提案理由からもオープンの形式をとった。主な世話人は中川一郎(東大理)、伴野雄三(物性研)であった。

以下のレポートは各セッションの座長にお願いして書いて頂いたものであるが、文責は伴野が負うべきものと考えている。

(1) 中川一郎氏(東大理)による「イオン結晶の光学活性振動、イオン間の結晶内における相互作用ポテンシャル」についての講演が行なわれた。結晶の光学活性格子振動についての従来の取り扱いは、分子性結晶における分子間力の研究や、イオン結晶における結合の性質を相対的に比較する場合に役立ってきたこと、しかしながら、イオン結晶における横波格子振動数 ν_t と縦波格子振動 ν_1 との波数のちがいや、強誘電性結晶における soft mode の存在などは、restoring force にもとづく近距離力だけを考慮する従来の方法では説明できないこと、したがって、Coulomb 力にもとづく遠距離力の寄与も考える必要があることなどが指摘された。イオン間の相互作用として、近距離力だけでなく、遠距離力までも考慮する取り扱いとして、rigid ion model と shell ion model の概要が紹介され、 ν_t , ν_1 の実測値より近距離力の力の定数と、遠距離力を支配する有効核電荷とが求められることが示された。さらに、二原子 cubic 結晶と CaF₂ 型結晶について、上述の方法を適用した結果 Coulomb term / short range term は、共有結合性の大きい NO を除いて、ほど 0.5 程度の大きさをもつこと、ペロブスカイト鉄化物では 0.35 以下の値であることなどが、報告された。

これに関連して、平石次郎氏(東工試)は、「イオン結晶における格子力学」について講演した。これは Wurtzite 型と Rutile 型の一軸結晶に rigid ion model を適用して格子振動を取り扱った結果の報告である。最小二乗法により求めた有効核電荷の値が、仮定した近距離力のモデルにより左右されることから、まず、横波振動と縦波振動の波数差から有効核電荷を算出した後に、近距離力の力の定数を最少二乗法により求めるのがよいという結論であった。

つづいて、島内武彦氏（東大理）は、格子振動を自由分子の分子内振動と対比させて、結晶の optical mode と acoustic mode が自由分子の local vibration と overall vibration とにそれぞれ対応するものであることなどについてコメントを行なった。

おわりに、宮沢辰雄氏（阪大蛋白）は「格子振動と中性子散乱」について講演した。

Kr のように光学活性振動のない結晶では、中性子散乱の測定によりはじめて振動スペクトルが得られること、ベンゼン結晶についての Rush , Trevino らの中性子非干渉散乱のデータは、宮沢氏らの計算した並進モードと回転モードの振動数分布とよい一致を示すこと、また、重水素化ポリエチレンにおいても、中性子干涉性散乱により実測された振動数と理論計算値とのよい対応を示すことなどが報告された。

(2) II-VI 族化合物の赤外およびラマンスペクトル

阪大工三石明善

II_b-VI_b 族化合物 (Zn, Cd, Hg : O, S, Se, Te) の赤外およびラマンスペクトルが最近かなり測定されるようになったので、実験結果に重点をおいて従来の研究が紹介されている。

1. 規則格子

1 フォノンスペクトルが赤外およびラマンの測定で観測され、フォノンプリルアン帯の中心 Γ 点の光学活性モードの振動数がかなりの試料についてえられている。2 フォノンスペクトルについてはまだ充分解析された例は少ない。

2. 不規則格子

II_b-VI_b 族も不純物 (Li, Be, Mg, Al) をドップした良質の結晶がえられるようになり、かなり局在モードについてのデータが集積されつつある。イオン価の等しい不純物の場合、解析に結合力の変化などを考慮せねばならないことがわかつてきた。イオン価の異なる不純物の場合には、電荷補償のため空孔が生じたり、種々の pairing が生じたりし、それについての知見が若干えられている。

ZnS, ZnTe, CdS は計算によればギャップがあることになり、ZnS : Be では 246 cm^{-1} にギャップモードが現われる。

共鳴モードの測定例は少なく、CdTe : Be では 61 cm^{-1} に Be による共鳴モードと考えられる鋭いバンドがある。

局在振動に関する結合モードが局在振動の非調和性によって生じる。すなわち、局在モード

の高次の遷移が可能となり、 CdS:Be , CdSe:Be らで観測されている。又局在モードとギャップモード、バンドモードとの結合モード(局在モード副帶)が活性となり、 ZnS:Be や CdTe:Be において観測されている。

3. 混晶 AB_{1-x}Cx

BC がⅡ族の場合とⅥ族の場合の両方の混晶の赤外およびラマンの測定によって、自己主張型(2モード型)になるものと融合型(1モード型)になるものとが実験的に分類されており、提案されている criterion に従うものと従わないものとがある。

(3) ポラリトンに関するセッションでは、松村(九大理)のレビューと同研究室における実験結果の報告が岡元により行なわれた。

波数ベクトル k の 0 にきわめて近い部分で結晶内の分極波と電磁波の間に強い結合がおこり、二者の混り合ったポラリトンモードをつくる。ポラリトンの分散関係の実験的研究は現在まであまり多くない。この分枝のうちの下方の分枝に関する知見は、ラマン分光法により前方小角散乱の測定から得られる。 GaP についての Henry, Hopfield の実験が最初の信頼すべき成果であるが(1965年),その後 GaAs , ZnO , ZnS , CdS , Quartz, BaTiO_3 , LiNbO_3 等についてラマン前方小角散乱の実験結果が得られ、これらの結晶についてポラリトンの実験的証明がなされたと云える。

ポラリトン分散曲線の上枝に関する知見は、薄膜熱輻射による測定から得られるが、この研究はもっぱら松村らのグループによって行なわれている。残留線波長よりうすい単結晶薄膜について、光を輻射するモード(*Virtual Mode*)が得られる。

岡元は MgO について薄膜熱輻射測定を行ない、ポラリトン分散曲線の上枝を得、分散曲線と測定点とがよく一致するよう ω_{Lo} , ϵ_0 , ϵ_∞ , γ の値をきめたが、単結晶反射スペクトルの実験から求めたものと多少の相違がある。

なお、このセッションでは、ポラリトン分散曲線の物理的解釈について、とくに $b \rightarrow 0$ の極限におけるポラリトン分散曲線の上枝の挙動に関して活発な討論が行なわれた。

(4) イオン結晶及び clathrates における不純物モード

京大工 原子核工 武野正三

アルカリハライド混晶はその存在が理論的に予言されていた phonon の localized mode, gap mode, resonant mode 等が実験手段一主として遠赤外分光によって数多く観

測された典型的な例である。フォノンの不純物モードの物理は主として此等実験的成果により真に稔りあるものとなったといってよいであろう。

筆者は理論的に不純物モードを調べるに際し、解析的に解けるモデルを採用し、その持つ一般的な物理的性質を理解しようと試みた。具体的には最近接原子間の相互作用のみを取り入れた単純立方格子模型が採用された。^{1) - 3)} この仕事の諸外国に於ける理論的研究との本質的な相違は、単純に電子計算機等を用いて得られた数値的結果より広く適用出来る一般的結果が得られたこと、不純物挿入に基づくバネ常数の変化の重要性を指摘したこと、^{2) - 3)} 不純物モードにはある場合には固体ヘリウム内の原子の振動等にも比すべき大きな非調和振動が関与している事等である。^{4) - 5)} 此等一連の仕事は米国コーネル大、Sievers, 阪大三石氏等実験家と協力の下になされた。^{2), 4)} 筆者は非調和性の問題を量子固体の問題とも関連させてもっと吟味する予定である。

localized mode, gap mode, resonant mode 三種の不純物モードのうち弱い結合力により結ばれている host lattice と不純物系から生ずる resonant mode は特に興味の対象となり得るが、²⁾ このようなものは clathrate 等の分子性化合物に広く見出され、今後不純物モードの物理は此方面に発展出来て、化学の分野にも適用出来る可能性を示した。さし当り clathrate の問題に於ては、赤外吸収比熱等の実験結果⁶⁾ を上記の立場から解析を行う予定である。

最後に講演時に用いた諸結果の文献のうちいくつかのものを以下引用しておく。紙面の都合で他のより重要な文献が引用出来ないのを御ことわりしておく。

- 1) Y. Mitani and S. Takeno, Prog. Theor. Phys. 33, 779 (1965)
- 2) A.J. Sievers and S. Takeno, Phys. Rev. 140, A 1030 (1965).
- 3) S. Takeno, Prog. Theor. Phys. 38, 995 (1967)
- 4) S. Takeno and A.J. Sievers, Phys. Rev. Letters 15, 1020 (1965)
- 5) D. Paul and S. Takeno, Phys. Rev. Section B, to be published.
- 6) J.C. Burgiel, H. Meyer and P.L. Richards, J. Chem. Phys. 43, 4291 (1965)

より真

イオン結晶の不純物モード：実験

物性研 神前熙

持つ一
入れた
的な相
得られ
たはあ
事等で
努力の
る予定

うち
化合物
来る
）を

合で

165)

43

アルカリハライドの不純物モードについて最近報告された若干の実験についてレビューされた。まづU中心、U₁中心の局在モード及びその副帯と、ギャップ領域近傍でのスペクトルについて実験事実を整理した。ついで Lity らによって行なわれた(110)方向に光学的に整列させた H⁻-H⁻, H⁻-D⁻, D⁻-D⁻ pair による局在モードの測定、及び Bauerle らによって行なわれたF中心のギャップモードによる吸収バンドの高分解能の測定が紹介された。前者はF中心とU中心の類推から考えられたうまい実験であり、後者では最近接K⁺イオンの同位元素効果が分離されていてこれらの解析から空孔の存在による radial force constant の変化が計算されていて、いづれも興味ある実験である。

さらに Sievers らによって行なわれた Cu⁺, Ag⁺, Li⁺などの不純物の共鳴モードによる赤外吸収及びアルカリハライド中の類土類イオンのf電子せん移に伴なわれるフォノンの構造について述べられ、最後に最近また関心を持たれてきた微小結晶の振動モードの赤外吸収による研究について、二、三のデータが報告された。

(5) ハロゲン化アルカリ格子中の不純物に局在した格子振動

東大・薬坪井正道

1) 単結晶を得なくても錠剤成形と熱処理との組合せにより孤立した不純物イオンをアルカリハライド格子中につくることが出来る。2) その例としてNO₃⁻イオンを含む(10⁻⁵モル程度)アルカリハライド(KCl, KBr, KI, NaCl, NaBr)の赤外吸収スペクトルの温度変化の実験結果を述べる。不純物イオンの格子位置の対称性、母体イオンとの間のポテンシャル、NO₃⁻イオンの再配向のポテンシャルなどの知見を得ることができる。3) KI: NO₃⁻においては1372.3 cm⁻¹の吸収帯の側帯として、±86.4 cm⁻¹, ±72.2 cm⁻¹のバンドがみられる。この側帯フォノンはKIの acoustic 及び optic 両 branch 間のギャップにあり、NO₃⁻イオン付近に局在した振動(ギャップモード)によると考えられる。

○ K₂NiF₄, KNiF₃ の Impurity Mode

物性研、NHK基礎研* 永田一清

伴野雄三, 梶浦正子*, 加藤嘉明

K₂NiF₄は遠赤外域で格子振動による吸収の他に弱い吸収(19.6, 39.2, 45.5 cm⁻¹)を示す。19.6 cm⁻¹は磁場でシフトし反磁性共鳴吸収によると結論できる。39.2 cm⁻¹と

$4.5.5 \text{ cm}^{-1}$ は不純物に基づくレゾナントモードと考えている。 $4.5.5 \text{ cm}^{-1}$ は KNiF_3 における $4.9.5 \text{ cm}^{-1}$ と同一起源であろう。不純物として Na , Cl などの可能性が考えられる。その温度変化は Sievers の CsI:Ti の場合に似ている。

○ 色中心の緩和励起状態と局在振動

大阪市大・理 渡 辺 宏

F中心の励起状態についての最近の実験によりその緩和状態の性質は大へん明瞭となった。螢光の寿命が長い($\sim 10^{-6} \text{ sec}$)のは Fowler のいうような diffuse relaxed excited state の為ではなくて、緩和過程で 2p 状態が 2s 状態との強い mixing をおこすことが支配的因子である。 2p 電子と局在振動(E_g)との相互作用と、F中心の内部電場とを考えていれた "vibronic model" によるエネルギーレベルを用いれば緩和励起状態の寿命、ストレスによる螢光の偏光度を KCl 中の F 中心につき求めることが出来、実験結果とよい一致を示す。今後の問題として更に、励起状態と相互作用する局在振動について直接的な実験が望まれる。

○ Random Lattice の振動に関する最近の研究

北大・理 堀 淳一

Random Lattice の振動についての単純化されたモデルについての、理論の結論を紹介し特に実験と対比することを示唆する。1) 混晶のスペクトルでギャップが残るか? アルカリハライド混晶の振動スペクトルには融合型と自己主張型とのあることは実験的、理論的にしらべられているが、更に吸収ピークだけでなくギャップも persist するのか? より詳しい実験が望まれる。2) Random lattice における規準モードは局在しているか? 一次元格子ではすべて、多次元格子でも多くの場合局在していることが計算からは得られている。これを実験でたしかめることは容易ではなかろうが、もし観測できれば Random lattice の問題の研究に非常に大きい寄与をすることになろう。

(6) 鉄族磁性化合物の線スペクトルにあらわれる電子とフォノンとの相互作用

京大・理 辻 川 郁二

磁性化合物中の孤立していると見なせる鉄族イオンのスペクトルに対するフォノンの影響は種々あるが、こゝでは主にゼロ・フォノン線の幅とシフトの温度変化を論じる。最初に考えられる機構一般について述べると、(I)、A1 フォノン過程、B 多フォノン過程、C ラマン過程、II'1 フォトンを放出し、同時に 1 ないし複数のフォノンの放出又は吸収することによる励起状態からの

てお
そ

螢
を

電
起状
結果
内な

紹介

カリ
ラベ
験が
では
験で
の研

は種
れる
1フ
らの

緩和、Ⅲ励起状態イオンによるフォノンのラマン散乱による励起状態のエネルギーのゆらぎ等である。これらは均一な拡りを与え線型はローレンツ型になる。

KAl(SO₄)₂ · 12H₂O では Cr³⁺ の発光スペクトルは観測されないが、結晶水を重水にすると ²E → ⁴A の発光スペクトルが観測される。軽水塩のばあいには励起状態が OH 振動の高調波を通じて無輻射緩和を起しているためである。重水塩の蛍光寿命は 4.7 μ sec であるので上記のⅡの過程は幅に寄与しない。また多重フォノン無輻射過程(ⅠB)は幅に寄与しているが温度変化はなく、温度変化に寄与するのは 1 フォノン過程(ⅠA)とラマン過程(ⅠC と Ⅲ)とである。

辻川氏らの研究した TiCr ミヨウバンでは R₁ 線と R₂ 線が観測されていて、ヘリウム温度ではガウス型であるが、77K ではローレンツ型になる。1 フォノン過程の終状態になりうる R¹ 準位えの遷移は見つかっていないし、R₂ 準位は R₁ 準位と 3 cm⁻¹ しか離れていないので、R₁ 線の温度変化はラマン過程(ⅠC と Ⅲ)によると考えられる。事実適当な統合常数によって幅とシフトの温度変化をうまく説明できる。

このほかヤーン・テラーのタンネルング効果についても述べ、KMgF₃ 中の V²⁺, Co²⁺, や Cs₃CoBr₅ 中の(Td 対称性) Co²⁺ などの実例について述べた。

パルス磁場による遠赤外励起

NHK基礎研 青柳 淳

デイシプロシウム・アルミ・ガーネット DAG (Dy₃Al₅O₁₂) 中の Dy³⁺ イオン(4f⁹) は基底状態は ⁶H_{15/2} で第1励起状態は ⁶F_{5/2} である。DAG結晶中で ⁶H はクラマース2重項(下から Z₁, Z₂ とする) 1C, ⁶F もクラマース2重項(D₁, D₂, D₃) に分れる。パルス磁場中の分光を行うと、磁場の強さが 30KG 以下では Z₁ から D₁, D₂, D₃ えの 3 本のスペクトルだけが測定され、それぞれゼーマン分裂をする。ところが磁場が 30KG 以上になると、Z₂ から D₁ えの遷移によるスペクトルが現われ始める。これは何らかのフォノンの媒介による低エネルギー励起(Z₁ → Z₂) がパルス磁場を加えることによって起っている(磁歪によるか?)ことを示す。

「金属微粒子の物性」

報告者 伊藤順吉（阪大・基礎工）
菅原忠（東大・物性研）
藤田哲雄（名大・理）
小林俊一（東大・理）

金属の形を小さくして、例えば、直径 100 \AA 程度とすると種々の興味ある性質が低温であらわれてくるであろうと久保亮五教授*が予測されたのは、今から約10年位前のことである。

これは、ただちに実験家の興味をひき、阪大、名大などで実験が行なわれたし、また外国でも幾つかの研究が行なわれた。これらの結果は直ちに久保効果が存在しているとは断言できない面もあり、しばらくこの問題は、結論保留の形となっていたが、この間にも粘り強い研究が続行され、最近幾つかの興味ある結果が発表されるようになった。しかし、各地で得られた結果は必ずしも同じでなく、試料の状態が関係しているようにも思われたので、この際、集って結果や試料製作などを比較検討したらどうかとの声が関係研究者から起った。これがこの研究会を開催するに至った動機である。

研究会は、伊藤順吉（阪大）、菅原忠、川畑有郷（物性研）を世話人として、昭和46年12月21日、22日（1.5日間）開催され、参加者は約35名であった。まず、理論の内容の説明、ついで各研究室での実験結果の説明があり、三番目に試料の製作と、その状態に関する研究の発表があった。最後にこれらを総合し、同一物質に関する各地のデータのつき合わせを行ない、討議を行なうとともに、今後の進め方について意見交換を行なった。この順序に従って、内容の要旨を紹介する。

* R. Kubo : J. Phys. Soc. Japan 17 (1962) 976

久保・川畑 : 物理学会誌 23 (1967) 718

1. 理 論

1-1

久保亮五（東大・理）

最近までの金属微粒子の理論的な研究について review を行なった。一電子近似の正当性及び系全体の excitation と一電子 excitation との対応性から論じ、粒子にある電子の数が保存されるとき低温で生じる種々の異常を論じた。特に電子レベル分布が軌道スピン相互作用や磁場の有無によって異なる性質を持ち、その性質が粒子の熱的性質に反映されることを述べた。さらに、粒子間の相互作用の可能性について論じた。

1-2

川畑有郷（東大物性研）

久保のレベル分布の性質についての議論を補足したのち、粒子の伝導電子の ESR の緩和についての理論を論じた。ESR の緩和は軌道スピン相互作用を通して粒子の表面で行なわれ、粒子の大きさの減少に伴って電子が表面に衝突する頻度がふえるため、緩和時間は短くなる。大きさがさらに減少するとエネルギーレベルの不連続性のために、この緩和がおさえられ、長い時間での緩和時間は長くなるが、非常に短かい時間内の緩和はエネルギーの不確定性のために、エネルギー保存の制限をうけずにさらに短くなる。従って、ESR の吸収線の形は、粒子の大きさの減少に従って巾が広くなるとともに、その中に鋭い成分があらわれる。

2. 実験結果の報告

2-1

星野了介（北大・理）

ガス中蒸発法で作った平均直径 70 \AA 及び 160 \AA の Cu 微粒子及び蒸着薄膜を熱処理して得た島状の $\sim 300\text{ \AA}^{\circ}$ の Cu 微粒子について NMR を測定した。線巾は低温で温度変化を示し、変化はサイズが小さい方が著しい。たとえば $70\text{ \AA}-\text{Cu}$ では線巾は 77 K で 6.4 , 4.2 K で 10.0 , 1.7 K で 11.1 gauss である。吸収線の形は、すべての試料及び温度で対称であった。化学的な還元を用いて微粒子を作る方法が紹介された。

2-2

小林俊一（東大・理）

ガス中蒸発法で作った Cu 及び Al 微粒子の NMR と帯磁率の測定結果を述べた。Al では、偶数電子を持つ粒子のナイトシフトが減少し、奇数の方では増大するという久保の理論に合う結果が得られ、また、ナイトシフトが減少する成分が起伝導によるものでないことが帯磁率のデータから示されることが説明された。Cu 粒子ではナイトシフトが増大する成分だけがみられ、減少

する成分がないという測定結果が、スピン軌道相互作用が Cu ではかなり強いということで説明された。NMR のスピン格子緩和時間は、Cu, Al ともに大きな金属より短かいことが報告された。

2-3

(名大・理) 藤田哲雄

希ガス中蒸発法により W フィラメントで作成した Al 微粒子の NMR の実験結果について述べた。Knight shift, ΔH_{pp} は 1.3 K より 77 K の間で温度に依存せず対称な共鳴線を与え、吸収強度だけ 4.2 K 以下で温度と共に低下する。 T_1 は 4.2 K 以下で温度に依存せず bulk Al の T_1 より短かい一定の値をとる。この値は径の小さな試料ほど小さい。以上の結果は粒子を酸化させても定性的には変化しない。アルミナコート W フィラメントにより Al を蒸発して作成した微粒子の場合は、信号が期待される強度より一桁以上弱く、我々の測定では確認できなかった。製法により試料が異なることが X 線によって認められ、なお試料について検討することが必要と考えられる。

2-4

(名大・理) 斎木邦雄

ガス中蒸発法で得た直径 3000 \AA° から 100 \AA° 程度の Li 微粒子における伝導電子の electron spin relaxation を x-band を用いて測定した。line shape は対称であって、g-value は 2.002 ± 0.002 であった。 1000 \AA 程度より大きい粒子では、line 巾は粒子 size の減少とともに増加した。これは電子が粒子の表面で散乱される時に spin を反転する緩和によると考えられる。粒子 size が更に小さくなると逆に line 巾は狭くなることが見出された。これは伝導電子の energy level が離散的になって spin を反転する確率が減少し、relaxation time が長くなった効果であると考えられる。

2-5

(名大・工) 松尾進

ガス中蒸発法で作成した In および Al 微粒子について超伝導転移にともなう交流帯磁率 ($f = 2.0 \text{ Hz}$)、電気抵抗の変化を調べた。In の結果は、微粒子にすることにより T_c が上昇することを示している。Al 粒子は大きな反磁性帯磁率を示すが、これを空気にさらすと、我々の交流プリッジでは帯磁率の変化を検出できなかった。

2-6

(阪大・基礎工) 朝山邦輔

Cu-Mn 希薄合金をガス中蒸発法で微粒子にして ESR を測定した。line巾は高温で bulk のものよりやや広く、温度とともに狭くなるが、4.2 K以下で鋭い line が現われ、この line は温度と共に更に狭くなった。この鋭い line は size 効果により T_1 が長くなつたものではないかと思われる。Al-Mn 合金の微粒子中の Mn の NMR の Knight shift による変化を現在調べている。

3. 微粒子の製法とその状態

3-1

(東大・理) 川村清

ガス中蒸発による微粒子生成過程についての既存の理論を紹介し、統計論的立場から今後の見通しについて述べた。

3-2

(名大・教養) 紀本和男

アルゴンガス中の蒸発で作った種々の金属微粒子(径数百 \AA)の色、形、格子および空気に触れた時の酸化物について報告する。

- 1) 色—一般に黒色であるが、黒色でないものもいくつかある。例えば、Cu は pale red Se は deep carmine である。
- 2) 形—微粒子は、その大きさが 200\AA から 0.2μ の時、晶癖をもつ。しかし大きさが小さすぎる場合、および大きすぎる場合には丸くなる。
- 3) 格子—格子定数は有効数字 3 術までの測定では bulk の時と同じである。Cr, Mn の微粒子の中には bulk では知られていなかった新しい格子が発見された。Se, Ga の微粒子は非晶質である。
- 4) 酸化物—電子回析から、存在および名称のわかったものについて報告する。例えば、BeO MgO, MaO 等々の存在は明らかである。
- 5) その他—粒子の大きさは圧力の増加と共に大きくなるが、30 Torr で大きさは飽和する。又小さい粒子では粒径分布の巾が狭くなる。

3-3

(名大・工) 上田良二

ガス蒸発法で作った Al 微粒子の粒径分布に関する実験結果(大学院学生、八谷繁樹による)を報告する。粒径分布は蒸発時の金属の温度を一定にすると鋭くなることを見出した。系統的な

研究の結果、平均粒径はガス圧のみならず蒸発時の温度に依存することを明らかにした。例えば He ガスの圧力を Torr にて一定としても、温度を 1100, 1300 および 1500°C とすると、平均粒径は 250, 450 および 650 Å と変化する。ただし試料捕集位置は蒸発源の上 8 cm である。アルミナコートした W バスケットで作った Al 微粒子は He の圧力が小さくなると金属アルミニウムの他に非晶質の物質が混在する。そのような非晶質のできる原因はなお不明であるが、恐らく二次的な効果と考えられる。

3-4

(東北大・金研) 大坪秋雄

通常の蒸発法でつくった Cu は Cu_2O-CuO の 2.4 \AA° 位の酸化物層がある。酸化と粒子間の連結を避けるため、ペルシャー中に油を流し生成粒子を洗い落して油中分散試料をつくる方式を開発した。NMR の予備実験を行っている。

3-5 星間ガス

(東大・天文台) 上条文夫

宇宙の星間ダストについて概説し、その生成ガス中蒸発法による微粒子の生成と似ているため、実験室シミュレーションとしての意義があることを述べ、予備的な実験について説明した。

4. 同一物質に関する実験結果の比較とまとめ

Al と Cu をとりあげ、前者については、東大と名大の各グループ、後者については、北大、東北大、東大の各グループの NMR、帯磁率などの測定結果を試料の状態も含めて比較しつつ討議した。その結果、グループによるデータの喰い違いは、試料の差（例えば、粒子間が電気的に連結されているかどうか）によるらしいことと、この点を考慮すると、久保効果が観測にかかっていることが判った。しかし、これだけで断定はできない。

最後に問題点や今後の研究の進め方について意見交換を行ったが、(1) 試料としては孤立粒子の集合体を用いること（東北大金研の油中に分散させたものは適当であろう）、(2) NMR の磁場変化、(3) Al などで超伝導の特性を調べること、(4) 比熱の測定 などが今後の問題としてあげられた。

総合しての感想として、この研究会では、甚だ有意義であったように思われる。わが国で発生した問題でもあり、この研究会の成果もふまえ、今後の関係の方々の研究成果を大いに期待したい。

「ヘリウムの物性」報告

昨年3月に、1回目のヘリウムに関する短期研究会を開いてから早くもほゞ1ヶ年を経過した。液体及び固体ヘリウムの実験研究がこれまで我国で非常に低調であったことは周知の通りであるが、LT12を1つの契機に、この分野の実験がようやく盛んになりつつある。今年の研究会は、昨年の会で提案、検討された種々のプランがその後どのように発展しつつあるかを知って、今後の問題点を探るために開かれた。研究会は1月31日より2月2日までの3日間、物性研究所で行われ、出席者は前回とほゞ同じく55名であった。プログラムは、全体が5つのセッションに分かれ、それぞれ、まず実験家側から話が有って、次に理論家がコメントするという形式をとった。以下は、各セッションの座長にお願いしてまとめいただいた報告である。座長をつとめて下さった方々をはじめ各位の御協力に心から感謝したい。

世話人：碓井恒丸，中嶋貞雄，生嶋明

I 光散乱

この分野においては、2つのグループから実験報告、そして2人の理論家のコメントが寄せられた。前者は東教大の檜原グループ（富永、中沢、松本、檜原）、および東大物性研の生嶋グループ（大林、鹿児島、生嶋）からのもので、たまたまテーマが競合したため、かなりつっこんだ意見の交換が行われ研究会らしいもり上りがあった。課題はヘリウムの臨界現象をレーリー散乱で調べる、というもので、ここで言う臨界とは一転移のそれではなく温度が5.2K、圧力1705mmHgでのgas-liquid転移である。この点の近傍でcritical scatteringがどのように増大するかをscaling lawの立場で散乱強度Iが $I \propto \epsilon^{-\gamma}$ 、但し $\epsilon = (T - T_c) / T_c$ としたときの臨界指数γをできるだけ高精度に求めようというものである。テクニカルにはいかにP, Tなどを精密におさえ、かつ光カウンティングを良くするかとの点で競合し、結果的にはγのデータで競合する形となった。東教大グループは $\epsilon \sim 10^{-3}$ 近傍で $\gamma = 1.17 \pm 0.03$ と求めたのに對し、物性研グループは ϵ がより小さい $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 領域で 1.47 ± 0.05 と明らかにくいちがい、これに対する最終結論は得られなかった。今後の発展を待ちたい。

宗田（東教大）はレーザーラマン散乱の実験を $\text{He}^3 - \text{He}^4$ 混合液にまでばしてほしいとの提案を行った。中性子散乱の方が原理的にはよいのだが、 He^3 が中性子吸収体なので光で、と

いうことである。ねらいはとくに He^3 が数%程度混入した系では He^4 系で見られる **rot on** によるピークがシフトし、さらに **pair interaction** で生ずる分散関係を反映するサブピークが現れるはずだ、というものである。ただこのピークシフトの大きさ、方向について反論も出され、実験をも含めて今後の問題のように思われた。

中嶋(東大物性研)は液体および固体ヘリウム中での非弾性散乱についての提案を行った。メスバウアー効果の研究に用いられているシャープな γ 線を用い、液体ヘリウム中のいろいろな **excitation** をラマン散乱でとらえられないかというものである。テクニカルな問題もあるので大野和郎(東大物性研)にもとくに出席を求め討論が行われた。He II 中の素励起を非弾性的に γ 線に背負わせるためには $1 \sim 30 \text{ m/sec}$ のドップラーシフトを実現する必要があること、関連する運動量が **comparable order** なので中性子散乱に比すべき情報量が期待されること、散乱確率は Thomson 散乱で評価できること等がのべられ、出席者の多くの興味を呼んだ。しかし実験的にはこれまでに非弾性 γ 線散乱のデータがないことがあげられ、その理由として γ 線の絶対量が少く、また γ 線がシャープすぎて現象が皆バックグラウンドに沈んでしまう等の事がネックになるのではないかとのことであったがこれも勿論確信のある答ではなかったようである。もし成功の見通しがつけば大変面白く、応用範囲も単に He II のみではなくて、物性一般にひろがる可能性があるようである。

(伊達宗行)

II λ 転移

生嶋、照井(物性研)： He^4 , He^3-He^4 のラムダ点近傍の第二音速。**resonant cavity** による測定。 $\log u_2^2$ vs. $\log (T_\lambda - T)$ は $10^{-1} > T_\lambda - T > 10^{-5}$ K, 29 atm. $\geq p > s.v.p.$ で互に平行の直線となり、 u_2^2 の **critical exponent** は圧力によらず一定のように見える。しかし Ahlers の比熱を使うと ρ_s / ρ の **critical exponent** が圧力とともに若干増大している気配が見られる。これから算出された **phase correlation length** $\xi = \xi_0 \bar{\epsilon}^\nu$ の基準長 ξ_0 は平均原子間距離に比例している(多少強引な結論?)。もしこれが事実ならばつまらない結果ではない。長さの自然単位はこの他に熱運動の de Broglie 波長もあるのだから。混合液は信号がなぜか極めて微弱であるとのこと。しかし見込はあるように聞いた。折角の努力を希望したい。

杉谷, 朴, 上原, 西沢, 土出(東教大)：ヘリウム II の第二音波。現在は純ヘリウムについて u_2^3 の **critical exponent** ζ が得られたところ。他の測定値と並べると

測定者	ζ	$T_\lambda - T$
Pearce	0.772 ± 0.005	$4 \times 10^{-1} \sim 2 \times 10^{-4}$ K
Tyson	0.773	$\sim 5 \times 10^{-5}$ K
Present	0.770 ± 0.005	$\sim 4 \times 10^{-5}$ K

平井、福田(京大理) : He^3-He^4 混合液のスピン拡散率。 λ 点近傍での NMR 信号の異常をしらべる。Carr-Purcell の spin echo 法 ($90^\circ - \tau - 180^\circ - 2\tau - 180^\circ - 2\tau - 180^\circ \dots$) により、 $2\tau, 4\tau, 6\tau, \dots$ に現われる echo の decay を観測する。decay は $\exp(-\frac{1}{2}D\tau^2 G^2 \tau^2 \cdot 2n\tau)$ に従う (G は磁場勾配)。現在は予備実験の段階であり水で decay の法則が check された。

理論家のコメント: 宗田(教育大)による λ 点近傍の熱力学量の異常の計算。parquet グラフと renormalization を使って exponent を算出すれば scaling law が成立する。なお Migdal 埋論の検討が望まれる。川本、恒藤(京大理)の比熱の話。純 He^4 に関する Patashinskii-Pokrovskii 理論の log の係数を normal の熱力学量で表わし、実験領域 ($(T-T_\lambda)/T_\lambda > 10^{-6}$) では C_p の対数部分のほとんどが C_v からの寄与(これは勿論 λ 点で有限)であることを示した。同様の結論は Lee-Puff によって現象論的仮定から導かれている。西山(阪大)は微粒子を塡めた回転環の中の超流体は、back flow によって運動量が与えられると解釈される Rudnick たちの実験と考え方を紹介した。鈴木(物性研)が critical exponent と anomalous dimension と題し、Baxter の eight-vertex model の厳密解に発した philosophy, critical exponent がハミルトニアン中のパラメータとともに連続的に変化する場合があり得ることを強調したほか、植山(阪大)の macroscopic observables の stochastic equation に関する考察、山崎(東北大)の lattice Green's function の計算等が述べられた。

以上のまとめには山内淳氏の協力を得た。
(雄井恒丸)

III He 中の不純物

このセッションでは液体 He^4 中に多量のイオンを発生させる放電法とホット・カソード法を考え出した伊達ら(阪大理)のグループの実験の経過の報告があった。この方法では He^4 中に生ずる電流特性の研究やイオンの易動度の電場依存性が調べられ、さらに負イオンの electron bubble の電子構造を赤外領域での光吸収によって研究することの計画が述べられた。伊達、

堀、豊川の3氏が順番に話をされた。まず、伊達は、同グループでの実験の概略の説明に次いで、ホット・カソード法の電流・電圧特性が bubble の空間電荷及びオームの法則を仮定することから大体説明出来ること、易動度の電場依存性が vortex IC trap された bubble が飛び出す確率に依るものとして定量的によく説明出来ることを述べた。次に、堀は、ホット・カソード法のカソード、アノード間にグリッドを入れ、グリッド電圧をパラメータとした特性を測定した結果を報告した。電流電圧特性は予想通り3極管に似ているが時として奇妙な音が発生し、それがプレート電流と密接に関係しているとのことであった。なお、今後、プラズマ共鳴などの実験も予定されており、若干実験が進行中の模様であった。最後に、豊川は、He II 中のプラスおよびマイナス・イオンによる負の光伝導度が認められること、及びマイナス・イオン(つまり電子 bubble)の電子構造に関する光学測定の話が有った。特に前者は、多数生成されたプラス、マイナスのイオンの再結合が、 $2 \mu \sim 0.4 \mu$ 程度の近赤外可視領域の光で促進されるとしてよく説明出来ることのことであった。このグループで行なわれているのは日本独特の実験方法で、国際的にも秀れた仕事と評価されるのは、発生される多量のイオン流を使って精密な実験が出来ることにかかっているので、今後大いに期待したい。

ついで理論家のコメントとして Stanford 大学の Fetter の所で研究を頼まれ、東大工学部に戻られた井口が渦糸に捕ったイオンに交流電場を渦糸に直角にかけて渦糸の内壁の表面波に相当する vortex wave を共鳴によって励起するのを交流電場の失う電力によって測定することの可能性を理論的に示した。彼はこの方面の数少い専門研究者の一人である。

また最後に中嶋、鈴村(東大物性研)による液体 He⁴ 中の中性励起原子の作る泡のエネルギー・レベルの計算を鈴村が発表した。この様な計算によって $2^3 P \rightleftharpoons 2^3 S$ の遷移スペクトルの実験の結果を明瞭に説明した。

このセッションでは質問も多く出され、活発な議論も行われて、与えられた時間を 20 分も超過する程であった。この He 中の不純物は多くの人が関心を持っている問題で、イオンを Probe として He 中の素励起の研究、渦糸や渦輪の運動を研究出来るので、今後多くの実験家や理論家が数多く仕事をされることが特に望しく思われる。

(宗田敏雄)

IV 核磁性

実験側からは主として計画中の実験の説明があった。何れも He³ の核磁気に関するものである。第一は三沢(日大理工)の計算で期待されている液体 He³ の核帯磁率の低温における異常を実験的に確かめようとする試み(齊藤、神田(東北大金研))で、異常が微少であるだけに実験は精度

を必要とし果して決定的な結論が出せるかどうかが問題となった。また齊藤は $\text{He}^3 - \text{He}^4$ 系の T_2 のラムダ点での異常の実験は定量化の必要があることを述べた。第二は磁場中で液体 He^3 を断熱固化することによって 1 m K以下の低温が生成できるとの理論的予想の紹介と実験の提案（神田（東北大金研））である。最後に平井（京大理）が昭和 46 年科研費一般 A で受けた “Nuclear Ordering の研究” の計画の内容と進行状況を報告した。これは固体 He^3 の NMR の研究で、スピンが反強磁的にオーダーした状態の NMR が目標であろうが、それまでに存在する幾つかの困難がやがて克服されることを期待しよう。

理論家よりは、 He^4 を含む固体 He^3 のスピン一格子緩和の理論（中島、恒藤、山下（京大理））とフェルミ液体理論に関するコメント（三沢（日大理工））があった。中島らは固体 He^3 の T_1 が He^4 を不純物として入れると著しい影響をうけるという実験事実の説明を試みた。 He^3 と He^4 原子がトンネル効果で入れ替るとき起るスピン系のエネルギー変化が He^4 とフォノンとの非弾性散乱でフォノン系に流れる過程に注目し、 T_1 を二次摂動で求めた。 He^4 濃度が大きくなるとその間の相互作用が無視できなくなり 1 %以上では濃度依存性が変ってくる。計算結果は低濃度・高濃度とも実験事実と合っているとのことであった。三沢は液体 He^3 と金属 Pd など帶磁率の enhancement の大きい系で Spin fluctuation 理論と Landau のフェルミ流体理論の結論が質的にちがっていることを指摘し、それぞれの問題点、例えば前者における RPA (random phase 近似) が妥当でないこと、について意見を述べた。関連して三沢の指摘した問題のチェックにはどんな実験（例えば前出の帶磁率、磁場下の比熱）が必要かについて意見の交換があった。

（菅原忠）

V 素励起の諸問題

素励起の問題は、 He^4 に限ってみても、液体と固体とでは、問題の本質が勿論異っているし、更に、液体だけをみても、長波長のフォノン、中間波長のロトン、短波長の個別粒子等々の励起状態で、夫々に、非常に特徴的な問題がある。この研究会でも、それらの、いくつかに就いて、議論がなされたので、筆者の理解力の範囲内で、紹介したい。

- (i) 前回の研究会で、比企・生嶋*・木暮（東工大理，④東大物性研）は、液体 He^4 中の超音波吸収 (Roach et al.) の圧力・温度依存性が、フォノン・スペクトル $\epsilon_p = c_p(1 - \gamma_p^2)$ の γ の圧力依存性（低压で負、高压で正になる）を考慮すれば、良く説明されることを指摘した。今回は、飽和蒸気圧から 17.8 気圧まで、及び、0.1 K から 1 K の範囲内での、10 MHz 超音波の測定結果を報告され、前回のコメントを支持していることを述べられた。

ところで、 γ の圧力依存性は、比熱の温度変化の解析(Phillips et.al.)によるが、それについて、以下のような山田・石川(名大理)のコメントがあった。フォノン・スペクトル自身の温度変化はないとして、比熱を計算すると、 T^3 項からのづれが、 $\gamma \cdot T^5$ に比例した形になり、上述の結果を得る。しかし、フォノン間の相互作用を考慮すると、 ϵ_p 自身も温度変化する筈で、実際、量子流体的近似で得られる相互作用を用い、その最低次の振動で、比熱への寄与を求めてみると、結局、 T^7 に比例した修正項になり、無視出来る。結論として、Phillips達の結果を変えないが、 $\gamma < 0$ の素励起は、やはり考え難い。

- (ii) 中性子散乱(Henshaw - Woods)により、ロトンの励起エネルギー(Δ)及びスペクトル巾(Γ)の温度変化が調べられたが、 λ 点の上下でかなり異なった様相を呈する。低温側では Δ の変化は、ロトン密度に比例し、 Γ も定性的には似た振舞いをするが、定量的にみると、単純な Born 近似(Landan - Khalatnikov)では説明出来ない。永井(東大教養)は、前回の波多野・永井・野島のコメントに関連して、ロトン間の相互作用を、夫々の運動量の相対角度のみに依存するとして、適当な形を選べば、二体の多重散乱を考慮したロトンの自己エネルギーを求めた結果、実験事実を良く再現し得ることを示した。一方、高温側では、 Δ , Γ 共に、なだらかな温度変化を示す。それに関連して、武野(京大工)は、液体中でも、高い振動数の励起状態にある原子は、固体内のそれと類似しているとの考察の下に、フォノン・ロトン励起を amorphous quantum solid 中の phonon の拡張として議論し、 Δ の温度変化を、旨く説明する結果を導いた。この描像と λ 点以下の現象との関連等、今後の検討が待たれる。上とは少しく立場は異なるが、最近、超流動状態の $\text{He}^4 - \text{He}^3$ 混合液中で、ロトン密度の測定から、 Δ を推定した実験がある。それによると、 He^3 の割合が増えると、 Δ は減少し、むしろ高温側での純粋 He^4 液体の値に近寄り行くよう見える。それについて、大見・川本・恒藤(京大埋)は、ロトン- He^3 間の相互作用として、散乱型及び吸収放出型を仮定し、夫々について、最低次の振動で、ロトンの自己エネルギーを計算した結果、相互作用の強さとして、 He^4 、 He^3 を夫々剛体球とみなした時のものを用いると、オーダーとして、実験を説明し得ることを示した。
- (iii) 中性子散乱(Cowley - Woods)によれば、液体 He^4 中でも、非常に波数の大きい励起状態(3.6 \AA^{0-1} 以上)のエネルギーは、殆んど自由原子の値に等しい。又、その時のスペクトル巾は、波数の増加と共に、階段状に大きくなるが、西山(阪大教養)は、特に、 $3.6 \text{ \AA}^{0-1} - 5 \text{ \AA}^{0-1}$ の範囲内では、フォノンを媒介とする個別粒子間の相互作用の効果が主で、自由粒子に対するガウス分布の巾とを合わせると、大体、実験値の 80% を占めることを指摘した。他方、そのスペクトルの面積から、凝縮体密度 n_0 を推定することが出来る (Hohenberg et.al.)。

そ
自
に
す
・
ps
・
ク
・
は
純
よ、
目対
ネル
て、
り励
を
化を、
る。
定か
高温
京大
、最
 e^3 を
た。
い励
・
クト
l
- 5
・
IC対
う、そ
t.al)。

実際、Puff 達は、スペクトル函数の形をガウス型と仮定して、Harling の実験を解析し、 $n_0 = 0.06$ を得た。それに対して、Jackson の、その函数形に対する疑議があり、その間の事情の考察を一柳(阪大工)が行った。

IV) 固体He のように、質量が小さく、原子間引力の弱い原子からなる結晶を考えるには、格子点の零点振動とハード・コアの影響による短距離相関の考慮が本質的である。最近、岩本・生井沢は、その基底状態の議論に、有効な近似方法を見い出し、その定式化を行った。今回、その定式化を、更に、励起状態を含めた場合にも、拡張出来ることを生井沢(東大教養)が示した。先ず、任意の周期的外場中で定義されたワニエ函数を用いて、ハミルトニアンを第二量子化し、それで二体の散乱行列を求め、それらを平均的に考慮した有効場を定める。それが、最初の外場に等しいと置けばよい。実際、单一格子点内の励起状態を表わす演算子の運動に関して、ランダム・フェイズ近似を行うと、長波長のフォノンに対応する励起状態が得られることを示した。

(中嶋貞雄, 文責 黒田義浩)

「磁性体分光の現状と将来」短期研究会報告

菅野 晓
守谷 亨

昭和44年2月に「磁性体の分光学」短期研究会が開かれたが、その時の目的は磁性体の分光学的研究がその数年の間に急激に発展したので、その分野に興味を持つ研究者が集ってホットな問題について討論することであった。その後、この分野の研究は発展を続け、いくつかの質的に新しい発見もなされたが、現在では今迄に発見された新しい現象が種々の磁性体でどのように現われるかを調べること、及びその奥にひそむ更に新しい現象を掘り出すことが重要であるように思われる。このような状況のもとに磁性体分光の現状を分析すると共に将来の指針を探ろうとするのが、こゝで報告する研究会の目的であった。したがって、この会では、reviewと将来の展望を含めた総合的な講演を骨格とし、学会発表的な講演はなるべく少くするように心掛けた。出席者に対しては申込制を採った為、出席者数は約50名であった。プログラムは次のようなものである。

2月4日 午前 9:30～12:50

- マグノンサイドバンド 東大工 田辺行人 (40+20分(討論時間))
- マグノンサイドバンド等の温度
依存性 阪大基礎工 望月和子 (20+10分)
- CsMnX₃ - 2H₂O (X=Cl, Br) のマグノンサイドバンド 京大理 中川雄嗣、辻川郁二 (15+5分)
- スクリュー構造の2マグノン吸収及び散乱 阪大工 興地斐男、寺川澄雄 (15+5分)
- スピン波不純物状態の分光学的研究 神戸大理 利根川孝 (30+10分)
- イジングスピン系における光吸收 NHK基礎研 青柳淳 (20+10分)

昼 食

2月4日 午後 2:00～5:10

- 励起子 東大物性研 菅野 晓 (40+20分)

- マグノンの高密度励起が出来た

場合 京大教養 川崎辰雄 (15 + 5分)

休憩 20分

- 磁性化合物における光散乱 R C A 基礎研 井上通子 (40 + 20分)

○ FeBO₃ のラマン散乱 電総研 腹塚直己、奥田高士

対馬立郎 (20 + 10分)

光
な
に
現
に
す
の
。
も

2月4日 夜 NHK基礎研、対馬国郎氏のお世話で懇親会

2月5日 午前9:30~12:20

- Circular - Dichroic Properties of

Magnetic Fluorides 東大物性研 W.M.Yen (40 + 20分)

- 励起子分散による旋光能の理論 京大埋村尾剛、加藤聰子

辻川郁二 (20 + 10分)

- Photo emission 東大物性研 守谷亨 (40 + 20分)

- コメント 東北大理 石井武比古

昼 食

2月5日 午後1:30~5:20

- 磁性金属における光散乱 東大物性研 川畠有郷 (40 + 20分)

- 遷移金属磁性半導体 東大理 上村洸 (40 + 20分)

休憩 20分

- 稀土類磁性半導体 東北大理 糟谷忠雄 (40 + 20分)

- 稀土類磁性半導体の光伝導機構 東大教養 真隅泰三 (20 + 10分)

この研究会で討論された話題の概略を、世話人の責任でまとめてみよう。

§ マグノン励起を伴う吸収、発光

2ヶのマグノンの同時励起、および1ヶの励起子と1ヶのマグノンの同時励起による吸収(マグノンサイドバンド)が、比較的大きな強度で観測されることを弗化物反強磁性体で見つけてから、種々の酸化物磁性体などでもそのような吸収の観測がなされるようになった。これによって、マ

グノンのエネルギー構造、あるいは種々の交換相互作用についての知見が増えつつある。この種の吸収について、3年前に得られた進歩は、励起の終状態におけるマグノン-マグノン相互作用や励起子-マグノン相互作用が、 $T = 0\text{ K}$ における吸収スペクトルの位置及び形をきめるのに重要であることがわかったことである。その後問題になっている重要な話題は

- (1) このような吸収の強度、位置、形の温度依存性；
- (2) 更に多くのマグノンを同時励起する機構；
- (3) フォノンの吸収スペクトルに対する寄与；

等である。

(1)の問題については、この数年間に詳細な多くの研究が日本でなされ、スペクトルの強度、位置について、少くも定性的な理解が得られるようになった。実験的には、マグノンサイドバンドの強度は T_N 以上で増加しない（むしろ減少することがある）。理論的には、その強度が T_N 以上では一定になることが示された。この場合、コールドバンド（励起子吸収線の高エネルギー側のマグノンサイドバンド、但し励起子分散は零として）の強度は、 T の増加と共に減少するが、ホットバンド（励起子吸収線の低エネルギー側のマグノンサイドバンド）の強度は T の増加と共に増大し、両方の和は、 T の増加と共に T_N 迄増大、 T_N 以上では一定になるのは興味深い。実験的には、温度が上ると、コールドバンドとホットバンドは重って区別がつかなくなるが、理論的に導びかれたコールドバンドの温度依存性は、後に述べる2-励起子吸収強度の温度依存性をよく説明する：2-励起子吸収にはホットバンドに対応するものがない。 $T > 0$ におけるマグノンサイドバンドの形については、2次モーメントが計算されたが、不明な点が多い。

(2)の問題については、最近4-マグノン励起の光散乱、2-マグノン（或はn-マグノン（ $n \geq 2$ ））と1-励起子を同時励起する吸収、等についていくつかの実験的報告があるが、その説明には不明な点が多い。これからの問題であろう。

(3)の問題については、フォノンと強く結合している励起子吸収には、マグノンサイドバンドの他に、強度の大部分をもつての広いサイドバンドが現れるというはっきりした実験事実がある。最も簡単なこのサイドバンドの解釈は、それが1-励起子、1-マグノン、および多くのフォノンを同時に励起する吸収であると考える。この場合、その強度は1-マグノン励起で与えられ、その形は多フォノン励起で与えられると考える。このような考えでは、励起子吸収とマグノンサイドバンドは零フォノン線であるとみなす。マグノン、フォノン、励起子を同時に考えた取扱いは未だなされていない。フォノンとの結合がよわい励起子のマグノンサイドバンドの形および強度についても、高温でフォノンの寄与が大きくなることは充分考えられることであり、その事実

を示す実験結果も得られている。

以上は不純物等のない完全結晶の場合であるが、不純物がある場合のマグノンについて、ラマン散乱、遠赤外吸収、発光の実験がなされてきた。詳細な理論的研究も行われ、現在ではその理解が深まっている。特に発光の場合には、不純物に励起が捕ってから発光する確率が大きいので、この問題は實際上重要である。興味ある問題として、不純物スピニ間の干渉効果があり、その理論的取扱いが最近なされている。

§ イジングスピニ系における光吸収

稀土類磁性体では、軌道角運動量が生残っていることとスピニ軌道相互作用が大きい為に磁気異方性が大きく、イジングスピニ系として振舞うことが多い。稀土類磁性体の分光実験は数多くなされ、実験結果の解析には、分子場モデル、クラスターモデルが専ら用いられ一応の成功をおさめている。しかし、これらのモデルの間の関連性やモデルの有効性に関する基礎附けについて、その理解が充分であるとは云えない。分子場モデルとクラスターモデルの適用性について、実験者側からの考えが述べられた。

§ 励起子吸収、発光

この問題については最近いくつかの詳細な研究がなされ、励起移動の大きさを決める種々の交換相互作用の大きさがわかつてきた。又、励起子吸収は巾の狭いスペクトル線として観測されるので、その細い変化からミクロな磁性の変化を調べることが出来る。その例として、オーソクロマイト磁性体における磁気相転位(スピニ再配列)の分光学的研究をあげることが出来る。この場合、磁気相転位は励起子吸収線の移動、強度の変化に反映されるが、スペクトル線の巾はひろがらないので、転移の追跡が可能になる。その他、これから問題として

- (1) 2-励起子吸収に見られる励起子間相互作用、
- (2) 紫外、真空紫外、軟X線領域における、d電子の関係した励起子吸収
- (3) 高密度フレンケル励起子の発光

等があげられた。

(1)の問題については、最近弗化物磁性体で2-励起子吸収が観測され、励起子間相互作用の大きさが実験的に決められた。この中には、交換相互作用では説明出来ない程大きなものがあり、その原因是明らかでないがフォノンとの相互作用が重要な役割を果しているように思われる。2-励起子吸収のフォノンサイドバンドのピークが1-励起子吸収のそれの2倍のエネル

ギーの所にあることも指摘された。

(2)の問題に関する実験結果は最近次第に集りつつあるが、信頼出来る結果はそれ程多いとは云えない。光吸收では、光電子放出と異って、励起電子と残された電子との相互作用（広い意味の励起子効果）が重要になる。特に電子間相互作用が大きいと思われるd電子では励起子効果を取り入れることは第1義的な重要性をもつ。結合帯からd準位への遷移（勿論広い意味の励起子効果を取り入れた）は電荷移動遷移と呼ばれ、反磁性結晶に遷移金属を不純物として入れた場合、基礎吸収端の低エネルギー側に振動子強度 $10^{-2} \sim 10^{-1}$ の吸収として観測される。この吸収には、d-電子間相互作用による多重項構造があらわれているように思われる。しかし、磁性結晶でも電荷移動吸収が基礎吸収端（結合率→4s伝導帯）の低エネルギー側にいつも現れるだろうか？ d-準位から4s一帯、4p一帯への光遷移についても殆んどわからっていない。

(3)の問題提起は次のような事情からなされた。相互作用のない2-準位原子集団では、輻射場と原子の相互作用により或程度 coherence な状態が作られる。これを理想化したのが、Dicke の超輻射状態で、こゝでは半数の原子が励起され、原子数の2乗に比例した強度の自然光放射が期待される。この超輻射は フォトンエコーの第3パルスとして観測される。では、原子間に相互作用がある場合はどうであろうか？ 最近接原子間相互作用のみを考えた（輻射場との相互作用は無視）1次元フレンケル励起子系で、原子数8迄の場合には、excitonic coherence とでも呼び得る coherence が或程度存在して、半数励起で超輻射状態に近い状態が得られることが示された。原子数が更に増加した場合にこの coherence がどのようになるか興味深い。このような励起子系は磁性体で実現出来る可能性がある。

(3)の問題と直接的な関係はないが、2-マグノン吸収等で有限波数のスピン波が coherent にある密度以上に励起された場合、 $k = 0$ のスピン波モードが熱的に励起されているマグノン以上に成長する可能性があることが議論された。

§ 光 散 乱（化合物）

磁性体における光散乱の研究がはじまって以来既に5年余り経過し、その間に問題の大筋は大へんよく理解される様になった。しかしながら理論的に予言されながら未だ観測されていない問題として臨界散乱、強磁性体の2マグノン散乱、ヘリカル反強磁性のスピン液による散乱等々があり、又実際に測定の行われた物質も比較的小数に限られている。

一方理論的説明の未だ不十分な測定結果としては散乱強度の温度依存性やネール点以上の2マグノン型スペクトルの問題などがあり、これらは主としてスピン系の統計理論の問題に帰せられ

云
り
取
果
楚
に
晶
う

、
、
然

子
の

に
の

nt

以

は
大
へ
問
々が

2マ
られ

ると考えられる。これらの話題を含む現状の解説があり、更に最近の話題として NiO , KNiF_3 で観測された 4 マグノン散乱の結果と解釈が紹介された。

次いで実験の報告として、弱い強磁性を示す FeBO_3 におけるフォノン（マグノンと結合している）による光散乱の結果が披露された。

§ 円偏光 2 色性、旋光性

最近、磁性体の分光学的研究手段として、吸収、発光の測定以外に、磁気円偏光 2 色性 (MCD) の測定が有力な手段として登場してきた。MCD が有力になる場合は、今の所、1 軸性結晶の場合に限られているが、吸収スペクトルとは異った情報を与えてくれる。未だ理由はよくわかっていないが、吸収スペクトルを複雑にするフォノン構造が MCD スペクトルに現れないよう見えるのは、MCD 測定の長所である。現在多くの弗化物磁性体についてデータが集りつつあり、1-励起子と 2-マグノンの同時励起に対応すると思われる MCD スペクトル等も見つかっている。

MnF_2 結晶で零磁場における円 2 色性 (CD) が観測されたのは興味深い。この CD は [110] 方向に小さな stress があるとして説明出来るが、それが試料に依存しないことからみて、結晶固有の性質であるのかも知れない。 MnS の予備的実験でも、CD が見つかっている。

励起子分散のある系の CD (あるいは旋光性) について、励起移動が CD スペクトルにどのような寄与をするのか理論的に調べられている。しかし、今迄の理論的取扱いに不充分な所があって、今迄に知られていない新しい寄与があることが指摘された。

§ Photoemission

外部光電効果 (photoemission) は最近磁性体の研究の重要な手段として注目されている。元来この方法はバンド構造をしらべる手段と考えられることが多いが、磁性体の様に電子相関の強いものではむしろ体系から電子を 1 個とり去るときのエネルギー・スペクトルを多体効果も含めて測定していると考えるべきである。

磁性体の可能な多体効果が解説され、それが表われている可能性を示す実験事実として UPS (紫外光電子スペクトル)、XPS (X線光電子スペクトル) の温度変化、低温における光電子のスピン偏極の測定等が紹介された。

そしてこの方法が金属・絶縁体転移及びその近傍にあると考えられる多くの化合物磁性体の研究にも有効である可能性が、実例に対する予想をまじえて指摘された。

一方実験の側からは、現在の実験精度が未だ十分高いとは云えず、理論家が測定結果を見るとき十分の注意が要することが指摘され、多くの測定の実例が示された。

§ 光散乱（金属）

磁性金属における光散乱の研究は理論の方が先行し、実験は未だほとんどないと云つてよい。理論的には稀土類金属に対する s-f モデルによる取り扱いと、遍歴モデルにもとづく遷移金属に対する取り扱いとがなされている。前者ではスピン依存電気分極率（伝導度）を使う従来の方法が有効で、それを s-f モデルによって求め、スピン波による散乱が予言されている。一方遷移金属の場合にはスピン波ばかりでなく、いわゆるストーナー励起による光散乱も可能であり、グリーン関数を使う一般的な方法で取り扱われている。又スピン密度波状態ではフェルミ準位にあるエネルギー・ギャップにおける電子励起が、光散乱によって観測されることが予言されている。

これらの予言による光散乱強度はいづれも比較的小さく、現在の測定精度の限界のあたりにあると考えられ、今後の実験研究が期待されている。

§ 遷移金属磁性半導体

現在、カルコゲナイト・クロム・スピネル型強磁性半導体の基礎吸収端附近の構造について、多くの分光学的研究がなされている。実験的には、吸収ピークの温度依存性、MCD, Kerr 効果等が調べられている。吸収端の構造は①T→0 Kに対し、わずか高エネルギー側に移動（青色移動）するか、或は殆んど動かないもの；②T→0 Kに対し、大きな赤色移動を示すもの；に分類出来る。①の構造は d-d 遷移によることが示された。②の構造は、2 倍の陰イオンが抜けた格子欠陥に 2 ケの電子が捕えられ、その捕獲中心内での光遷移によると考えた。この中心では、常磁性状態で、1 重軌道に反平行スピンをもった 2 ケの電子を収容した基底状態をもつ。強磁性状態では Cr³⁺ スピンとの交換相互作用の為に、同じ 1 重軌道と、1 電子軌道としてはそれより軌道エネルギーの高い 2 重軌道に、それぞれ 1 ケづつの平行スピン電子を収容した状態が基底状態になる。このようにして、捕獲電子と Cr³⁺ スpinとの交換相互作用が、青色移動を説明すると考えた。捕獲電子軌道としては、Cr³⁺ の eg 軌道を用いるので、この場合の交換相互作用は Cr³⁺ イオン内の d-d 交換相互作用を考えている。

§ 稀土類磁性半導体

このような磁性体として、① NaCl 型の RX (R は 2 価又は 3 価の稀土類イオン; X^{2-} の場合は O^{2-} , S^{2-} , Se^{2-} , Te^{2-} 等 (chalco genide); X^{3-} の場合は N^{3-} , P^{3-} , As^{3-} , Sb^{3-} , Bi^{3-} (pnictide))、② 変形 NaCl 型の Th_3P_4 型の化合物等が考えられる。

$R^{2+}X^{2-}$ としては、 $Eu^{2+}X^{2-}$ がよく調べられたが、最近 $Sm^{2+}X^{2-}$ が注目されている。 $Sm^{2+}X^{2-}$ の Sm は 3 価になりやすいので、試料作りがむづかしいが、金属一絶縁体遷移等を示すので興味深い、 $R^{3+}X^{3-}$ は金属的な性質を示すと考えられていたが、試料がよくなるにつれ、伝導電子による吸収が消え、半導体的になりつつある。

Th_3P_4 一型化合物は、その組成が連続的に変化し得るので興味深い。この化合物の 1 種である $Gd_{2+x}S_3$ 等では x を変えることにより、伝導電子の数を変えることが出来る。 $La_{2+x}S_3$ は超伝導を示す。

稀土類磁性半導体における磁気相互作用には、伝導帯を通した交換相互作用が重要である。伝導帯への仮想遷移は、フォノンとの相互作用、電子間相互作用等によって引起される。このことは、磁気相互作用が分光学的性質と関係していることを示している。 $(\vec{S}_1 \cdot \vec{S}_2)^2$, $(\vec{S}_1 \cdot \vec{S}_2)(\vec{S}_1 \cdot \vec{S}_3)$ 等の形をした高次の磁気相互作用は、1 次の相互作用の 10^{-2} 倍位であると評価される。

将来の問題として、 Sm_x の金属一絶縁体転位、金属相の問題、光スペクトルが論じられた。

稀土類磁性半導体の光伝導については、今迄比較的多くの測定がなされているが、電気抵抗が大きな領域の測定には実験的な問題があることが指摘された。電気抵抗の高いイオン結晶の研究で開発された方法を用いて、 EuO の光伝導、ホール効果を測定したきれいな結果が紹介された。今迄に発表されている伝導に関する実験の再検討が望まれる。

物性小委員会報告

昭和47年2月1日 14時30分-20時

物性研究所旧棟ロビー

出席者 金森、勝木、中野、長谷川、川村、芳田、小野
豊沢、井上、伊達、中山、森垣、近

1. 1972年度に国外で開催される国際会議について

物性関係の会議12件について、内容、規模などを考えて、討議の上、下記の6件について、
学術会議の渡航費を申請することとし、2月7日の物研連に提案する*

順位	会議名	出席者の人選を依頼する人	
(1)	低温	菅原忠氏	中嶋貞雄氏
(2)	半導体	山下次郎氏	佐々木亘委員
(3)	固体におけるバンド構造	芳田奎委員	
(4)	ルミネッセンス	豊沢豊委員	
(5)	表面		
(6)	モデコレーション スペクトロスコピー		

なお、今年度は物性関係は「非晶質」1件がみとめられ、長谷川洋氏が出席したことが報告された。

なお、一般に代表の人選の結果はなるべくはやい機会に物小委で報告することを今後の慣行とする
こととした。

2. 物性研共同利用施設専門委員および基礎研究部員のすいせんについて

標記の件について、物性100人委員による選挙の結果が物性グループ事務局より下記のよう
に報告された。

物性研共同利用施設専門委員(推薦依頼: 9名)

投票総数 84

- | | |
|----------------|----|
| 1. 高野庸(群大教養) | 32 |
| 2. 川路紳治(学習院大理) | 17 |

3	渡 部 三 雄 (東北大理)	15
4	石 川 義 和 (東北大理)	13
5	佐々木 亘 (東大埋)	11
6	朴 貴 男 (早大理工)	10
	森 肇 (九大埋)	10
8	金 森 順次郎 (阪大理)	9
	国 富 信 彦 ("")	9
	伊 藤 順 吉 ("")	9
	久 保 武 治 (奈良教育大)	9
	長 谷 川 正 之 (東北大理)	9
	森 田 章 ("")	9

基研研究部員(推薦依頼: 5名 + 次点 3名)

投票総数 81

1	山 口 佐 (鳥取大教養)	33
2	糟 谷 忠 雄 (東北大理)	14
	森 田 章 ("")	14
	藏 本 由 紀 (九大埋)	14
5	中 山 正 敏 (九大教養)	12
6	鈴 木 英 雄 (早大理工)	11
	小 野 周 (東大教養)	11
	豊 沢 豊 (物性研)	11

同数得票者について、分野、所属などを考慮して議論した上、物性研には上位7氏と(投票によって)金森、久保両氏を、また基研には上位5氏と次点者、鈴木、小野、豊沢3氏(この順序に順位をつける)をすいせんすることとした。

3. 物性研人事選考協議会委員の選挙

標記の件について、あらかじめおこなわれていた投票を開票した。その結果は下記の通りである。

「埋論」 得票		「実験」 得票		「総得票」	
久保亮五	4	伊達宗行	8	伊達宗行	8
長岡洋介	4	伊藤順吉	4	長岡洋介	5
松田博嗣	4	大塚泰一郎	2	久保亮五	5
小野周	3	佐々木亘	2	松田博嗣	5
以下略		川村肇	2	伊藤順吉	5
		益田義賀	2	宮原将平	5
		以下略		以下略	

投票総数 16

まず「埋論」の4票得票者3氏について、出席委員による決選投票(2名連記)を行った。その結果は下記の通りである。

松田博嗣 13, 長岡洋介 9, 久保亮五 6

引き続き、総得票数上位者のうち、分野別の当選者を除いた2氏について、同じく決選投票を行った。その結果は下記の通りである。

久保亮五 11, 宮原将平 3

以上の結果にしたがって、松田、長岡、伊達、伊藤、久保の5氏を物性研にすいせんすることにした。

なお、この委員の資格について討論したい旨、森垣委員の提案があり、まず物性研所長より下記要旨の説明をうけた。

物性研の人事選考には、従来から共同利用研であること考慮して、所外の学識経験者の参加する委員会で行ってきた。この委員会の決定を尊重するというたてまえから、それを制度上所内の機構として、委員は併任教官としてきた。しかし、この制度では公、私立大の教員、東大の停年規定に該当する人が入れない点が昨年の物小委で指摘された。(物小委議事録：昭46.1.31 昭46.10.15 参照) 物性研協議会および所員会で議論した上、従来のやり方を維持する一方、上記の点を解決するため、公、私立大教員、停年該当者は所長名で依頼する“特別委員”として実質上同等の資格で参加してもらうことにした。

これについて、この規定では国立大学の助手が排除されるが、本来、物小委が責任をもってすいせんする委員に身分上の制限をつけるべきでないという意見があり、助手参加の可否、物小委のすいせんする人事選考協議会委員と物性研所員会の関係のあり方についての議論があった。こ

の件については次回以後も引き続きとりあげることにした。

4. 特定研究について

今年度提出する課題申請書について、委員長、伊達幹事より、委員長と幹事が合議の上前年度と同じ大綱にもとづき、ただ結晶成長が今年度採択になったことを考慮し、一部計画を改めて作成したものであることを報告した。

この案を2月7日の物研連に提出することを了承した。**

5. 物性研の将来計画について

物性研所長より下記要旨の説明があった。

物性研における比較的大型の将来計画については、所内外からの問題提起もあり、研究所として決断を下すべき時期にきていると考える。所員会でもこれから議論をはじめることになっている。

具体的な計画としては「核物性」、「SOR分光学」とがあって、関連のある研究者のあいだで議論が進められている。

「核物性」は物性研のサイクロトロンを更新して、オンビーム実験を中心とした不安核を用いる物性研究をおこなおうという内容で、1年余具体的検討が関係者を中心としてなされてきた。これは物性研としては前例のない大型計画であって、所内外にあたえる影響が大きいと思うのでじゅうぶん討論した上で採否をきめたい。近く物性研所員会で説明をうけることにしており、3月の共同利用専門委、協議会にだす予定である。47年度内におおよその決意をきめる予定で議論したい。

「SOR分光学」については、従来から関連する研究者のグループが計画をすすめ、実行されつつある。47年度に物性研に客員部門がみとめられたので、当面SORにてある。将来の計画として、ストレージリングの核研からの移管、新ストレージリングの建設などの可能性がある。

以上の説明について、主に「核物性」の具体的な内容についての質問、意見の交換があった。これらについては、物性物理の見通し、物性全体の将来計画一般とあわせて、次回以後、物小委で議論することにした。

なお、これとあわせて、物小委のあり方も考えたい旨委員長の要望があった。

註 * 2月7日の物研連で討議され、物理全体の中で「低温」は2位、「半導体」は3位、「固

体におけるバンド構造」は6位(後略)で推薦することになった。

** 2月7日の物研連の議題の中に予定されていたが、当日は他の緊急議題が多数あったため、
本件は次回の物研連で討議されることになった。

物性研ニュース

TECHNICAL REPORT OF ISSP 新刊リスト

Series A.

- No. 490 Koji Ohbayashi, Seiichi Kagoshima & Akira Ikushima: Observation of Polystyrene Spheres Suspended in Water.
- No. 491 Ichiro Hatta and Akira Ikushima: Specific Heat of NaNO₂ near its Transition Points.
- No. 492 Yasunari Kurihara: The Thermoelectric Power of the Excitonic Phase.
- No. 493 Yuji Ito and Jun Akimitsu: Localized Moment in Ni rich Ni - Cu Alloy.
- No. 494 Koichi Ohno and Hiroo Inokuchi: A Self-consistent Molecular Field Theory for Aggregates of Neutral Molecules I.
- No. 495 Tomoe Fukamachi, Sukeaki Hosoya, Yoshinori Hosokawa and Haruyoshi Hirata: Compton Profile Measurements by Use of Solid-State Detector.
- No. 496 Hitoshi Sumi: Polaron Conductions from Band to Hopping Types.
- No. 497 Kazukiyo Nagata, Yuichi Tazuke and Kuniro Tsushima: Short Range Order Effect on the Magnetic Anisotropy in a Heisenberg Linear Chain Antiferromagnet CsMnCl₃ · 2H₂O.
- No. 498 Motoo Shinohara, Atsuko Ito, Masahide Suenaga and Kazuo Ono: The Mossbauer Effect of Fe(HCOO)₂ · 2H₂O Between 4.2 and 0.027K.
- No. 499 Hironobu Ikeda and Kinshiro Hirakawa: Elastic and Quasi-Elastic Neutron Scattering from K₂MnF₄ near the Critical Point.
- No. 500 Fumio Shishido: On the Possibility of the Resonance Tunneling by a Long Wavelength Bloch Wave Electron.

- No 501 Yasuo Oka and Takashi Kushida: Resonance Raman Scattering in CdS and ZnO by Tunable Dye Laser.
- No 502 Hiroto Kuroda, Shigeo Shionoya and Takashi Kushida: Mechanism and Controlling Factors of Infrared-to-Visible Conversion Process in Er^{3+} and Yb^{3+} -Doped Phosphors.
- No 503 Hitoshi Mizutani, Yozo Hamano and Syun-iti Akimoto: Elastic-wave Velocities of Polycrystalline Stishovite
- No 504 Kazuo Morigaki and Michie Onda: Resistivity Decrease Due to Donor Spin Resonance in n-type Germanium.
- No 505 Masuo Suzuki: Correlation Inequalities and Phase Transition in the Generalized X-Y Model.
- No 506 Naotsugu Shimamoto, Tomoe Fukamachi and Yoshi-Hiko Ohtsuki: Exchange Effects on Kikuchi Band Abnormal Absorption in Electron Diffraction.

編 集 後 記

前号が刷りあがらないうちにこの号の原稿を印刷所にわたさなければならぬためになってしまった。編集後記というよりは校正後記とした方がいいようなものである。当然のことながらタイプをする人は物性の専門家ではない。したがって研究会報告にやたらに入ってくる記号や式を正しく打つのは大変だろうと思う。まして書きとばされた原稿は校正のときに見ても△だかMだか判らない。 T_N のNは下ツキが常識だと思われる方もあるかもしれないが、それをタイピストに要求するのは無理であって、みんなTNICなっている。

exponential の ex の x が分数や T_K といった下ツキがあるときなどは、exp(x) としなければ、2校を経ても正しくならないと思わなければならない。そんなわけで入稿から印刷完了までに予想以上の時間がかかってしまった次第である。研究会報告などの原稿は赤で文字指定(ギ, ガンマなどやV, Aによる上ツキ下ツキの指定など)をして下さるようにお願いしたいものである。次号以下の編集者のために。

(阿部英太郎, 川畠有郷)