

物性研だより

第12卷
第6号

1973年3月

目 次

○ 客員部門への就任にあたって	佐 川 敬	1
短期研究会報告		
○ 半導体検出器を用いたX線の新しい手段による物性研究		8
世話人 細 谷 資 明(物 性 研)		
○ 偏極中性子法による物性研究		18
世話人 伊 藤 雄 而(物 性 研)		
石 川 義 和(東北大・理)		
○ X線・電子線映像法とその物質構造研究への応用		33
世話人 細 谷 資 明(物 性 研)		
○ ヘリウムの物性		46
世話人 離 井 恒 丸(名大・理)		
中 嶋 貞 雄(物 性 研)		
生 嶋 明(")		
物性研談話会		71
物性小委員会報告		73
物性研ニュース		
○ 人事異動		75
○ テクニカルレポート新刊リスト		76
編 集 後 記		

東京大学物性研究所

客員部門への就任にあたつて

佐 川 敬

物性研に新たに客員部門が設置され、最初の研究課題として「S O R 物性」がとりあげられたいきさつに就いては、物性研だよりの第12巻第2号に鈴木所長が詳しく書いておられますので、皆様良く御存知の事と思います。はからずも私がその第1号客員教授に併任され、非常な光栄であると同時に大へんな責任を感じている次第です。幸い内外の好意ある御配慮により、客員教授として京大の加藤利三氏、5年々期の助手として佐藤繁、渡辺誠の両氏、又嘱託研究員として都立大の山口重雄氏を迎える事が出来ました。何れも定評ある有能な方々ですので、この方々との協力によって必ずや稔り多き成果をあげる事が出来るものと信じております。某日この5人が集まって今後の方針などを話し合いましたが、とにかく短期間に成果を得るには、原則として1つにかたまって仕事をするしかないと云う事になり、客員部門全体で1研究室のスタイルを取ることに致しました。ともあれ、客員部門制度が物性研としても初めての経験である以上に私達にとって全く新しい事態でありますので、この制度の本来の主旨と云うか初心を忘れない様に心掛けた積りであります。しかし、何事も初めての事と云うのは試行錯誤を余儀なくされるものの様ですから、恐らくこゝ当分は色々とちぐはぐな事が起こると思います。その様な時のためこそ、「前向きの姿勢」と云う言い方があるのだと思いますが、積極的に困難を克服できる様に、皆様の好意的な御協力をあらかじめお願ひしておきたいと思います。

さて、物性研に併任になってから約1ヶ月を経ましたが、私自身は東北大学での義務もあってほぼ半分の日数をこゝで過ごさせていたゞきました。この間、所内の規程や手続きを学びましたし、所長をはじめ所員の各位、事務の皆さんに大へんお世話になりましたが、まだまだ不慣れで、すべてはこれからと云った所です。現に、最近になってやっと図書閲覧券の配布手続きを済ませたばかりと云う有様ですので、こゝではこれからの抱負の様なものを書くしか手がないわけですが、その前に、先づこの部門でしようとしているS O R 物性の実験面での特殊性を、皆さんに良く納得していただく必要があると思います。云うまでもなく、S O Rとはシンクロトロン軌道放射の略称でありますが、物性物理学そのものにとっては、実験技術上の光源の範疇に属するものでしかないと云う見方も勿論可能であります。たゞ、物性の方が従来抱いて来たと思われる「光源」と云うイメージから、S O Rを遙かに程遠いものにする2つの大きな特徴的要素があります。その1つは非常に広い波長域をカバーし、多くのパライエティーに富んだ研究目的に使える事であり、もう1つは光源のサイズが如何にも巨大であると云うことです。前者は物性研究にとって

大へんな merit ですが、後者は明らかに demerit であります。しかし後者の demerit を部分的にせよカバーし得る様な小規模な実験室光源が見当らない限り、我々は、この demerit を甘んじて受け容れねばならないのではないでどうか。しかも、今後当分は、SOR に代り得るか、又はそれにまさる光源が見当るとは、浅学の私には到底思えないのであります。少なくとも、X 線から極紫外線領域（XUV）では、この事は正しいと思います。こゝで demerit を甘んじて受容するとは、我々の側で実験のやり方を変えて行けば良いと云う事であります。恐らく、大方の物性実験の方には、この辺りがかなり障害になるのだと想像しますが、もし誤まっていたらお許し下さい。私自身、10 年前には随分ととまとったものでした。つまり、実験には必ず場所的な制約を受けます。今の処、本邦では東大核研の電子シンクロトロンが建設中の、光源専用 Storage Ring の所までおもむく事が不可欠です。次に、そのまわりに大量の測定装置を搬入し、set-up から始めねばなりません。事柄がそれだけならまだまじで、実際には SOR 光源のおもりをする事が重要な任務の 1 つになります。これだけ申し上げただけで、どれだけの人力と費用を要し、どれだけ多くの目立たない人々の努力を背景としているか御想像いたゞけると思います。我々は、過去 10 年間無草の惡条件下で良くもまあこゝまで維持出来たものだと感慨を新たにしておりますが、幸いにして、物性研に 1 つの依り処を作っていたゞき、まさに九死に一生の思い、と言っても過言ではありません。過去における悪戦苦闘の面影は、今でも核研現場の 1 部に残っております。1 度でもこの現場を御覧いたゞければ、私がこゝで訴えようとしている事を、幾らかでも御理解いたゞけるものと思います。ところで、人力と費用をつぎ込めばそれで済む、と云うものではありません。これらはいわば必要条件ではありますが、必ずしも充分条件ではありません。この種の研究は、少しずつ専門分野を異にする多数の人々によって支えられますから、必然的に人と人とのつながり、すなわちチーム・ワークが絶対に必要で、1 人 1 人が利己的な主張を押し通したのでは何 1 つ成果が得られるものではありません。過去に於いて、私達も 1 つの苦い経験を持っております。私達が専用 1 号分光器と称している斜入射型真空分光器が、今でも現場に置いてあります。勿論、この分光器はこれ迄多数の論文を輩出しましたが、恐らく一見された方はその巨大さに驚かれると思います。この巨大さは実は、得られた成果とは無縁のものであります、同程度の成果は遙かに小型の分光器でも可能であったろうと思います。この様な失敗の主な原因是、確かに貧乏根性もその 1 因ですが、一方では 1 人 1 人の主張を細大もらさず容れたからであります。つまり、要求の智的水準の高低を一律に平均化し、それによって和をはかろうとした愚によるものでした。事程左様にチーム・ワークと云うのは難かしいもので、我々も多く試行錯誤の後にやっとこの様な情況から抜け出ようとしております。冒頭に述べた客員部門 1 本化の思想も、この様な歴史的な失敗を背景にしたものであります。以上の様に SOR

R物性の実験が、従来の比較的小規模な研究室単位のそれと異質にならざるを得ない事を御了解いたゞきたいと思います。

この機会を借りてもう1つ申し上げたいのは、研究所の枠に関する事であります。例えば物性研と核研と云う時核研の道具を使って実行する物性実験はどちらに属するか、と云う問い合わせ泣かされたものはありません。この様な問いは、実験の当事者にとっては余り意味のないものです。当事者は明らかに物理学の研究を行なっており、両研究所も物理学の進歩に貢献すると云う大前提で作られた筈ですから、当事者は両研究所を往復する事に何等の抵抗も感じませんし、物性研で客員部門を先づ S O R 物性とした所以もそこにあり、それはそれで1つの答えになっていると思います。恐らく、問題になるとすれば、かなり事務的なレベルか、あるいは運営技術上の事だけであろうと思いますが、残念ながら現実はそんなに甘いものではない様に思われてなりません勿論、これには研究内容の評価もかゝわり、多くの意見や判断があるのはむしろ当然であります。ともかく、一般論として研究所の枠が余り rigid であるのは、生意気な様ですが、考えるべき点であろうかと思います。幸か不幸か、S O R 物性はその test case ではないかと思います。私達は、嫌応なしに研究面で両研究所にまたがる立場に立たされておりますので、何とか円滑且つ積極的な交流、柔軟な対応が出来る様に祈らずにはおられません。

前置きが大分長くなりましたが、このへんでいよいよ抱負らしきものを述べなければなりません。始めにも述べましたように、S O R を利用する研究は廣汎多岐にわたっております。思いつくまゝに列記すれば、次の様になるかと思います。

1. 吸收、反射測定による光学定数の決定—高分解能、定量的測定。 2. 高分解能の光電子分光学—X U V 单色励起光波長の連続可変。 3. 光誘起ルミネッセンスと螢光軟 X 線スペクトル。 4. X U V 全域にわたる気体分子、金属蒸気の吸收断面積、イオン化断面積、光分離断面積の定量的測定。 5. 標準光源としての利用。 6. 巨大分子の X 線回折—分子生物学への応用。 7. X 線のラマン及びコンプトン散乱。 8. X 線ホログラフィー。 9. X 線トポグラフの改良。 10. 非線型相互作用、光とのミキシング等々、まだまだ沢山考えられます。これらの題目は誰が考えても同じ様なものになるらしく、我々が何年も前に多少の誇張を混じえて效能を吹聴したものばかりであります。今ではそのどれもが現実の研究対象となりつつある事に、さか驚きをさえ感じております。現に、外国でも非常に速いアンポで、これらの題目が実行されつつあります。この中で、6. 以下は残念ながら核研の E S (electron synchrotron) 又は storage ring では、強度的もしくは波長的に、実験がむづかしい様に思います。また、1. ～ 5. の題目も、より短波長側に拡大し、より強力な S O R が望ましいものばかりであります。さて、こゝでこれらのすべての題目について詳しく述べるのは筆者の任でもないし、紙数に余裕もありません。何よりも、この部門で

何もかも出来るものではありませんから、主として固体物性の立場から、我々が集中的に実行しようとする題目にだけ絞らせていただきたいと思います。

先ず、固体の吸収、反射測定による光学定数 n 、 k （又は ϵ_1 、 ϵ_2 ）の定量的な測定ですが、この題目はもともと SOR 利用のトップ・バッターとして登場し、早くから注目されたものですから、今更多くを語る必要はないと思います。要するに、 1050 \AA の LiF cut-off 以下の波長域では、SOR が現われるまで殆んど data らしきものはなかったわけです。勿論、それにはそれなりの理由があったわけで、この領域ではいかなる物質も極めて高度に不透明になってしまい、反射率も著しく低くなっています。この領域の n 、 k がわからないと、従って、全体的な情報量の大部分が欠如する事を意味しますから、いわば謎に包まれた宝の山であったと云えましょう。それでも拘らず、一方では強力な連続光源が無かったのですから、SOR の持つ意味は決定的なものであったわけです。現に、この数年来、幾つかの物質について得られた信頼に足る成果の殆んどは、SOR によるものです。しかもなお、測定すべき物質は極めて多数残されており、又、実際には、色々の鋭い構造が現われる事もわかり、これらを解明するには、分解能も充分でありませんでしたし、定量性にも欠けておりました。これらの data が本当に蓄積され、洗練されて行けば、理論的なバンド計算との対比や色々の多体効果、特に高エネルギー励起に特有な現象の理論との比較も、次第に精密化して行く筈であります。バンド構造との対比では、各種の変調法も考慮せねばならないでしょう。又、高分解能の軟X線分光学は、非晶質や合金系のような、いわゆる非秩序系の電子帶構造の究明にも強力な道具となり得ますし、SOR の高度の偏光性を利用して、異方性の強い単結晶のバンド構造を調べる事も出来る筈です。こんな事を考えて行くと、やるべき事が龐大にあって、どちら手をつけて良いか迷いますが、我々としてはさし当たり、各種の磁性化合物や殆んど data らしいもののない金属から測り始めようかと考えております。幸い、物性研には各方面的専門家がいらっしゃいますので、色々と智恵を貸していただけるものと今から楽しみにしております。さて、光学定数の測定の様な仕事は、こつこつと data を貯めて行く極めて地味でしかも困難がつきものですから、派手さはないが標準となる物理定数表を作る様な第一級の重要度を持ったものだと思います。従って、努力の割りには報いの少ないものの様で、こういう仕事に対する評価の仕方にも、我々は反省すべき点がある様に思います。

次に、高分解能の光電子分光学がありますが、この題目は、私自身東北大学で手掛けて来たものもあり、恐らく私の在任中はこの研究に最重点を置く事になると思います。方法としては 1 次単色励起線によって励起された光電子のエネルギーを解析するだけのものであります。直ちに御推察いただける様に、現象としては光励起の別の側面ですから、上記の吸収、反射の分光学と

密接な関係にあると云えます。光電子分光学の特徴は、何と云っても電子の結合エネルギーを直接且つ絶対的に測定できる処にあります。励起始状態の個有値が異なるものは、異なる運動エネルギーを持つ事になりますから、価電子帯からの光電子がフェルミ・エネルギーの何 eV 下にあったか、少なくとも 1 電子描像では一義的にわかる事になり、光吸收の場合の様に、始状態を異とする幾つもの励起遷移が同じ光子エネルギーの処に重なると云う事はありません。勿論、多少立ち入って見れば、実際には、色々の多体効果が起り得ますから、いつでもそんなに簡単に行くとは限りません。しかし、それはまたそれなりに興味ある問題を提供します。例えば、内殻正孔と不対電子の交換相互作用、プラズモン損失、電子 shake-up ないしは off 、励起状態の配位間相互作用等によると思われる内殻光電子スペクトルの分裂や、様々なサイド・バンドないしサテライト、更にはオージェー・スペクトル等々、何れも新しい理論的な挑戦の対象になるものだと思います。この様な素過程の他にも、解決すべき問題は山積している事も事実でありますし、例えば、励起された hot electron の dynamics や表面との関連、あるいは内部散乱など、何れもかなり本質的な重要度を持っていますが、必ずしも明快な解答が得られていない様に思います。もしこれが解決されると、光電子分光学は、更に豊富な物性的知見を与える事になるでしょう。少し話題は古くなりますが、強磁性体のスピン偏極分布の直接観察なども興味がありますが、一方では、実験的な洗練化が必要であると同時に結果をめぐる解釈にもまだ巾が出て来る様に思います。

こゝでは、光電子分光学の解説をするのが主目的ではありませんから、何故に S O R を利用しようとするかの理由を申し上げねばなりません。御存知の様に、現在この分光学には主要な 2 つの実験的な流れがあります。1 つは励起単色線として極紫外線域に現われる各種稀ガス共鳴線を利用するものと、他は特性 X 線を利用するものです。前者を U P S 、後者を X P S と略称しますが、勿論両者には物理過程としての原理的な差があるわけではなく、専ら技術的な差があるだけです。大ざっぱに申し上げますと、 U P S は共鳴線巾が一般に狭く、分解能は高いのですが、主として価電子帯しか見られませんし、それに励起終状態も複雑なバンド構造の中に埋もれているので、情報量は豊富でも、解釈にはかなりの任意性が避けられないのが現状です。又、何よりも内部散乱がもろに必要エネルギー域に大きくかぶさる傾向があり、表面の状態にも敏感です。ひょっとすると、バルクの状態よりも、バンドの歪んだ表面の極く近傍だけを見ている可能性もないわけではありません。これに對して、 X P S では、先ず、内殻まで見られるし、励起終状態は構造の少ない遙かに高い処にあるので、価電子帯そのものの構造が比較的素直に反映されます。仰よりも内部散乱が問題とするエネルギー域で小さく、且つ構造を持ちませんから、 U P S に較べれば遙かに補正し易いと云えるでしょう。又、表面の物理化学的状態にも余り敏感ではありません

せん。要するに、光電子エネルギーが大きいので、光電子発生の濃さが実効的には UPS より深い事によるわけで、XPS のこれらの特徴はバルクの電子状態を見るのに大へん都合が良い事になります。処が、残念にも、現状では特性X線の自然巾のため高分解能が得られません。具体的には、充分な信号強度を得るには、幾ら頑張っても 10 分の数 eV と云うのが現状で、せめて 0.1 eV 程度の分解能があれば、とこの分野の人なら誰しも考えている事です。それともう 1 つは、UPS にしろ XPS にしろ何れも天与の単色線にのみ頼っていますから、波長的に極めてまばらなものを使っているにすぎません。特に軟X線域には、実用的な単色線は皆無です。もし、もっと遙かに密に単色線が分布すれば、この分光学に強力な可変パラメーターを 1 つ増やす事となって、結果の解釈にも一義性を与える事になります。恰かも方程式の数が未知数のそれを下まわるとき、もう 1 つ新しい式を追加することに匹敵します。ここまで来れば問わず語らぬ中に、光電子分光学に持つ SOR の意義は自ら明らかであります。すなわち、強力な SOR を高分解能に分光して、好きな波長の鋭い単色線を得る事ができると云う事であります。おまけに、SOR は高度の偏光ですから、異方性の高い単結晶試料には、これ又、強力な武器を提供する筈です。

私達は、早くからこの点に着目し、既にブラック建ての実験も何回か試みましたが、惜しいかな余りにブラックに過ぎた事、又、核研 ES では 1.0 \AA 付近の軟X線が加速エネルギーに強く従属しすぎて余り実用にならないなどの理由で、完全な成功は納めていませんが、より長波長域では充分可能であるとの見通しを得ました。この客員部門では、これらの経験を土台にして、いよいよ本格的に挑戦する事に致しました。Storage Ring が完成するまでは ES は使わざるを得ませんが、SOR 用パイプ、XUV 及び軟X線単色計試料槽、光電子アナライザ等はすべて dry な超高真空にせねばなりません。又、光電子の計測系は、進んだデータ処理能力が要求されます。従って、これら必要最少限度の装置だけでも相当の費用を要する事となります。そのためにお願いしていた概算要求は、48年度は全くの零査定で、いささか途方に暮れた感が拭えません。もっとも、いつまでも途方にばかり暮れている訳にも参りませんので、先ず 49 年度を目指して再び努力を重ねる一方、その前提の上で、さし当り東北大の私の処にある若干の装置を搬入する覚悟でおります。しかし、これとて限度がありますから、不足分は物性研にお願いするしか方策がありません。既に鈴木所長にも窮状は訴えてありますし、何人かの所員の方々からも御心配をいたしております。私としては心から感謝の気持ちで一杯であります。この紙面を借りてお願いと感謝を述べさせていたゞきたいと思います。

さて、お金の話になるときびしい現実に引き逆され話も急に格調を失ってしまいますので、このへんで話をもとに戻し、SOR による物性研究に更に進まねばなりませんが、もう既に余り多くを語り過ぎた様に思います。たゞ、最後にもう 1 つ付け加えさせていたゞきますと、我々

は、現在核研に光源専用の Storage Ring を建設中であります。このRingは、物性、原子核を通じ、本邦では最初のものでありますので、その完成の可否は色々の意味で重要な影響を内外に持つ事になるでしょう。例えは、最近、第2 Ring の建設の気運が少しずつ高まって来て、次第に多数の人々を傘下に結集しつつある様に見受けますが、その将来性も、明らかに現在の Ring の成否と無縁ではあり得ないと考えます。この点を明確に御記憶いただき、我々のRingに対する関心と御支援を訴えたいのであります。

甚だ散文的な抱負で、さぞや読みづらかった事と存じます。私達は、この物性研で物性における日本の頭脳である諸先生に多くの御指導を期待し、又、大いに貢献したいと決心しております。何卒よろしくお願ひ申し上げます。

短期研究会報告

「半導体検出器を用いたX線の
新しい手段による物性研究」

世話人 細谷資明（物性研究所）

この研究会は、細谷資明、大野和郎（以上物性研）、大槻義彦（早大理工）、岡崎篤（九大理）
を提案者として昭和47年11月27日と28日の2日にわたって開催された。

研究会のプログラムは次の通りである。

1. SSDの特性と技術的側面

1-1 半導体X線検出器概論 坂井英次（原研）

1-2 SSDを用いた諸分野における応用とデータ処理

富永洋（原研）

2. コンプトン散乱による物質内電子の運動量分布について

2-1 いきさつ 三宅静雄

2-2 SSDによるコンプトン・プロファイルの測定

○細谷資明（物性研）

深町共栄（物性研）

2-3 ポジトロン消滅とコンプトン・プロファイル

津田惟雄（無機材研）

2-4 コメント 藤原邦男（東大・教養）

2-5 コンプトン・プロファイルの解釈について ○深町共栄（物性研）

細谷資明（物性研）

2-6 コンプトン・プロファイルのデータ処理 ○深町共栄（物性研）

細谷資明（物性研）

寺崎治（東北大・理）

島津正司（無機材研）

2-7 TiO の測定結果 十川篤一（東京商船大）

2-8 金属のコンプトン・プロファイルの測定 ○武田隆義（広島大・養）

好村滋洋（広島大・養）

大 原 庄 司 (広島大・理)

2-9 単結晶のコンプトン・プロファイルに見られる異方性

○寺 崎 治 (東北大・理)

渡 辺 伝次郎 (東北大・理)

深 町 共 栄 (物性研)

細 谷 資 明 (物性研)

2-10 NiO 単結晶が示す Compton scattering profile とその異方性

○岩 井 繁 一 (上智大・理工)

早 川 和 延 (日立・中研)

2-11 バンド計算に基づくコンプトン・プロファイルの計算

○和 光 信 也 (物性研)

山 下 次 郎 (物性研)

2-12 偏極 γ 線の発生とコンプトン・プロファイル 大 野 和 郎 (物性研)

3. X線回折の基礎的研究への S S D の応用

3-1 X線の非弾性散乱と動力学理論 大 梶 義 彦 (早大・理工)

3-2 X線の非弾性散乱と回折現象との関連について

安 中 正 一 (東京商船大)

3-3 コ メ ン ト

深 町 共 栄 (物性研)

3-4 X線の非弾性散乱の問題

○鈴 木 皇 (上智大・理工)

田 野 倉 敦 (上智大・理工)

長 沢 久 男 (上智大・理工)

3-5 熱散漫散乱の研究

柏瀬 和 司 (名大・養)

3-6 S S D を用いた異常分散の研究

細 谷 資 明 (物性研)

3-7 S S D を用いた精密測定

宇 野 良 清 (日大・文理)

4. 極限条件下でのX線回折

4-1 連続線を用いたX線回折

○寺 崎 治 (東北大・理)

深 町 共 栄 (物性研)

細 谷 資 明 (物性研)

4-2 低温下でのX線回折

○岡 崎 篤 (九大・理)

河 南 勝 (九大・理)

4-3 高圧下における S S D を用いたX線回折測定

○原 公 彦 (京大・理)

大 杉 治 郎 (京大・理)

平 田 治 義 (堀場製作所)

鈴 木 謙 爾 (東北大・金研)

4 - 4 中性子におけるT OF法の問題点

以下それぞれの内容を簡単に紹介する。それらは座長をお願いした方に書いて頂いたものを、
体裁などを多少変えただけで、ほとんど原文のままである。

I.

1-1 近年、Si および Ge 半導体検出器 (SSD) は多くの技術的改良や工夫がなされ、エネルギー分解能、検出効率およびピーク・バックグラウンド比などが著しく向上した。素材の高純度化をはじめ、ダブルガードリング型検出器など漏洩電流の減少と電荷集収効率の改良がなされ、又、電荷型前置増幅器の低ノイズ FET、光学的フィードバック、パルス整形処理などエレクトロニクスの面において進歩がみられた。エネルギー分解能 (FWHM) はその理論的限界に近づきつゝあり、現在、ほゞ 100 eV という値が得られている。これは炭素の特性 X 線を充分分離できる値である。Si、Ge SSD と並行して、新しい素材による SSD の研究も行なわれており、Li ドリフトをしない高純度 Ge や化合物半導体 (GaAs CdTe など) による SSD の開発が行なわれ、実用化もそれほど遠い将来ではないであろう。

1-2 SSD の応用分野は広く、特にその高いエネルギー分解能のため、核物理分光学における寄与は非常に大きい。又、分析分野においては、中性子放射化分析や蛍光 X 線分析などにおいてその偉力を發揮している。核の準位構造の精密測定、月の試料の放射化分析、²⁵²Cf と組み合せた即発 γ 又は放射化分析、PPM オーダーの微量元素の蛍光 X 線分析などが実用例としてあげられた。SSD によって得られたスペクトルのデーター解析もコンピューター技術により飛躍的に進歩した。統計変動の大きいスペクトルの数値フィルターによる平滑化演算処理、ピークの決定と定量およびバックグラウンドの処理法やスペクトルのレスポンス関数による最小二乗法フィットなどが述べられた。

(以上 野口正安)

2 わが国におけるX線散乱、コンプトン散乱法による固体内電子状態の研究開始当初のいきさつについて、紹介、2-1が行なわれた。

2-2ではコンプトン散乱の性質、SSDの特性と結晶分光の比較、 γ 線を使用したコンプトン散乱法で重い物質にも適用可能になったことを述べた。今後の研究方向として γ 線のheicityとコンプトン散乱強度の対比から磁性体内の磁性電子の運動量分布の測定、コンプトン散乱に際して発生する recoil電子を同時測定して運動量分布の3次元的分布を測定する研究について紹介があった。

2-3 固体の性質は電子分布のごくわずかな変化によってきまる。その研究にあたっては、フェルミ面から10eV位下までの電子の空間、エネルギー、運動量分布の研究にはX線構造解析法、コンプトン散乱、ポジトロン消滅、ESCA等を相補的に使用した研究の必要性を強調した。応用例として酸化物、チッ化物などについてP消滅角相關プロファイルとコンプトン・プロファイルの比較を示した。一般的にコンプトン・プロファイルの方が広く出る傾向がある。また現在測定が進められている ReO_3 , WO_3 , ZrO_2 , NiO , Al_2O_3 等の角相關プロファイルが示された。とくに角相關プロファイルとコンプトン・プロファイルを比較する場合、簡単な物質を選ぶことおよび同一試料についての測定が必要なことを強調した。

P消滅法の問題点として、Pの+電荷にもとづく enhancement の効果、金属、酸化物以外ではP消滅過程は複雑なスペクトルを示すこと、cross termの問題等について指摘があった。津田はp消滅のこれらの特性は情報源となりうるので、p消滅法のメリットと見なす立場を強調した。

2-4 津田の指摘に対して藤原(東大教養)は、金属の場合pの+電荷は外側の電荷を選択的にとらえることが特徴で、p-e相関による電子分布のみだれは、電子ガスの密な分布でスクリーンされることを指摘した。またpの存在確率は原子間で最大なので、現在のバンド計算ではその附近の問題は正確に取扱えないが、多体理論の問題としてみればshort rangeの相関の問題として強い関心が持たれていることを述べた。

2-5 コンプトン・プロファイルの解釈について金属のコンプトン効果の定式化と、コンプトン・プロファイルと運動量分布の関係の表式化を示した。また入射X線の結晶による回折効果がある場合、結晶の完全性とコンプトン・プロファイルの関係について実験、計算結果を示した。

2-6 発表者らが発展させてきたコンプトン・プロファイルのデータ処理について、試料形状、吸収効果、SSDの分解能関係とdeconvolutionの方法等についての処理法を示した。

(以上 早川和延)

2-7 一次 γ 線に ^{241}Am の59.54 KeV(100 mCi)を用い、散乱 γ 線は $\text{Ge}(\text{Li})$ 型SSDで分光し、S/N比の良い測定値が得られたので、コンプトン・プロファイルを広範囲にわたり、実験値とモデル計算の値との比較をこころみた。この結果、実験値のコンプトン・プロファイルの裾野が計算値のものより大きくなり、中央の実験のピーク値はモデル計算のものよりかなり小さくなかった。従来、プロファイルの裾野は曖昧さが小さいとされ、裾野でスケーリングした実験があるが、その裾野の取扱いに問題があることが指摘され、コンプトン・プロファイルの実験から電子状態の情報を引き出すにはまだ多くの困難があることを指摘された。コンプトン・プロファイルの全体の一致をとりあえずあきらめ、ピーク附近で規格化し、 Ti^0O^0 、 $\text{Ti}^{+1}\text{O}^{-1}$ 、 $\text{Ti}^{+2}\text{O}^{-2}$ のモデル計算と実験結果を比較すると、 Ti^0O^0 のモデルからは著しく異なるが、 $\text{Ti}^{+1}\text{O}^{-1}$ 、 $\text{Ti}^{+2}\text{O}^{-2}$ のモデルは、双方とも実験結果と良く合って、 TiO の正確なイオン化状態が得られなかった。

2-8 実験は一次 γ 線に ^{57}Co の122 KeV(1 mCi)を用い、散乱X線は $\text{Si}(\text{Li})$ 型SSDで分光した。 ^{57}Co の γ 線には、133 KeVが122 KeVに対して1/10程度あるので、コンプトン・プロファイルの高エネルギー側の裾野が高い。散乱角を高くすると、 Pb の $K\beta_1$ 、 $K\beta_2$ がコンプトン・プロファイルのピーク附近にくるため、多少分解能を犠牲にして、散乱角を比較的小さい90°にし、 Pb の蛍光X線と重ならないようにした。 γ 線のエネルギーが高いので光電効果による吸収係数が小さく、鉄、銅、ヘマタイト等の単結晶のコンプトン・プロファイルが容易に測定された。銅の単結晶の結果を報告され、[111]、[100]方向のプロファイルに異方性があった。[111]方向が、ピークが高く $J_{111}-J_{100}$ の差のプロファイルにはsubmaximaやsubminimaがあった。しかし、まだプロファイル同志の差のとり方に問題が残った。

2-9 SSDをコンプトン・プロファイルの測定に用いるようになってから、結晶方位による異方性の検出が注目されはじめた。ReedとEisenbergerらはダイヤモンド、Si、Geの共有結合結晶で、コンプトン・プロファイルの異方性(つまり結合電子の運動量分布の異方性)を検出した。この結果は $J_{100}-J_{110}$ では、これら試料の間に同じ傾向があり、 $J_{100}-J_{111}$ では、それぞれの試料ごとに異なる。寺崎等は、3d金属の一つ、ヴァナジウムの測定を行ない、異方性を検出した。プロファイルのピークは[111]、[110]、[100]の順に高く、差のプロファイルにはsubmaxima、subminimaがあった。ヴァナジウムの運動量分布の異方性は、X線の強度測定のデータをもとにWeissが予想していたが、彼のモデルでは、差のプロファイルのsubmaximaの存在や、 $J_{111}-J_{110}$ の差のプロファイルの中央へのこみについて説明できない。また、最近、和光、山下のAPWで求めた運動量分布からは、sub-

maxima の存在や、 $J_{111} - J_{110}$ のへこみなどについて Weiss モデルよりはるかに実験との一致が良い。しかし submaxima の大きさなどでは、まだ十分な一致はみられないことが指摘された。

2-10 低速電子回折で NiO の単結晶の反強磁性格子構造による回折像が観測されているが、これは結晶内磁性電子と入射電子との交換相互作用によるものである。この交換相互作用を調べるには、結晶内磁性電子の状態について正確な知識が必要であり、コンプトン・プロフィル法を用いてみた。測定結果は、 J_{111} 、 J_{110} 、 J_{100} の順に中央のピークが高く、 $J_{111} - J_{100}$ 、 $J_{110} - J_{100}$ の差のプロファイルでは、はっきり subminima と submaxima が観測された。NiO は、Ni の 4s 電子 2 個が O の 2p 軌道に入り、Ni の 8 ケの 3d 電子は Ni イオンに残り、また電子状態については強い結晶場のモデル (t_{2g} 電子が 6 個、 e_g 電子が 2 個) が適用できる。このモデルで異方性の程度はだいたい説明できたが、差のプロファイルの submaxima を説明できなかった。

2-11 計算の対象に選ばれた試料はヴァナジウムで、バンド計算は、APW 法を用いた。その結果から、三つの方向 ([111]、[110]、[100]) のコンプトン・プロファイルを求めるとき、あきらかに実験で検出できるだけの異方性があった。 J_{100} は、ジャングル・ジムホール面が、ピークの中央と、 $q = 1.1$ 附近に反映され、ピークは J_{111} 、 J_{110} などよりも小さく、又、 J_{100} (1.1) で、subminima を示した。従って、 $J_{111} - J_{100}$ 、 $J_{110} - J_{100}$ の差のプロファイルは、submaxima が生じた。 $J_{110} - J_{100}$ の結果は、寺崎等の結果と良い一致をみたが、その他は余り良くない。この相違の原因是、ポテンシャルの取り方が悪いか、電子相関を考慮しないためであるかもしれない。前者のポテンシャルを改良してみたが、実験との一致はたいして改善されず、電子相関を考慮を入れる必要が指摘された。

2-12 円偏光している γ 線のコンプトン散乱の確率は、散乱体電子のスピンの方向によって差がある。従来、コンプトン・プロファイルの実験で円偏光した X 線を得ることが困難であったが、 ^{57}Co の RI を極低温にして磁界をかけると、励起状態の準位が一つになり、円偏光した γ 線が得られる。 ^{57}Co の 122、14.4 KeV の γ 線をメスバウア効果で偏光度を調べたところ、80% の程度であった。予備的に、1mCi の ^{57}Co の線源で実験した結果、まだコンプトン・プロファイルの測定には強度が不足ぎみで、右、左偏光によるプロファイルに多少差が得られたが、統計的変動が大きく有意な結論はまだ得られなかった。線源を強めると極低温にすることが困難とされているが、この点についても予備的なデータが得られ、まだ線源を強められる可能性がある。

(以上 深町共栄)

3-1 X線の非弾性散乱として主としてコンプトン散乱、フォノンによる温度散漫散乱(TDS)をとりあげ、この種の非弾性散乱に対して回折効果がどのように取り扱われるかを電子回折の場合と比較して論じた。結晶中で非弾性散乱を起こすとして、非弾性散乱の後の final state をプロッホ波として取り扱う場合と、非弾性散乱の前の initial state をプロッホ波として取り扱う場合に分けて散乱のマトリックス・エレメントの性質を示した。前者の場合は電子線の菊池パターンに、後者は pseudo 菊池パターンに相当しており、これらの効果を実験的に調べる可能性を SSD の応用と結びつけて論じた。特に前者の場合、電子回折で菊池バンドの negative region として観測されている現象が X 線回折ではより明瞭にみえることが暗示された。これに対して飼沼芳郎氏(名大・教養)より、以前にこの種の実験を行なった(未発表)旨のコメントがあったが、検出器の性能が改良されている現在、実験的研究の進展が望まれる。

3-2 X線が入射した際に生ずる非弾性散乱の強度が動力学的回折現象とともに影響をうけるが、K電子が関与する螢光X線の強度曲線にみられる非対称性と外殻電子も関与するコンプトン散乱および温度散乱の非対称な強度曲線についての実験結果、ならびに入射X線によるルミネッセンスに対する回折の影響についての実験結果を述べた。これらの動力学的X線回折に伴う各種の非弾性散乱の強度変化は、各散乱の発生のメカニズムを良く反映しており、したがって、もし非弾性散乱の精密なエネルギー分析、方向依存性等を含めた実験が可能になれば、X線と電子との相互作用について興味ある情報が得られる可能性があり、TDS とコンプトン散乱を分離するという問題も含めて、SSD の有用性が指摘された。

3-3 回折波が生じている条件下でのコンプトン・プロファイルのふるまいを調べた結果、結晶の不完全性の程度によって、プロファイルのふるまいが異なることをコメントした。

3-4 Bohm-Pines のプラズマ振動の理論がでた時期以降現在にいたるまでの、日本におけるX線および電子線の非弾性散乱研究の経過を歴史的にまとめて述べた。

3-5 X線 TDS の理論についてその発展の経過を歴史的に概観し、ついで実験的な面として格子振動の分散曲線、原子間の力の定数が決められてきたこと、およびダイナミカル・マトリックスの決定もなされていることが述べられた。さらに、室温における A1 の 1 次の熱散漫散乱、2 次の散乱および非調和振動による散乱のそれぞれの二次元的な強度分布を数値計算によって求めた結果を実験結果と比較して示した。また、原田仁平氏(名大・工)は、SSD を相転移に伴う臨界散乱の測定にも応用できるであろうと指摘した。

(以上 渡辺 伝次郎)

3-6 SSDを利用して異常分散項の値を比較的正しく測定すること、およびその応用について報告した。面間隔 d_{hkl} 、回折線のエネルギー E_{hkl} と散乱角 θ の間に $E_{hkl} \cdot d_{hkl} \sin \theta = 6.199 (\text{keV}\cdot\text{\AA})$ の関係があり、散乱角を適当に選べば、異常分散項の大きなエネルギーで、目的の hkl 面の反射を起こさせることができることから、

- (I) 極性結晶のうらおもての迅速決定
- (II) $\Delta f'$ 、 $\Delta f''$ の値およびそのエネルギー依存性の測定
- (III) 位相問題への利用
- (IV) 対称の高い位置から僅かに外れた所にある原子座標の決定

について述べた。

3-7 X線回折強度の精密測定に SSD の使用を思い立った動機を述べ、結晶モノクロメータの代りに用いる場合の $K\alpha$ 線と $K\beta$ 線を分離するのに必要な SSD の分解能、計数率によるエネルギー分解能の変化および不感時間による損失と計数率の変化の見積りを述べた。また実際に SSD を用いて強度測定を行なう際に使用する SSD を固定し管球を $+150^\circ \sim -90^\circ$ 走査する試作ゴニオメータについて述べ、最後に連続X線を用いた強度測定について M. Kantola 達の Ni と NaCl についての実験結果を紹介し、彼らのデータ処理上の問題点を指摘した。

(以上 寺崎治)

4 SSDを用いた回折計は散乱角が一定でよく、動く部分がなく、試料のセットなども容易で、かつ迅速に測定できる利点をもつてゐるので、極端条件下での研究に使われようとしている。このセッションではその関係の報告があった。

4-1 SSDを用いた粉末回折計によってどの程度の精度で格子定数がきめられるかなどについての実験上の考察と物性研での実例を報告した。その特長はソーラースリットを用いて、格子定数の測定値の精度を従来の報告より改善したことである。詳細は I S S P Tech. Rep. A 5 2 9 (または J. Appl. Cryst. 印刷中) を参照されたい。

4-2 は単結晶の相転移における格子定数変化を非常に精密に測定する一方法についての話であった。従って従来の計数管を使い、極めて高い散乱角での測定を常に可能にするために連続X線から試料によってプラグ反射されたX線の波長を分光結晶で測定する方法を提案した (Jap. J. Appl. Phys. 印刷中)。実測例として KNiF_3 の格子定数の温度依存度における僅かな異常がネール温度以下の所で検出されたことが報告された。結晶がよければ、 $\Delta d / d \sim 10^{-5}$ の測定はごく容易とのことである。この話は SSDと関係はないが、連続X線を用いる点で多少関連した面もある。

4-3 は最近行なわれた高圧下でのX線回折測定の予備的報告であった。報告によれば 1969 年に Battelle Mem. Inst. の人がベルト型の高圧発生器に対して格子定数の測定を SSDを用いて試みたそうであるが、今回の報告は六面体型のアンビルを用いる型である。SSD回折計を用いる案は当初の設計になかったため、必ずしも理想的な測定は行なわれていないようである。X線源は開管式で 45 kV 15 mA、1/100 の精度で、NaClの格子定数を測定し、圧縮率を求めた結果につき報告された。

4-4 は電子 LINAC をパルス中性子源とし、液体の非弾性散乱を飛行時間法 (TOF 法) で測定する話である。これは連続X線を用いて SSDで測定するのと手法が類似しているが、X線ではフォノンとのエネルギーのやりとりは普通の場合分解できないので、この話でも $S(\theta, \omega)$ ではなく $S(\theta) = \int S(\theta, \omega) d\omega$ の測定に限定して解説された。講演者の関心はエネルギーの高い (波長の短い) 領域での測定の精度を上げて、例えば分子内の情報を得ることにあった。

(以上 細谷 資明)

なおこの研究会の予稿集には少数残部がありますので、御希望の方は物性研共同利用掛あてに御連絡下さい。

「偏極中性子法による物性研究」

世話人代表 伊藤雄而(物性研)
石川義和(東北大・理)

偏極した熱中性子を物性研究の手段に利用する方法が確立されて以来、すでに10数年たっているが、その間を大まかに言って、三つの期間に分けることができよう。始めの10年程は、いわゆる偏極中性子回折法が完成される時期で、これは、入射中性子の偏極の向きを変えることによって、ブレック散乱強度が変わることを利用する方法である。この方法により、磁気形状因子の精密測定が可能となった。次いで、高東熱中性子炉の出現による偏極中性子ビームの強度増加と合いまって、散乱中性子の偏極の解析が可能となり、スピン反転散乱の分離が出来るようになる。この方法によれば、核散乱と磁気散乱の分離、或いは非干渉性散乱を干渉性散乱から識別することが容易となる。更に過去4~5年以來、偏極状態を様々に変調させる新しい技術が続々と開発されており、これら変調法と上に述べた方法との組合せによる新しい実験テクニックが、例えばエネルギーの分解能を飛躍的に増大させる方向等で進展している。残念なことには、このような偏極中性子法の発展、並びにその成果は、ことごとくアメリカとヨーロッパに於ける研究によるもので、我が国では、ようやく一昨年来、偏極中性子回折による実験がその成果をあげ始めて来たのが実状である。しかし現在の国内の二台の偏極中性子装置に加えて、近い将来には高東熱中性子炉に新らたに偏極装置を建設する計画もあり、この時点に於いて、この分野に關係する研究者が集まって、偏極中性子法について、その技術的諸問題、並びに理論的側面を合わせ検討していくことは意味あることであろう。このような意味あいから、表題に示す短期研究会が昭和47年12月14日、15日の二日間に渡って開催され、その第一日目は技術的問題、特に偏極中性子法の弱点とされているビーム強度の弱さをおぎなうための新らしいポーラライザーの開発に重点が置かれた。研究会の第二日目には偏極中性子法を用いてどのような新しい研究ができるかを色々な角度から討論した。

以下研究会のプログラムに沿って、各スピーカーから寄せられた要旨を中心に、その内容の要点を報告する。

(I) 偏極中性子法の技術的諸問題

12月14日 10:00 - 12:30

座長 溝口 正

午前のセッションでは、ほとんどの議論は新らしい中性子のポーラライザーに終始した。先ず石川氏は総括的に偏極中性子用のポーラライザーの必要性を述べ、次いで具体的に Magnetite $\text{Co} - \text{Fe}$ 、ホイスラー合金、 Fe_3Si 、鉄のアイソトープ Fe^{57} 、Mn-Ferriteについてその効否を論じた。コメントとして山口氏は $\text{Mn}_{1+\delta}\text{Sb}$ 合金の $\delta = 0.2$ の組成の金属間化合物は良いポーラライザーである点を強調した。阿知波氏は Guide Tube Mirror 法による偏極法を、又国富氏は新らしい試みとしてステルン・ゲールラッハ法で磁場を増大させる事を提唱した。色々なポーラライザーの比較の結果、特に結晶反射法では、やはり現在常用されている $\text{Co}_{0.92}\text{Fe}_{0.08}$ に代わるものは容易に見つからなく、ホイスラー合金、Mn-ferrite、MnSb がやや可能性があるものと言えよう。

Polarizer の開発に関する諸問題

東北大・理 石川義和

結晶のプラグ反射を利用した polarizer は i) $p = b$ 、ii) 吸収少、iii) モザイク大 ∇ 磁化容易の条件を万足しなければならない。その条件を満すものとして、 Fe^{57} (Oak Ridge)、 Cu_2MnAl (Grenoble)、 Fe_3Si (Harwell)、Mn-Ga Fe_2O_4 (石川) の開発の現状を紹介した。 Fe^{57} は Si で γ 相を安定化して 85% Fe^{57} - 15% Fe^{56} の単結晶をつくり (110) 反射で flipping ratio 70 を得た。強度は hot press した試料で $\text{Fe} - \text{Co}$ の 3 倍であった。 Cu_2MnAl の特徴は、熱処理によって秩序度をかへ、又モザイク度を制御出来る事である。(111) 反射で 91% 偏極中性子が得られた。熱処理として 550°C 3 時間焼鈍し、800°C に上げ、20 分おいた後に急冷すると、モザイ

クの適度の結晶が得られ、波長を 1.08 \AA に限ると、反射角 10° で Co - Fe の 6 倍の強度が得られた。○ Mn-Ga フェライトについては、Ga の効果は Ga が B site に入ると Mn^{3+} が Mn^{2+} となって A site に一部移るというモデルが一番良いことがわかり、こゝからほゞ 15% $\text{Mn Ga}_2 \text{O}_4$ の入った試料の (111) が polarizer として最適である事が予測された。この polarizer は高周波磁場がかけられる、 $d_{111} = 4.92$ であるので、長波長を得るのに良いという利点がある。

これと独立に磁気鏡による偏極の可能性を指摘し、mirror collimator のアイデアを提案した。

中性子導管と偏極法

京大原子炉実験所 阿知波 紀郎

KUR 中性子導管製作グループ（代表 岡本朴）では、中性子導管の先に磁化した中性子磁気鏡をとりつけて全反射法により長波長白色中性子の偏極化を試みた。磁気鏡はフロートガラス上に Co-Fe 合金をスパッタ法で蒸着した。磁気鏡の性能を調べるために、T.O.F 法により全反射率の波長依存性の測定を行い、又全反射中性子の偏極率の波長依存性の測定を Co-Fe 単結晶アナライザーを用いた 2 回反射法により行った。その結果臨界波長より長い中性子の全反射率はほぼ完全に得られたが、臨界波長は磁気飽和時に予想される波長よりやゝ長く、又偏極率の波長依存性の測定では、臨界波長付近ではほぼ完全に偏極した中性子が得られたが、波長が長くなるにつれ偏極率の低下が見られた。ガラス上に Co-Fe 合金を蒸着した磁気鏡では、磁化と反平行スピンを持つ中性子が、Co-Fe 合金膜を通過してガラス表面で全反射され再び、表面に出てくる。現在この欠点を改良中である。

Stern-Gerlach 法の可能性について

阪大・理 国 富 信 彦

ステルン・ゲルラッハ法は、物質との相互作用なしに偏極中性子を得る方法であって、他の方法にくらべてユニークであり、そのために完全に偏極した中性子が($p = 1$)反射等によるロスなく($R = \frac{1}{2}$)得られる。中性子の磁場による偏向角は

$$\theta(\text{分}) = \pm 1.265 \times 10^{-7} \ l \left(\frac{\partial H}{\partial Z} \right) \lambda^2 (\text{Å})$$

で与えられる。

ここで単位は c.g.s. ガウス系による。この関係は Hasler - Weber の実験結果とよく一致している。

S-G 法の欠点は十分な偏向角(約 30 分)をうるのにはビームエリヤを狭く(約 1 mm^2)せざるをえない点である。しかし $\lambda > 4 \text{ Å}$ の範囲なら conventional な S-G 法でも mirror 法と必敵できる。さらに能率をよくするには、ビームコリメーター等を利用して、長大な磁場を作ることもあげられるが、ここでは H をパルス磁場($200 \text{ Koe.}, 10 \mu \text{ sec}$)で作る Push - Pull Repetitive Synchronized Solenoid の構想を明らかにする。この方法によると、巾 4 cm 、長 1 cm のビーム巾を持った $p = 1$ の中性子線をうることができることが設計上示された。

1 月 14 日 14:00 ~ 18:00

座長 伊藤 雄而

最近色々と考えられているスピン変調法の一つとしてスピンエコー法があるが、武田氏はその方法についての論文紹介を行ない、更にスピン反転式ショッパーの概念を述べた。次いで秋光氏は陽子偏極をダイナミック法で行ない、それに熱中性子を透過させることから偏極中性子を得る方法を論議した。その際中性子と陽子との一重項、三重項散乱が、それぞれ全く非干渉的であれば良いが、単結晶試料を用いる場合、散乱の干渉効果が透過中性子の偏極にどうきいてくるか等、

解決されねばならない問題点も多いことが指摘された。午前・午后を通じての偏極用ポーラライザーに関するコメントとして船橋氏は He^3 ガスの核偏極の可能性を指摘し、又風間氏は一般に試料を通過させる際 depolarize する様子を精密に測定することから、特に T_c 近傍での磁区の状態がくわしく観測される点を強調した。

スピニ反転式チョッパー TOF 法

広島大学教養部 武田 隆義

我が国の高中性子束炉計画である KUR-2 にとりつけるスペクトロメーターの1つとして、
スピニ反転式チョッパー飛行時間分析器を私達は計画したが、最近 mezei¹⁾ により、新しい
スピニ反転方法が試みられた。この方法は従来広く用いられた r.f. コイルのかわりに経済的
な直流コイルを用いるが、従来の方法より構造が著しく簡単になり、反転率は磁場、 geometry
の不規則性、中性子速度のバラツキに對して sensitive でなく、容易に反転率を 100% 近
くまであげることができ、またビームの断面積を増大させ、強度を増大させる。ビームに沿って
反転器の長さが短いので、分解能を著しく良くするとともにスピニ反転の切り換え時間を短くす
ることができるばかりではなく、電気的な制御を容易にし、中性子のパルス制御の flexibility
は増加した。このことは通常の飛行時間分析器として用いるだけでなく、 pseudorandom -
pulse を使った相関解析にもとづく飛行時間分析器の可能性を増大させた。

1) F. Mezei : Z. Physik 255, 146 (1972)

陽子偏極による熱中性子偏極法

東大物性研 秋 光 純

陽子の中性子に対する散乱断面積は、一重項状態と三重項状態ではその大きさが異なるので、偏極した陽子の中に熱中性子を通すと一方向に偏極した中性子が得られるのではないかと予想される。

まづ最初に偏極した陽子を得る方法としては静的な方法と動的な方法の2つが考えられている。静的な方法は低い温度と強磁場下で核を偏極させる方法であるが、この方法による偏極度 P は $H = 20 \text{ KG}$ 、 $T = 1^\circ \text{ K}$ で $P \approx 0.2\%$ にしかならない。一方電子は核に較べて 10^3 倍もの磁気モーメントをもっているので、同じ条件下で $\approx 90\%$ 近くの偏極を得ることができる。この大きな電子の偏極を電子と核の双極子相互作用と、核が反転するのに要するマイクロ波を与えることによって大きな偏極を得る方法を動的偏極法という。この方法に用いる実際の物質には種々の制限が伴なうが、現在 L.M.N. ([La₂Mg₃(NO₃)₁₂ · 24H₂O]) の La⁺³ の一部を Ce⁺³、または Nd⁺³ でおきかえたもの) やグリコールやブタノール系などの有機物質が開発されつつある。又技術上の問題点としては、50 KG、0.5° Kまで出す必要があるので、超電導マグネット、liq He³ 用の循環装置、mm波帯域の E.S.R. 装置などが必要である。

最後に得られた偏極ターゲットに熱中性子を通した場合の偏極度 P_n は $P_n = \tanh(n f \sigma_p l)$ (n : 通過する中性子の総数、 f : 陽子の偏極度、 σ_p : 偏極散乱断面積、 l : 中性子が通過する試料の厚さ) で与えられるが、実際の物質にあてはめた場合 $l = 0.5 \text{ cm}$ 位あればほゞ陽子の偏極と同じ程度の偏極した中性子が得られると思われる。しかし陽子により生ずる大きな非干渉性非弾性散乱により、強度自身がどれ位減少するかなど検討を要する問題もあると思われる。

新しい Polarizer 等についてのコメント

原研 船 橋 達

中性子の偏極および偏極解析は、単結晶の磁気ブレーキ反射を利用したものが広く行われているが、飛行時間法による $\chi(Q, \omega)$ の測定のように、連続したエネルギーの中性子の偏極解析法としては適さない。そこで考えられるのは、(1)磁化した多結晶の透過、(2)ステルン・ゲルラッハの方法、(3)陽子偏極ターゲット、(4)ヘリウム3の偏極、などである。(3)は広いエネルギー範囲にわたって有効であるが、低温・磁場・マイクロ波などの高度の技術を要し、費用も非常に高くなる。透過率の上でも若干の難点がある。(4)については、現在では 1 mmHg の ^3He ガスで 40 % の核スピンの偏極が光ポンピングによって得られているにすぎないが、 ^3He の核スピンと中性子のスピンが反平行のものだけが吸収され、平行な中性子はほぼ完全に透過するので、もっと高圧で、より高い偏極を得るために技術的改良がなされれば、非常に有効な方法として実用化できると考えられる。

Depolarization の測定

東北大金研 風間典昭

Depolarization の研究は 1940 年代 Halpern, Holstein 等に始まる。これらの研究では偏極中性子線が磁化されていない強磁性物質を通過した後の depolarization の測定により磁区の大きさや分布を決めることが主であった。入射および通過中性子の偏極方向を P_0, P とすると depolarization は下式となる。

$$\frac{P}{P_0} = \exp \left\{ -\frac{1}{3v^2} g^2 \sum_i B_i^2 \delta_i^2 \right\}$$

但し、 B_i は磁区内の磁場、 δ_i は磁区の大きさ、和は中性子透過路に沿っての全ての磁区について

てとる。 v 、 g は中性子速度および Gyromagnetic ratio である。最近 Rekveldt 等により Polarization turner が考案され磁区内の depolarization 係数のみならず試料による三次元的 depolarization matrix を決定することが出来、より多くの情報が得られるようになった。さらに磁気転移点近傍での depolarization は磁化の fluctuation correlator として表わされ、

$$\frac{\Delta P}{P_0} = \frac{g_n^2 L}{2v} \int_{-\infty}^{\infty} dt \langle b_{\perp}(t) b_{\perp}(0) \rangle$$

となる。

L : 試料の長さ

$g_n = 2 \mu_n$ ($h = 1$) : μ_n は中性子の磁気能率

$b_{\perp}(t)$: transverse fluctuation field ($B_{0\perp}$ $b_{\perp}(t)$)

磁場中の試料内磁場 B は

$$B = B_0 + b$$

で B_0 は一定磁場とする。

転移点で長波長 fluctuation は最大となるが、短波長 fluctuation はあまり変化しない。従って $T \rightarrow T_c$ になるにしたがい、長波長 excitation は最大となる。

常磁性領域では $\Delta P / P \sim L \sigma_{\text{par}}$ (σ_{par} は常磁性体の散乱断面積) となる。

このように磁気相転移に伴う depolarization を測定することにより動的な磁化の相関関係を研究することが出来る。

(II) 偏極中性子法と物性の問題

12月15日 10:00—12:30

座長 渡辺 浩

このセッションではまず伊藤氏(東大物性研)が中性子と物質の基本的相互作用に関する survey を行ない、従来あまり重要と考えられていなかった相互作用も次第に観測にかかるようになってきたこと、またそのような相互作用を利用して新しい実験方法を展開できることを示唆した。例えばその中の spin orbit term (Schwinger termとも呼ばれる)は magnetized mirror における非対称性の原因をなすものであり、また diamagnetic form factor に関する項は大きさは小さいが磁場に比例するので強磁場下では測定可能であること、さらに Foldy term とよばれる電気的相互作用も観測にかゝっていることなどを指摘した。次に中井氏(阪大)は種々の不規則合金における散漫散乱の測定から異種原子の磁気モーメントを求めるのに偏極中性子を用いる際の実験的問題点を主体的に話し、magnetic short range order と atomic short range order の関連性について活潑な討論が行なわれた。浜口氏(原研)は incoherent inelastic scattering の実験において phonon からの寄与を分離するのに偏極中性子が必要であることを SrFeO_3 、 KMnF_3 を実例として示した。新村氏(東北大核理研)はライナックのようなパルス中性子源と TOF の実験において L_1 及び L_2 (L_1 、 L_2 はそれぞれ target と試料、試料と検出器の距離) の大小関係で弾性散乱と非弾性散乱の分離ができること、および液体などの試料に対して $L_1 = L_2$ とすると $S(Q) = \int S(Q, \omega) d\omega$ を求める際、近似的に $Q = \text{const}$ で実験できることを指摘した。

偏極中性子法の利点・弱点

物性研 伊藤 雄而

中性子と物質との間の基本的相互作用を三つのハミルトニアンに分ける。その第一は核力であ

り、核散乱振幅は $B_n = i b' + B I \cdot \sigma$ とかける。第二は磁気相互作用による項で散乱振幅は $B_m = (p_a + s p_i + D p_i) q \cdot \sigma + i r \cot \theta n \cdot \sigma + d N q_N \cdot \sigma$ 。ここで p は磁気散乱振幅で添字 a は原子の局在モーメントによる部分、 i は外部磁場で誘導される部分、 N は原子核による部分を示している。更に S 、 D はそれぞれ誘導スピンと反磁性を意味する。第二項がいわゆるスピン・軌道相互作用の項で左右非対称の散乱効果を示す。最後に電気的相互作用のハミルトニアンが存在して、 $B_e = r + b_e + b_e' + b_e''$ 。この第一項が Foldy 項を与える。これらの散乱振幅はすべて互いに干渉し合い(一ヶの原子の中で)、又中性子スピンの反転を伴なう場合と、そうでない場合とに別けられる。偏極中性子法の有利な点は正にここにある訳で、このような干渉性を利用して、非常に精密にある種の相互作用を他のそれから分離、決定出来得る。又スピン反転プロセスの利用も偏極中性子を用いて始めて可能である。これらのケースについて興味ある例について説明すると共に実験を行なう際の困難さに言及して、特に強度的考察から、より強いビームが得られるポーラライザーの必要性を強調したい。

偏極中性子法と散漫散乱

阪大理 中井 裕

不規則合金の磁性に関して、中性子の磁気散漫散乱の測定によって得られる興味ある情報としては、(1)構成原子各々の磁気モーメントの大きさ： μ_A ， μ_B 、(2)不純物のまわりの母体に誘起される磁気モーメントの空間分布、(3)磁気クラスタ内の磁気モーメントの空間分布等がある。それらの実例について述べる。

次に実験の面から見れば、精度をきめる因子として、(1)計測数の統計誤差、(2)測定値の絶対値化に必要な装置定数を求める際の誤差、(3)多重散乱の効果がある。特に(3)の散乱角依存性は評価が困難である。それを計算で補正する試みとして、多重散乱も入れた散乱実験のシミュレーションを電子計算機を使って行った。それを使えばある程度の精度で(3)の効果を補正できることがわかる。

偏極中性子法と非弾性散乱

原研 浜口由和

非弾性散乱の場合でも散乱ベクトルに平行な中性子スピンはそれに直角の面内にある磁気スピン成分により spin-flip 散乱を生ずる。スピン波による散乱はこの散乱を測定することにより、non spin-flip 散乱であるフォノンによる散乱と分離して測定される。強磁性体の場合には中性子スピンと磁気スピンは平行にしか選べないのでスピン波成分はその一部しか測定出来ないが、反強磁性体の場合には種々の応用が考えられる。いずれにせよ偏極解析を行う必要があるが、この場合の散乱強度は複雑な型で表わされるので、主としてスピン波散乱を同定するのが主目的となる。他の応用としては常磁性非弾性散乱がある。所謂一般化帯磁率は散乱強度が小さいので、Ni のようなモノアイソトープを利用する以外には、偏極中性子解析により磁気散乱を核散乱から分離させることが必要である。この方法の一般的表現式は未だ与えられていないが、弾性散乱の場合に準じた方法で解析可能であると思われる。KMnF₃ を一例として、フォノンの混入の様子を示した。

偏極中性子法とパルス中性子法

東北大核理研 新村信雄

従来パルス中性子源 T OF 法による偏極中性子の研究は余り行なわれていない。これは弾性散乱を考えた場合、T OF 法は白色中性子が使えるのに対し、白色偏極中性子を得ることが困難であったためである。ガイドチューブ、偏極水素ターゲット等の技術が開発され白色偏極中性子が容易に得られた時 T OF 法の新しい応用面も開ける。今回は将来ガイドチューブ等の発展により長い flight path が自由に得られるようになった場合を想定し、flight path を適当に選択することにより（flight path は通常の結晶法にはない T OF 法のパラメーターである。）面白い測定が可能である。中性子源から試料までの距離を L₁ 、試料からカウンターまで

の距離を L_2 とすると、a) $L_1 \gg L_2$: Bragg peak の中に広い q にわたっての非弾性散乱された中性子の寄与がある。b) $L_2 \gg L_1$: Bragg peak から弾性散乱の中性子を精度よく取り出せる。c) $L_1 = L_2$: 原点のまわりで $\chi(Q) = \int \chi(Q, \omega) d\omega$ を constant Q で測定可能。(J.M. Carpenter, J.D. Sutton : Nuclear Instrum. 99 (1972) 453)。

12月15日(金) 14:00—18:00

座長 石川義和

午後は偏極中性子の応用について、いくつかの興味ある問題が提案された。渡辺氏は今までに偏極中性子を用いてどのような仕事がなされて来たかについてのレビューを話され、山口氏は POLTO を用いてどのような仕事をやりたいかの希望を述べられた。その中で非晶質強磁性体の研究や、磁場によって誘起した磁気モーメントの研究は実現可能な興味あるテーマであるが、もっと具体的な検討が望まれた。山田氏は中性子の分極と磁気モーメントと散乱ベクトルをおのとの垂直になるような条件下で測定することによって構造解析での位相を決定する事が出来ることを示した。しかしこの方法は具体的に実行しようとすると中性子の depolarization が起るので困難であるとのコメントがあった。伊藤氏は水素化合物の水素の核スピン散乱を分極解析法で測定する事によって、原理的には数多くの測定をしなくとも(単位胞中の原子数×3以上であればよい)、X線できめられた原子の位置についてのパラメーターの精度を上げられることを示唆した。これも興味深い提案であったが、本当に精度が上がるかについては多少疑義が持たれた。

東北大金研における偏極中性子実験

東北大金研における偏極中性子実験は、まずまずうまくやっています。また、今後は偏極度を上げるために新規の polarizer が開発され、偏極中性子ビームの強度が上昇するのは必然であると思われる。これを用いて、何を測るかの検討が必要である。考えられる実験の多くは、Moon et al.

a1. (Phys. Rev., 181 (1969), 920) に出てゐるが、我々のところで検討し、将来実験したく思つてゐるテーマは次のようなものである。(1) 非晶質強磁性体の研究。磁性原子間の空間的な相関、磁気電子の拡がり、等を見る。(2) 4d、5d 遷移金属のフェルミ面のところの波動関数の対称性の研究。(3) 磁気臨界散乱の研究。うまい物質を選んでやればスピンのz成分の相関と、x成分の相関とを分離して測定することができる。また、偏極反転率の測定から、強磁性体の磁気臨界指数を知ることができる。(4) 偏極反転率の測定から、常磁性状態での強(又は、反強)磁性金属中の局在磁気能率を知ることができる。

偏極中性子の応用について

東北大・金研 渡辺 浩

東北大金研では原研 J R R - 3 IC 偏極中性子回折装置 P O L T O を設置して、まず Mn_{1+δ} Sb ($\delta = 0.04$) における不对電子分布の測定を行なつてゐるが、その結果 Mn 原子は d^{6~7} の電子状態にあることがわかり、Mn³⁺ Sb³⁻ のイオン描像 (d⁴) とは明らかに異なることを確立した。同様な実験を CrTe についても行なう予定である。また CoS₂ は伝導性の大きい化合物であるので、d 電子分布はイオン結晶から期待されるものとかなりちがって観測されるものと期待している。

さらに金属間化合物または規則合金での各結晶学的位置の原子の磁気モーメントを求める実験は Fe₅ Ge₃、(Fe, Mn)₅ Ge₃、Fe₃ Pt、FePt、FePt₃ 等について行ないたい。不規則合金については Fe-Pt、Co-Rh 等について行ないたい。本装置を用いて既に国富研(阪大)では Fe-Ni-Co 三元不規則合金系につき実験を開始し、CPA理論との比較検討を行なつてゐる。Polarization analysis については本年度中に偏極度 $P_0 \parallel \kappa$ (散乱ベクトル) の実験を行えるようにし、将来 $P_0 \perp \kappa$ も行なえるようにする。それにつけても偏極中性子強度を増すための偏極子物質の開発を強力に進める必要があるので、現在 MnSb または Mn_{1-x} Fe_x Sb を検討中である。この他 topograph 法による強磁性体、反強磁性体の磁区の研究、反強磁性体における共有結合性の研究、その他幾つかの研究テーマの提案があり、最後に風間氏(東北大金研)から MnP と類似の二重ラセン構造をもつ CrAs を偏極子として開

発できる可能性のあることが指摘された。

まよび得田千鶴中野種子鷹取山 東大内閣の通じ本

結晶構造解析の位相決定問題への 偏極中性子法の適用

阪大・教養 山田 安定

一般に、結晶に波動を投射して得られる散乱波は、振幅 $|F(\mathbf{K})|$ と位相 ϕ の 2 つの独立な物理量から成立っているが、断面積は $|F(\mathbf{K})|^2$ を与えるだけで位相は unknown である。従がって、物質の構造決定の技術上、観測量から直接一義的に Fourier 変換が行なえず、位相決定問題は本質的な問題点として残っている。そこで、ここでの提案は、偏極中性子散乱の場合には得られる情報として、断面積 σ と偏極 P との 2 種類の物理量があることに着目し、 $\{\sigma, P\}$ の組から、直接 $\{|F(\mathbf{K})|, \phi\}$ の情報を求める可能性を追求する事である。

巨大分子中に磁気イオンがあり（例えばヘモグロビンのように）磁気的秩序格子は比較的単純な格子（中心対称のある）を組んでいいるとすると。 P_0, σ, e をそれぞれ入射中性子の偏極方向、磁化の方向、散乱ベクトルの方向の単位ベクトルとし、 $P_0 \perp \sigma \perp e$ の条件で $I(P_0)$ 、
 $I(\sigma)$ 、 $I(e)$ をそれぞれの方向に偏極した散乱中性子の強度であるとすると
 $I(P_0) \propto |F(\mathbf{K})|^2 - S_{\perp}^2(\mathbf{K})$
 $I(\sigma) \propto 2 F'(\mathbf{K}) \cdot S_{\perp}(\mathbf{K})$
 $I(e) \propto 2 F''(\mathbf{K}) \cdot S_{\perp}(\mathbf{K})$ であることが示される。但し、

$$F(\mathbf{K}) = F'(\mathbf{K}) + iF''(\mathbf{K}) : \text{核散乱構造因子}$$

$$S_{\perp}(\mathbf{K}) : \text{磁気散乱振幅 (real number)}$$

これから偏極解析により、

$$\frac{I(\sigma)}{I(e)} = \frac{F''(\mathbf{K})}{F'(\mathbf{K})} = \tan \phi$$

として、原理的には位相角 ϕ が得られる事になる。

陽子偏極と偏極中性子回折による 水素位置の精密決定

物性研究会講演会報告書 物性研究会 藤 雄 而

中性子回折による水素位置の精密決定

一般にX線又は中性子線を用いて物質の構造を決める際に、各プラグ反射での強度の測定だけからでは位相の不確定さのために一義的に構造を決定できない。それに加えて水素位置の精密決定は、それが生体物質等では特に重要な問題であるにもかかわらず、そのX線に対する散乱振巾の弱さ、並びに中性子線に対する高い非干涉性バックグラウンドのために、大きな困難を伴う問題とされている。この中性子線に対する非干涉散乱は、実は中性子一水素原子核のスピン依存性による訳で、もしも水素原子核を偏極させることができれば、逆にこのスピン依存性を利用して、水素位置に寄与する位相と強度を精密に求めることができよう。それは水素を含む結晶の構造因子を見ればただちに分かることである。

$$F_{hkl}^{\pm} = (b_p \pm \delta) e^{i\theta_p} + F'_{hkl}$$

ここで、 F_{hkl} は (hkl) 番目の反射に対応する結晶の単位胞構造因子で右辺の第一項は偏極した水素原子核群による寄与で、 b_p は偏よりのない中性子に対する核散乱振巾、 δ はプロトン核偏極のために現われる。土は中性子のスピン偏極の向きに対応し、 F'_{hkl} は水素以外の原子による構造因子の寄与である。今水素原子以外のものについては、X線測定等からその位置が分かっているものとすると、 F'_{hkl} 、 b_p 、 δ （外部磁場、温度で決まる）等は既知であるから偏極回折で水素位置の位相の情報を含む $e^{i\theta_p}$ が精密に求まることになる。しかもその際、原理的には $3N_p$ の反射から水素位置を求めることができる。ここに N_p は単位胞中の水素原子の数である。具体的には $(COOH)_2 \cdot 2H_2O$ を例にとり、この新しい方法の可能性を論じる。

「X線・電子線映像法とその物質構造研究への応用」

司話人 細谷 資明（物性研究所）

この研究会は首唱者の三井利夫（阪大基礎工）のほかに、高良和武（東大工）辻内順平（東工大印写研）細谷資明（東大物性研）日比忠俊（東北大科研）原田仁平（名大工）が提案者となつて昭和47年12月11日～12日の2日にわたって開かれた。

X線、電子線による物質の分子的構造の研究は構造の持つ周期性に大きく依存する形、即ち回折結晶学として進歩してきた。しかし、近時、光の分野でのホログラフィの出現に刺激されて、干渉性のよいX線、電子線ビームをつくる可能性と、これにより物質の分子的構造を直接に“見る”ことの可能性が議論されるようになり、実験的にも種々の試みが行なわれている。しかしながら、この種の知見は現在各分野に分散しており、光ホログラフィ、X線、電子線の専門家が会して、情報交換を行ない、現在の問題点、今後の研究の方向づけについて討議するために開かれた。今回は生体物質構造の研究者が比較的少数でもあり、まだその方面に直ぐ役立つような話が少なかったのは、研究の発展段階からいってもまだ致し方のないことと思われる。しかし今後もこのような学際的研究会は境界領域の発展のため意義があると思われる。

研究会のプログラムは次の通りである。

1. 現在どのような研究が行なわれているか

1-1 Introductory talk

高良和武（東大・工）

1-2 レンズ結像型電子顕微鏡

橋本 初次郎（京工織大）

1-3 走査型電子顕微鏡

市ノ川 竹男（早大・理工）

1-4 電界イオシ顕微鏡

中村 勝吾（阪大・産研）

1-5 X線解析の方法

細谷 資明（物性研）

1-6 電子線ホログラフィ

外村 彰（日立中研）

1-7 X線ホログラフィ

菊田惺志（東大・生研）

2. 画像処理の諸方法

2-1 光学的画像処理

辻内順平（東工大・印写研）

2-2 コンピューター画像処理

一岡芳樹（阪大・工）

2-3 ホログラフィ顕微鏡

永井昌平（オリンパス研）

2-4 生物体質の観察方法

江橋節郎（東大・医）

3. 電子・光・X線のコヒーレンス

3-1 光のコヒーレンス

朝倉利光（北大・応電研）

3-2 電子線のコヒーレンスと生物試料の電顕像コントラスト

日比忠俊（東北大・科研）

3-3 高解像能電子干渉顕微鏡の一応用

矢田慶治（東北大・科研）

3-4 X線レーザー

宅間宏（日本電子）

3-5 コメント

加藤範夫（名大・工）

3-6 X線光学

高良和武（東大・工）

橋爪弘雄（東大・工）

4. パネルディスカッション

パネラー

上田良二（名大・工・応物）

大沢文夫（名大・理・分子生物）

加藤範夫（名大・工・応物）

宅間宏（日本電子）

田中俊一（東大・工・物理工学）

保坂康弘（阪大・微生物病研究所）

以下それぞれの内容を簡単に紹介する。それらは座長をお願いした方に書いて頂いたものを体裁などを最小限変えただけで、ほとんど原文のままである。

1. 2日間のこの研究会で私の感じたことは、第1に、プログラムが盛り沢山であったこと。第2には講演者の話が難かしすぎたことである。

今回の研究会は、生物学者から理論物理学者までの幅の広い分野の人等が出席している。それに応じて講演者も大所高所から学問の現況を、出席者にわかるように話してほしかった。或る人は最近の御自身の研究を、その道の専門家ののみの集りで話すのと、殆ど同じ調子で話し、また或る人は、最近の発展のレビューを残すことなく忠実に早口で語られた。また、或る人は、独自の装置の設計データを説明された（本当はそうでなかつたかも知れないが、私にはそのように受け取れた。）

何れの人も真面目で、熱意にあふれていたので、その気分の良さは満喫させていたが、或いは難かしすぎ、或いは早すぎて、私には追いけず、頭の中の情報はあまり植えなかった。勿論、江橋先生の話のように、非常に良くわかるものもあったが、全般的に見れば、あまりに内容豊富で、かえって獲物は少なかった。何うせ、私のような老人は、「わかりが悪いから、これで良いのだ。研究会なんて、何時でもこんなもんだ。」と割り切ってしまえば、それ迄だが、今後、益々幅広い人たちの会合を盛にするためには、話しをする人が、相手を見て話す術を心得てほしいと思った。もう1つは、プログラムが、あまりに満員で、討論の時間がなかった。誰でもプログラムを作る時は、あいた時間が出来てしまうと間抜になるような気がして、ぎっしりと詰めたくなるものだが、最近の我々の会合では、講演の時間と、討論の時間とを半々にしておいても、まだ討論時間が足りないのが普通である。研究会は単位をとるための詰込み教育ではないから、内容の量は減じても、質を上げる方が効果があるだろう。

少々説教じみてくるが、この種の研究会では型のきまつた、大ボス、中ボスの話だけでなく、創意を持って仕事をしている大学院生等の話も聞きたいと思う。若いからといって、すじの通った分り易い話が出来ないはずはない。若い人たちこそ、大所高所から物を見て、末稍的マンネリにならない話が出来るはずである。時には間違をおかして笑われるかも知れないが、物事を大きくとらえていれば、誰にもわかる話になるであろう。

さて、私のセッションの主題は、通常の透過電子顕微鏡と、走査型電子顕微鏡との最近の発展が、各々、橋本(初)氏と市ノ川氏によって紹介された。最近、何れでも孤立した重原子を見たという話があるが、これは装置の改良が如何に素晴らしいかを物語っている。私自身は、多くの人々の報告している「原子の像」は、その可能性はあっても、証明されたものではないと受取っている。（その話は“*Butsuri*”に投稿した）。反射型顕微鏡（最近 SEM、scanning electron microscope と呼ばれている）は分解能は高々 200 \AA の程度であるが、使用法が容易で、焦点深度が深く、立体的な形状を見るのに極めて適していて、

最近は生物、非生物の広い分野に使われはじめた。表面の形状を見る道具であるが、試料を適当に処理して割ると、内部構造の観察もできる。微細な化石をうまく作って、うまく割る技術は目下発展の途上にある。

技術発展の基礎になった、照射系の問題、結像の式、像の強度の計算、2次電子の性質や検出法、走査法による回折現象の研究についても語られたが、これらは予稿を参照してほしい。

(以上 上田良二)

1-4 電界イオン顕微鏡(FIM)は単一原子や分子の像を最も高い分解能をもって結像できるという点で、他に例を見ない特徴がある。この技術を最近いちぢるしい進歩がみられ、広い範囲にわたって利用されて来ているが、この講演では、電子光学的に原子の像をコントラストをもって結像させ、原子配列を観察する電子顕微鏡による方法との比較のために、主としてFIMにおける結像機構の解説がなされた。

従来FIM結像機構としては次の如く考えられていた。すなわち、電界が作用するチップ表面に入射した結像ガス(Ne, H₂, He)が分極して加速され、チップに衝突した後、更にチップ表面で跳躍運動が繰返されて運動エネルギーを失い、表面原子から臨界距離だけ離れた領域に入って電離し、螢光面に直進しイオン像が得られる。

しかしながら、この考えにもとづいたTsongの式により計算される分解能はHeガスの場合実測より悪いという不一致のあること、これに関連して最近Müllerが行なったAtom Probe FIMの実験から、従来考えられていた結像機構が修正されようとしていることが紹介された。それによると、結像ガスが強い電界によって分極し、表面原子のtopに電離電離したイオンによって結像すると解釈する考え方である。

以上の他、生物試料をFIMによって観察する試みとして、チップ表面に試料を付着させて観察する試みがあるが成功しておらず、この方面への応用は現段階では未だ困難な状況にあることが述べられた。

結晶内の原子を観察するという意味でX線回折による結晶構造解析で行なうFourier合成の方法はX線回折像を数値的に結像させ、原子の像を得ることに対応するものである。最近、複雑結晶の構造解析が可能になり、結合あるいは非結合電子の存在をそのFourier像から確認出来るようになって来ている。しかし、一般の回折実験によって得られる情報は結晶構造因子の振幅のみで、位相項に関しては何らかの方法で推論しなければならず、ここにもこの方法の基本的な問題がある。

1-5 この話では位相決定の方法について総合的な解説がなされた。その中で、まず構造因子の振幅と位相項との間にBodeの定理が残念ながら成立しないので、振幅についての情報から、

この定理を用いても位相項は求められない事情についての説明がなされた。

次に位相決定について、現に利用された種々の方法を次の6種に分類し、そのおのおのについての解説がなされた。

- 1) 数学的方法
- 2) 内部に参照波を入れる方法
(同形置換、重原子法)
- 3) 位相をある原子について既知量だけ変化させる方法 (異常分散法)
- 4) 波を結晶内で干渉させて、外で観察する方法 (同時反射法)
- 5) プラグ反射以外の逆格子点における情報を使う方法
- 6) 上記の何れかの2つを組合せる方法

この中で、異常分散法では、散乱振幅にに対し実数部の補正が同量となる2種類の波長を選んで回折強度を測定し、その2種類の測定値を適当に処理したものを用いて Patterson 合成をすると、異常分散を起す原子だけに関する原子間距離の情報が得られ、位相決定に役立てることが出来る。この様な従来から知られている異常分散法とは異なる方法が紹介された。これは中性子線回折すでに利用された方法であるが、X線への応用の可能性が述べられた。この実験には連続X線が必要であるが将来の S O R による X線源の開発との関連で興味ある方法である。

(以上 原田仁平)

1) 2) 3)

1-6 1948年 Gabor の提案した電子線ホログラフィーは Haine ら、日比により試みられたが、その後外村らは共役像の無視できる条件で、再生像を得た。2光束の場合については、電子線プリズムを用い、Möllenstedt ら、富田ら Saxon の報告がある。これらの試みでは、分解能は 50 \AA どまりで、電子顕微鏡に及ばないが、その原因是主に可干渉性の良い電子源が得られなかったためと思われる。理論的には、いろいろな方式の電子線ホログラフィーが 8) 9)
Han Ben, Weingartner らにより検討され、到達しうる分解能も導かれているが、まだ実験 10)
は行なわれていない。外村らは、フィールド・エミッションの電子線を用い、可干渉性の良い、従来の電顕の100倍の輝度をもつ電顕により、ホログラフィーの再生像の質を向上させた。

- 1) D.Gabor: Proc. Roy. Soc. A 197 (1949) 454
- 2) D.Gabor: Proc. Phys. Soc. B 64 (1951) 449
- 3) M.E.Haine & T.Mulvey: J. Opt. Soc. Amer. 42 (1952) 763
- 4) T.Hibi: J. Electronmicroscopy 4 (1956) 10
- 5) A.Tonomura et al.: Japan. J. appl. phys. 7 (1968) 295
- 6) G.Möllenstedt et al.: Naturwiss. 55 (1968) 340

- 6) H. Tomita et al.: Japan. J. appl. Phys. 11 (1972) 143
 - 7) G. Saxon: Optik 35 (1972) 195; ibid. 35 (1972) 395
 - 8) K.-J. Hanßen: Optik 32 (1970) 74
 - 9) I. Weingartner et al.: Optik 30 (1969) 318; ibid. 31 (1970) 335
 - 10) A. Tonomura & T. Komoda: J. Electronmicroscopy (1973) in press
- 1-7 X線ホログラフィーにより、高倍率、高分解能のX線像を得るための研究は、Gaborの提案直後から始まったが、レーザー光の出現ホログラフィーのめざましい発展に刺戟され、X線ホログラフィーに関して、種々の提案がなされ、予備的な実験も行われ始めている。
レンズレス・フーリエ変換方式のホログラムには、2次の位相項が含まれず、搬送波の縞間隔が広く、解像力の低い乾板を用いることができる所以X線に適している。菊田らは、この方式を用いて実験を行なっている。X線源としては、微小焦点のCK α 線(44.8Å)を用いた。試料には金属薄膜に刻んだ数μの大きさのパターンを用い、He-Neレーザー光で、140倍の拡大像を得た。また、光源として電子シンクロトロン(東大核研、1.3GeV)からの軌道放射によるX線を用いて同様な実験を行なった。グレーティングにより分光し、60ÅのX線を用いた。波長幅はCK α のそれの1/10程度で、X線管の場合よりも高次の干渉縞がみられ、良質のホログラムが得られた。
- X線ホログラムの作製での大きな問題は、時間的、空間的コヒーレンスの高い、かつ強度の高いX線源がないことである。光源自体についての工夫とともに、光学系について、たとえばmulti-pinholeを用いた微弱光のS/N比の改善の方法や、高分解能、高感度のX線テレビの応用などを検討すれば、従来のX線顕微鏡の分解能をこえる可能性がある。
- 1) G.W. Stroke: in X-ray Optics and Microanalysis (Herman-Paris. 1966) p. 30 菊田惺志:応用物理 41 (1972) 1035
 - 2) A.V. Baez: J. Opt. Soc. Amer. 42 (1952). A.V. Baez and H.M.A. El-Sum: in X-ray Optics and Microanalysis (Acad. Press. New York. 1957) P347
 - 3) J.W. Giles, Jr: J. Opt. Soc. Amer. 59 (1969) 1179
 - 4) S. Kikuta, S. Aoki, S. Kozaki and K. Kohra: Optics Communications 5 (1972) 86; S. Aoki, H. Ichihara & S. Kikuta: Japan. J. appl. Phys. 11 (1972) 1612
 - 5) J.T. Winthrop & C.R. Worthington: Phys. Letters 15 (1965) 21 (1966) 413; G.W. Stroke: Appl. Phys. Letters 6 (1965) 201
(以上 高良和武)

2-1, 2-2 は可視光による 2 次元画像のアナログ処理とコンピューター処理について、2-3 はこれらの処理とはやゝことなるが電子線と可視光を用いてホログラフィ顕微鏡が可能となる光学条件を考察したものである。2-4 は生体物質の電子顕微鏡像ならびにその回折像より物体の 3 次元構造を解析しようとする試みについてであり、2-1, 2-2 の一つの応用分野と見ることも出来る。

光学像の 2 次元的アナログ処理に利用される演算は四則演算の他に、フーリエ変換、コンボリューション、ディーコンボリューション、コリレイションなどである。これらの演算を具体的に行なう光学系としては、コヒーレント光の場合は再回折法ならびにホログラフィック フィルターリング法がある。

再回折法ではレンズの前側焦点に物体（2 次元画像）を置くと、そのレンズの後側焦点面の振幅分布は物体のスペクトルであるから、この面に透過型の複素振幅フィルターを置けば物体のスペクトルにフィルターをかけたことになる。これによる像のコントラストの調節、不鮮明像もそのボケの原因がわかつていれば鮮明化出来る。また物体が既知であれば、ノイズの中から物体像を抽出することも出来る。この光学系で物体面内に 2 つの物体を並べておくと、前記のスペクトル面では 2 つの物体のスペクトルが互に一方を参照光としてホログラムを作る（いわゆるフーリエ変換ホログラム）。はじめの物体面に第 3 の物体をおいてこのホログラムを再生すると、第 3 の物体のスペクトルでホログラムを再生することになるから、2 つの物体のコリレイションに第 3 の物体をコンボリューションしたものが像として得られる。この基本的な 3 者の関係を利用して物体として点光源やすでにコンボリューションで与えられるものなどを用いると 15 種の演算が可能であって、ノイズの中の信号検出、信号の索引、像修正などが可能となる。インコヒーレント光の場合は上記のように物体のスペクトルを直接振幅分布として取り出すことは出来ないため、レンズの利用は単にその瞳関数をフィルターとして利用出来るのみであるからコヒーレント光の場合のように自由に種々の計算を行なうことは出来ず、特別の工夫を必要とする。以上は講演 2-1 の概要であるが、この光学的アナログ計算の代りに 2 次元画像を光電変換走査法により 1 次元の電気信号にかえ、さらに A-D 変換によりデジタル信号になおしてコンピューターに入れて演算を行ない、結果を逆の道をたどり 2 次元的に表示すれば上記の光学的演算はすべてコンピューターの演算に置き代えられるというのが 2-2 の講演である。この方法の利点は演算は 1) 計算機がやるのであるから大抵の演算は可能であること。2) 演算の際にノイズが入らないこと。3) 演算精度がよいことまた 4) コヒーレント、インコヒーレントの問題もなくなるということである。欠点としては 1) 画面のサンプル数を余り多くとれないので再生を画像の分解能がわるい。2) また画像の階調も多くはとれないという点である。

2次元の表示装置としてハーフトーン・プロッタを用い形状補正(レンズの歪曲収差の補正)、コントラストの修正、ボケ像の修正等の実験例が示された。

電子線で回折像を記録し、可視光でこれを再生すれば、この得られる像の倍率は両者の波長比であるから数万倍の倍率を得ることが出来るというのがガボナーのホログラフィ研究の発端であった。レーザ光の開発でホログラムの研究はリバイバル(現在多方面でホログラフィの応用研究が進められているが、顕微鏡への応用研究も勿論多数試みられている。

しかしホログラム顕微鏡の最大の欠点は、再生の時に生ずる収差である。しかもこれはレンズと異なりこれを除く事は容易ではない。レンズレスフーリエ変換ホログラムの場合、一つの点物体に対しては無収差の結像を得ることが出来る。この配置にした時、点物体の近傍の点に対する収差がある収差許容量内にあれば一応の視野が得られ、実用となるわけである。永井氏は収差許容量としてマレシャルの条件を適用し、この視野の大きさ、また像面弯曲を計算し、最適光学配置を決めたものである。彼の示した例では 1 \AA と 6000 \AA の2つの光を用い倍率6000倍を得るとして、物体の大きさ 4 \mu 、分解能は 17 \AA になるという。

2-4の生体物質の観察方法の講演は電子顕微鏡像あるいはその回折像から3次元構造解析をするというもので現在行なわれているart法及びフーリエ法の比較、アクチンの構造が明らかとなった事、他の物質についてはまだまだ論争中である等の話であった。

2-1, 2-2の光学的処理およびコンピューター処理が主に2次元画像の処理であり、光学分野ではすでに定着したものであるがこれをそのまま生体の3次元構造解析に適用するのはむずかしいにしろX線回折での構造解析と同様非常に興味ある画像処理の応用分野であることが印象づけられた。

(以上 小瀬輝次)

3-1 ではその光の分野で発展してきたコヒーレンス理論が総括的に紹介された。まず熱的光源の場合には光はその波長に比して十分小さい源（原子）が発射され各原子からの光は互に干渉性がない。空間に固定された2点間の光の相関関数からコヒーレンス度が定義される。上記のような *incoherent source* からの光に対してはコヒーレンス度は光源のフラウンホーファー回折と結びつけられる。波長に比して十分広い領域で可干渉を例としてレーザーがあるが、レーザー光に対してもコヒーレンス度が1になることは稀で特にレーザー発振器中に種々のモードが共存する場合モードの数が多くなればコヒーレンス度が *incoherent source* のそれに近づく。これが実験例とともに示された。電子線の実験に用いる電子源は熱電子 *field emission* 電子などである。電子は源から出た直後には 20 \AA (0.3 eV) 程度の波長をもっていると考えられるので光の場合の *incoherent source* ではないようと思われる。電子がどの程度の干渉領域をもっているかはまだ明らかでない。この問題を定量的に研究するため 3-2 日比（東北大科研）は *Mollenstedt* 型の *biprism* を用いて電子のコヒーレンス度を測定した。まず *biprism* によるコヒーレンス度の測定が光の2つのスリットを用いた測定に対応することを種々の幾何学的パラメータを変えて確認した。ついで日比はコヒーレンス度と電子顕微鏡像のコントラストの関係を実験的に調べ特に生物試料で影響が顕著であることを明らかにした。3-3 矢田（東北大科研）は同様な *biprism* を用いた高分解能電子干渉顕微鏡についてのべた。これを用いて試料の電子に対する屈折率が測定できる。結晶性物質については従来測定値にかなりのばらつきがあったがこれは Bragg 反射の影響であることが示され、結晶性物質についても信頼できる測定結果が得られるようになった。屈折率は散乱角 θ の原子散乱因子と結びついていて原子の外殻電子の結晶中の分布に関する情報を提供するので今後の研究が期待される。

（以上 神谷芳弘）

3-4 可視領域では誘導放出機構と光共振器によって、波数ベクトルがそろった干渉性の高い電磁波が得られる。これが真のレーザー光である。波長領域を短い方に拡張したいと云うことが、レーザー専門家の願いであり、X線回折屋は、 1 \AA 領域を待望している。現在、光変調法で 1161 \AA 近のレーザー光が得られている。宅間氏は、可視域で成功している方法を分りよく分析して呉れた。筆者は 1000 \AA の境界を越える日もそれ程遠くないとの印象を得た。

然し、 100 \AA 以下のレーザーとなると、cm程度の共振器では、光が共振器を1回進む時間（ 0.1 n sec 程度）が励起寿命より長くなるので、共振の意味が失われる。従って単一モードの光を得ることは諦めなければならない。誘導放出を行ない得る電子状態を実現するには、パルスレーザーによるプラズマからのX線を利用するとか、パルス状高速度電子ビームや、放電による

方法が紹介された。共振器が使えない以上誘導放出を行ひ得る電子状態を入射光の進行する直前にタイミングよく作って置くことが不可欠である。このような可視域と異なる方法が必要とすれば、少なくとも初期のX線レーザーはパルス波であり、多重モードであることは避け難い。宅間氏はこの点を強調し、可視域の真性レーザーと同じ期待を持たないようになると注意した。

宅間氏は帰国直後で、在米中、最近世情を騒がしているKepros, Eyringの研究室を見て来られ、生々しい話を下さった。“Physics Today”によれば、発表の折、skepticismと多大のinterestで迎えられたとのことであるが、我々にとっても極めてinterestingな報告であった。但し、レーザー騒ぎを起しているのはむしろジャーナリスト達で、Keprosはnice guyでありEyringは謙虚な学者であるとのことである。

1週間程前に高良さんの主催で、核関係者核研SOR関係の人々とX線SORの勉強会を行なった。その時の印象と合わせて、X線源に変革のきしさを感じる。恐らく10年後には世界の何所かで、革命的な光源が実現しているであろうが、その時にはX線回折学も好むと好まざるにかかわらずbig scienceの色彩を持つであろう。今から長期展望の上に立つ準備が必要なのではあるまいか若し我が国で変革を実現しようというなら、幾つかの可能性を中心プロジェクト・チームを編成しなければならないであろう。そのためには今の科学技術体制を改めて前進したいものである。

(以上 加藤範夫)

3-5 X線干渉計のアナライザから20cm附近でフリンジなどのvisibilityがさがり始め、30cmぐらい離れると見えなくなるという最近の実験について報告された。これはX線の波面が平面でなく、干渉計の上方と下方で光路差が生じているためと説明された。

3-6 表面全反射を利用してX線光学的な実験例を紹介し、次に主として軟X線領域でフレネル・ゾーン・プレートによる像形成の実験、特に人工衛星上から写した太陽の軟X線像の紹介などがあった。

ついで講演者らが長年研究してきた、結晶による回折を用いたX線光学的実験について詳細な報告があった。非対称反射を用いて10⁻²秒程度の発散しかもたないX線を作り、結晶の不完全性を研究する話に連絡して、Borrmann fan、2結晶配置、回折線の空間的可干渉性の説明があった。最後にX線干渉計および結晶モワレの関係の研究の紹介があった。

以上何れも1971年に大阪で開かれたX線光学とマイクロアナリシス国際会議の報告書(東大出版会、1972)に出ているものが多い。

(以上 細谷資明)

。(共三)よみておる。さあ見る。用意は

パネル・ディスカッション

パネラー

辻 内 順 平 (東工大 工 印写研)
田 中 俊 一 (東大工 工 物理工学)
宅 間 宏 (日本電子)
上 田 良 二 (名大 工 応物)
橋 本 初次郎 (京工織大)
保 坂 康 弘 (阪大 微生物病研究所)
三 井 利 夫 (阪大 基礎工 生物工学)

パネラーは上記 7 氏であったが、他の参会者からの発言も活発であった。討議された問題の幾つかを疑問と答の形に要約すると以下のようになる。

○ 単一の重原子が電顕で見えるかどうか？

見える（橋本）

1 番大きな問題は支持膜のノイズである（上田）

○ 電顕写真から支持膜のノイズを除いてくれるような一般的なプログラムをつくれないか？

この種の問題を一般論として論ずるのは困難であるが、各論的に、それぞれの場合に応じての処理法は考えられるのであろう（辻内）。

○ レーザーはどの位の短波長のものまで実現の見込があるか？

高調波発生の方法によって、 300 \AA もしくは 100 \AA 近く迄は可能であろう。干渉性の改良等を含めて、短波長レーザーの技術は今後もじわじわと進歩してゆくであろう（宅間）。

○ 生きた状態で生体組織の分子的構造を見るという夢はどれ位実現の可能性があるか？

阪大の超高压電顕でバクテリヤをカプセルに入れて見ることを試みているが、実験上の困難も多く、分解能もあまりよくない（保坂）。

○ アクチン纖維のようならせん構造で 2 次元の電顕写真からどうして 2 次元構造が再構成できるのか？

らせん構造を横から見た 1 枚の電顕写真は、らせん対称のため、同じ構造を異なる側面から見た多くの写真の集りと等価となるからである。また、らせん構造に対して電顕 - 光回折法が有効なのは、回折面上でらせんの裏と表の回折图形が分離してくれることによる（田中等）。

○ 3 次元再構成法の分解能はどの位か？

計算機を用いる方法で 20 \AA 位である（三井）。

○映像法的アプローチに伴う困難を考えると、結局はタンパク分子の単結晶をつくりX線で構造解析をする方がよくはないか？

水溶性タンパク分子の場合はその方がよいかも知れないが、最近は多くのタンパク分子のつくる周期性のない機能集団の構造の解明が重要な問題になりつつある（三井）。

○X線、電子線ホログラフィでは、乾板でどの位迄細かい干渉縞が記録できるかが重要な問題と思われるが、現状はどうか？

光ホログラフィ用乾板で6.000本/ μ の干渉縞まで記録できるものがある（辻内）。

（以上 三 井 利 夫）

「ヘリウムの物性」

司会者 碓井恒丸（名大理）

中嶋貞雄（物性研）

生嶋明（物性研）

我国に於けるヘリウムの物性に関する研究は、少くとも実験面では、周知のように、諸外国に比べてかなり立遅れていた。しかし、恐らくは LT12 を 1 つの契機として、この分野の研究の機運はかなり急速に高まり、それを反映して短期研究会も過去に 2 回開かれて、それぞれの時期にきわめて有意義であった。本研究会はその 3 回目にあたり、47 年度に認められた総合研究(B)「液体および固体ヘリウムの実験的研究」の班が主催した小グループの討論会がいくつか持たれた素地に立って行われた。本研究会では、特に実験で、制約された条件下にありながら努力と、それが実りつつあるいくつかの見るべき成果が認められ、収穫であった。また、ヘリウムの研究人口が現在も増加しつつ有って、新たにこの研究会に参加された何人かの方々から、実験の成果あるいは研究計画が述べられた。この点でも今後に期待し得るものは大きいと考えられる。

以下は、本研究会のプログラムと、各スピーカーから提出された報告である。

プログラム

会場：物性研講議室（旧棟 1 階）

2 月 1 日（木）、10 時 30 分より

(1) ラムダ転移（座長：碓井恒丸）

ラムダ転移の理論の Review (40 分) 鈴木増雄（東大物性研）

コメント（5 分） 山崎義武（東北大工）

Tλ 近くの超流動現象論 山内淳・碓井恒丸（名大理）

He³ - He⁴ 系でのラムダ点の圧力依存性（15 分） 柿崎明人（東北大理）

He³ - He⁴ 系での比熱（15 分） 渡辺昂（北大理）

He³ - He⁴ 系での超流動密度と第 2 音波の減衰（30 分）

照井義一・生嶋明（東大物性研）

He³ - He⁴ 系での第 2 音波 榎原良正・上原富美哉（東教大理）

He³ - He⁴ 系での NMR 信号の異常

平井章・福田耕治（京大理）

(II) 気相液相転移(座長:碓丸恒丸)

He^4 でのレーリー散乱の強度と幅(30分)

大林 康二

生嶋 明, 鹿児島 誠一 (東大物性研)

(III) 電子励起(座長:益田義賀)

ヘリウムの電子励起状態(15分) 神前 照, 近藤 泰洋 (東大物性研)

(IV) 吸着膜(座長:益田義賀)

He^3 单原子膜の遍歴粒子モデル(20分)

中嶋 貞雄, 武田 玲子 (東大物性研)

He^4 单原子膜の松原・松田モデル(20分)

中嶋 貞雄, 鈴村 順三 (同)

(V) Vortex(座長:西山敏之)

Vortex の格子構造(10分) 長谷田 泰一郎 (阪大基礎工)

He^3 - He^4 混合系のVortex(10分)

小林 俊一, 佐々木 亘 (東大理)

2月2日(金)、10時より

(VI) 超流動のダイナミクス(座長:西山敏之)

Pitaevskii-Gross方程式の非線形定常解(30分)

都築 俊夫 (九大理)

現象論的方程式の基礎(15分)

植山 宏 (阪大教養)

(VII) 素励起(座長:岩本文明)

ロトン相互作用とスペクトルの多重構造(20分) 西山 敏之 (阪大教養)

液体 He II に於ける励起スペクトルの多分枝構造(10分)

発生川 武次

小崎 優一郎, 砂川 重信 (阪大教養)

ロトンの寿命(20分)

山田 一雄

石川 幸志, 三宅 和正 (名大理)

He^3 - He^4 系のラマン散乱(15分)

宗田 敏雄 (東教大理)

第1音波の吸収の圧力依存性(20分)

山田 一雄, 三宅 和正 (名大理)

同 (20分)

比企能夫

木暮嘉明, 一柳直隆 (東工大理)

液体ヘリウムへの熱フォノン放出 (30分)

石黒武彦 (電総研)

(VII) 固体ヘリウム (座長: 中嶋貞雄)

bcc He³の基底状態とフォノン分散 (20分)

黒田義浩, 栗原康成

*石村礼和 (東大物性研, 群馬大工)

bcc 固体ヘリウムの基底状態エネルギーと音波分散 (20分)

生井沢 寛, 永井克彦

*本間重雄 (東大教養, 名大工)

固体ヘリウムのNMR (15分) 平井 章, 水崎 隆雄 (京大理)

固体ヘリウムのNMR (15分) 榎原良正, 西沢誠治 (東教大理)

固体ヘリウムの塑性変形 (30分) 鈴木秀次 (東大理)

固体ヘリウムの熱伝導に及ぼす転位の影響 (15分)

松尾徹, 鈴木秀次 (東大理)

固体ヘリウムの相転移 (15分) 草薙秀雄, 鈴木秀次 (東大理)

2月3日(土), 10時より

(IX) 液体He³ (座長: 和田靖)

液体He³の新しい相転移 (20分)

宗田敏雄, 山崎孝治 (東教大理)

He³の超流動転移にたいするパラマグノン効果 (20分)

中嶋貞雄 (東大物性研)

He³の超流動相でのNMR (15分)

高木伸, 和田靖 (東大理)

Fermi流体論について (15分)

三沢節夫 (日大理工)

(X) 液体He³中の不純物 (座長: 生嶋明)

液体He³中の不純物 (30分) 伊達宗行,

堀秀信, 豊川和治 (阪大理)

(XI) Heでの統計力学 (座長: 鈴木増雄)

剛体球のボーズ (10分) 原啓明 (東北大工)

古典液体のダイナミクスとヘリウム(10分) 千葉順三(原研)

$|A| < 1$ なる Heisenberg-Ising 模型の熱力学的性質(10分)

高橋 実(阪大教養)

以上

λ - 転移の理論のレビュー

東大物性研 鈴木 増雄

I . クリ込み群の方法 (Wilson) によって臨界指数を展開の形で求める話の解説。n - 成分の実数の場は、臨界点近傍では $n/2$ - 成分の Bose 系に対応する。短波長の効果を先にクリ込んで長波長に対する recursion formula を導き、それから臨界指数を求めるか、最初から、固定点 u^* (クリ込みの結果現れるユニークな相互作用) について展開する。 $u^* \propto 4 - d$ (d は次元) という関係がスケール変換の議論から導かれるので、結局 $\epsilon = 4 - d$ に関する展開となる。例えば、比熱の臨界指数は $\alpha = \epsilon (4 - n) / \{ 2(n + 8) \} + \dots$ と求まる。こういう理論では、臨界指数は、系の次元、自由度 n 、Potential - range σ にのみ依存して決まり、系の微細構造には依らず (universality)、また、その値は他の物性の問題と同じく、「魔法の法」という意味は持たなくなる。

II . 展開に頼らない overall の話。

III . 今後の問題

1. 動的な問題にクリ込みの方法が拡張できるか。
2. universality はどこまで成立するか。
3. 量子効果について。

参考文献

1. S.Ma, Phys. Rev. Lett. 29 (1972) 1311.
2. R.A.Ferrel and D.J.Scalapino, Phys.Rev.Letters 29 (1972) 413.
3. R.Abe, Prog. Theor. Phys. 48 (1972), 1414.
4. M.Suzuki, Phys. Letters 42A (1972) 5.
5. M.Suzuki, Y.Yamazaki, G.Igarashi, Phys.Letters 42A (1972) 313.
6. M.E.Fisher, S.Ma, B.G.Nickel, Phys.Rev.Letters 29 (1972) 917.
7. T.Tsuneto and E.Abraham, a preprint.
8. E.K.Riedel, a preprint.
9. F.J.Wegner, a preprint.
10. D.D.Betts and J.R.Lothian, a preprint.
11. B.I.Halperin, P.C.Hohenberg and S.Ma, Phys.Rev.Letters 29 (1972) 1548.
12. M.Suzuki and G.Igarashi, Prog.Theor.Phys. 39 (1973) no.3.

ラムダ転移の理論(コメント)

鈴木増雄 山崎義武[○] 五十嵐義孝

(1) 臨界点近傍での性質

Long range 相互作用をもつ系での臨界指数(r 、 ζ 、 ϕ)をくりこみ群の方法を用いて reduced dimension ϵ のべきで展開することができた。He の場合には次の論文で $n=2$ に相当する。〔P.L. 42(1972)313. 正誤: P313 左下から9行 ($1-\phi/r$) → $(1-\phi/r)$; P314右上から7行 $r^+=\dots \rightarrow r^+=1 \dots$; 同7行、10行 $\phi \rightarrow \psi$; 同12行 $\phi(\sigma)=\rightarrow \psi(\sigma)=$ 〕

(2) 温度、 μ の overall の性質

二時間温度 Green 関数法で super solids の問題を解くことが出来る。〔preprint (ISSP)〕

T_λ 近くの超流動現象論

名大理 山内 淳[○] 碇井恒丸

T_λ 近くの自由エネルギー α order parameter による展開、 $F = -\frac{\hbar^2}{2m^*} |\nabla \psi|^2 + \alpha |\psi|^2 + \frac{\beta}{2} |\psi|^4$ において係数の exponent の選び方が2通り提案されている。(A) $m^* \propto \epsilon^{-\frac{1}{3}}$, $\alpha \propto \epsilon$, $\beta = \text{const.}$ (B) $m^* = m$, $\alpha \propto \epsilon^{\frac{4}{3}}$, $\beta \propto \epsilon^{\frac{2}{3}}$, $\epsilon = \frac{T-T_\lambda}{T_\lambda}$ 。我々は ρ_s と $|\psi|^2$ を区別、 T_λ での安定性などから(A)を選んだ。(B)は $\rho_s = m |\psi|^2$ としている。この展開を使って自由エネルギーへの揺動の寄与 $\Delta F = -k_B T \ln \int \delta \psi \exp \left[-\frac{F}{k_B T} \right] (k < \xi^{-1})$ を計算すると、比熱 $C_{\text{fluc}} \sim 1.2 \times 10^7 \ln \epsilon (\text{erg/g.deg})$ を得、実験と order まで一致する。これは、比熱などの特異性が長波長のゆらぎによることを示唆する。又、時間による方程式を導いて、第1、第2、音波の呼吸を調べると、order parameter の緩和定数 Λ に対し (A) $\Lambda = \text{const.}$ (B) $\Lambda' \propto \epsilon^{-\frac{1}{3}}$ の温度依存性を仮定するとよい。order parameter の緩和が臨界異常の原因と考えると (A)の方がわかり易い。しかし線型近似では本質的な差は現われず、(A), (B)どちらを選ぶべきか、結論は出ない。

He³ - He⁴ 系でのラムダ点の圧力依存性

東北大理 柿崎 明人

液体ヘリウムの T_λ は圧力と共に減少し、 T_λ が単位体積当たりの He⁴ の数の $2/3$ 乗に比例するという理想ボーズ気体のモデルでは説明できない。一方、 He³ を He⁴ に入れたときの T_λ の変化は、このモデルの説明とよく合う。

我々は、 He³ - He⁴ 系での T_λ の圧力依存性を調べたが、その結果、飽和蒸気圧での T_λ は He³ の増加と共に小さくなり、理想ボーズ気体の説明とよく合うこと、圧力をかけていったときは T_λ の圧力依存性を表す $\partial P_\lambda / \partial T_\lambda$ の値が、 He³ の濃度と共に減少することが示された。たとえば、 He⁴ では -8.08 mmHg/mK 、 10% He³ が入ったものは -8.72 mmHg/mK となる。この傾向は高木伸氏の理論でも定性的に示されているが、 T_λ と密度との関係をしらべるため、 He³ - He⁴ 混合系の密度の測定がいま進行中である。

He⁴ - He³ での比熱

北大理 渡辺 昂

He⁴ の I-II 転物に関する比熱の圧力効果による実験は Lounasmaa, Ahlers 達によって行われている。けれども表記混合系の I-II 変態については、 Ouboter, Taconis; Gasparini 等の飽和蒸気圧状態に関するものしか見当らない。これまでのこれらの実験結果を検討すると、 He⁴ - He³ 混合系について、 He³ の濃度が増大するに従って、 $C \sim \Delta T / T^{\alpha} C$ 関して α が次第に大きくなり同時に対吸収散はなくなってくる。特に $T > T_c$ の高温側の C のスロの盛り上がりが He³ の濃度の増大と共に著しいことに注目したい。これらの現象は何等かの He³ による低次元的効果の反映とも考えられる。

そこで、 He³ - He⁴ 混合系比熱の T_c 近傍における圧力効果の実験を行うため準備を進めつつある。

He³ – He⁴ 系での超流部 密度と第二音波の減衰

東大物性研 照井 義一 生嶋 明

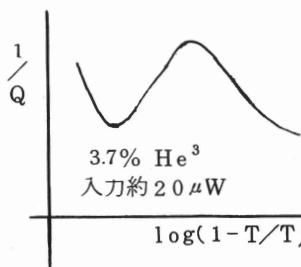
He³ – He⁴ 系のラムダ転移に於ける超流部密度の臨界指数を、 Ahlers 等の比熱の測定と対比させて、 universality 及び scaling relation の正当性について述べた。この場合、 超流動密度 ρ_s 、 比熱 C_p の温度 $\epsilon = 1 - T/T_\lambda$ に対する asymptotic form が問題になるが、 ρ_s 、 C_p の実験結果を single power law を用いて解析すると、 ρ_s 、 C_p の臨界指数 ζ 、 α 、 α' は、 圧力、 He³ 濃度に依存し、 universality 及び scaling relation が成り立たない。これに對して、 Ahlers 等の higher order の singularities を加えた解析から求まる臨界指数は、 圧力、 He³ 濃度に依らないが、 その統計誤差は実験誤差より大きくなるので極めて不自然である。

最後に、これまでの第二音波のダンピングの測定が臨界指数を理論と比較するに耐えないことを考慮して、我々の高精度の実験の計画を述べた。

He³ – He⁴ 系の第二音波

東教大 上原 富美哉 榎原 良正[○]

希釈 He³ の He³ – He⁴ 混合液中の第 2 音波の音速と減衰係数を T_λ 付近で測定し、 He³ の及ぼす影響を調べようと努力していたが、 種々の困難のために定量的結果を公表する段階に至っていない。減衰係数 D_2 は減衰 α と $\alpha(\omega, T) = (\omega^2 / 2 u_2^3) D_2(T)$ で関係づけられる。 T_λ 付近では $D_2 = D_0 (1 - T/T_\lambda)^{-\sigma}$ と表わすと Tyson は He⁴ に対して $\sigma = 0.34 \pm 0.06$ 、 $D_0 = 1.02 \times 10^{-4} \text{ cm sec}^{-1}$ を実験で求めた。 Ferrell 達は $D_2 \sim \xi^{1/2}$ 、 Halprin 達は $D_2 \sim u_2 \xi$ と理論的に予想している。我々はヘリウムの入った第 2 音波の共振器の Q を実験的に



求め、 $1/Q = 1/Q_{\text{He}} + 1/Q_{\text{装置}}$ を使って $1/Q_{\text{He}}$ から D_2 を計算しようとしている。実際の実験は有限の入力下で行われるが、 D_2 を求めるには、 入力が零になった時の Q 値を外挿法で求める必要がある。 3.7 % He³ の混合液では入力約 20 μW の

時左図のようになった。図中の山の位置は T が T_λ からミリ度 K 位

低温度にある。He⁴では同じ位の入力に対してこのような山(ハンプ)は観測出来ず、単なる下り坂の曲線になる。しかし、入力零にした時どうなるかはこれから実験によっているので、この山が混合液の減衰係数のgenuine effectとは断定できないのが今日までの結果である。

He³ - He⁴ 系での NMR 信号の異常

京大理 福田 耕治 平良 豊 石井 章[○]

He³ - He⁴ 混合液中で λ 点近傍で He³ の NMR 信号(特に信号強度、その他 Wiggle や T_1 等)が急激に変化するという文献がいくつある。我々のグループでも、He³ の NMR の実験の手始めに、この問題を調べている。先ず、Carr - Purcell の方法でスピン拡散係数を測定した。この測定値は信頼のおけるものであるが、 λ 点近傍では連続で何も異常はなかった。一万パルス法による信号強度は、他の文献と同様、 λ 点近傍で急激に変化する。この変化が T_1 の変化によるものかどうかを調べるため T_1 の温度変化を測定中で、やや差があるかに見えるが、 T_1 は非常に長いため測定値の信頼度は悪く確定的ではない。NMR 信号強度に及ぼす対流の影響も検討中である。

He のレーリー散乱の強度と幅

東大物性研、 大林康二、 生嶋 明、 鹿児島誠一

He^4 の液相一気相臨界点近傍でレーリー散乱の強度とスペクトルの測定を行ない次の臨界指数の値を得た。

まず強度から、 $r (T > T_c) = 1.31 \pm 0.02$ 、 $r' (T < T_c) = 1.32 \pm 0.02$ 、 $\nu (T > T_c) = 0.66 \pm 0.02$ 、 $\nu' (T < T_c) = 0.68 \pm 0.02$ 、 $\xi_0 (T > T_c) = 4.2 \pm 0.6 \text{ \AA}$ 、 $\xi_{\pm} (T < T_c) = 2.6 \pm 0.7 \text{ \AA}$ 、 $\eta = 0.06 \pm 0.06$ となり、 $\chi_0 (T > T_c) / \chi_{\pm} (T < T_c) = 3.6 \pm 0.4$ である。

スペクトルの測定結果は、 Kawasaki の式でよく整理でき、 $\xi_0 = 2.8 \pm 0.4 \text{ \AA}$ 、 $\nu = 0.65 \pm 0.01$ 、 $\eta^* = 7.9 \pm 0.8 \mu P$ (高周波粘性係数)を得た。

臨界指数 r 、 ν の値は、 古典流体での対応する値よりも、 実験誤差を超えて大きく、 量子効果の影響と考えられる。

ヘリウムの電子励起状態

物性研 神前 熙、近藤泰洋

液体・固体ヘリウムにおける電子系の励起状態とくに電子系と格子系との相互作用に基く安定な励起状態への緩和過程は我々が従来研究の対象として来たイオン結晶・半導体に比較して見ると劃期的な新しい現象として非常に興味がある。この観点から目下計画中のいくつかの実験について述べる。1)ヘリウム中の電子の安定状態は電子「泡」であるが、泡の励起準位の分光学的研究によるミクロな泡構造の解明。2)ヘリウム凝縮相のバンド構造の解明。3)非局在(バンド)電子状態と局在電子(電子泡とかプラスイオン)状態との間の相互転換の動的過程の追求及び外部からの高圧、電場による相互転換過程の制御。4)Surko-Reif の見出した中性励起状態の解明。これに関聯してプラスへマイナスイオン間の "Colliding Beam" 実験による緩和励起子の生成～消滅の研究。5)これら諸問題のH₂、Ne……など他の物質での解明。

He³ の单原子膜の遍歷粒子モデル

東大物性研、中嶋貞雄、武田玲子

グラファイトの表面に、ヘリウム原子を、吸着させて、比熱をはかる。グラファイトの吸着面は、三角格子である。六角単位胞1ヶあたりの、ヘリウム原子の数を、 x_g と定義する。 x_g が $\frac{1}{3}$ のごく近傍で、比熱は、非常にするどいピークを示す。基質が正方格子なら、 x_g が $\frac{1}{2}$ で同じことがおこりうると、考えられる。

He³を考え、遍歷粒子モデルを、正方格子に用いて、原子の分布が2つの部分格子で異なる、秩序状態から、部分格子を区別しない、無秩序状態への相転移を分子場でぎろんする。2つの部分格子の密度の差を、 x_g の関数として計算すると、相互作用の斥力にくらべ、量子効果が大きいときには、 x_g が $\frac{1}{2}$ の近傍でのみ、鋭いピークをもちうることがわかった。このような傾向は、現実のヘリウムの吸着膜でも、観測されている。

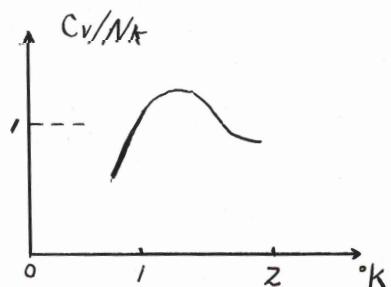
He³ 单原子膜の松原・松田モデル

東大物性研、中嶋貞雄、鈴村順三

グラファイトの三角格子の上に、He⁴ を吸着させると He⁴ の密度が0.1程度の時、右図のようにな、1°K付近に、比熱の幅広いピークが、観測される。これは、松原、松田モデルのハミルトニアン、

$$H = \frac{1}{2} \sum_{i \neq j} J_{ij} S_i^z S_j^z - \frac{K_0}{2} \sum_{i \neq j} S_i^+ S_j^- - \eta \sum_{i=1}^N S_i^z$$

$$K_0 = \frac{\hbar^2}{m d^2}, \quad d : \text{格子間隔}, \quad J > 0$$



で、説明できる。S⁺、S^z の運動方程式をたてて、最低次で、decouple すると、2次元の、ideal Bose gas と同じように、比熱は単調増大する。S⁺S^z、S⁺S⁻ の運動方程式まで、たてることにより、図のような比熱を、説明することができる。分子場近似ではなく、short range correlation を、取りいれたからである。なお、⟨⟨S_k^z S_{-k}^z⟩⟩(ω) は、kd ≪ 1 の時、Bogoliubov phonon 的 pole を持つことがわかった。これは、低次元磁性体の、pseudomagnon に対応すると思われる。

He³ – He⁴ 混合系のVortex

東大理 小林俊一、佐々木亘

超流動状態の He³ – He⁴ 混合液を回転させると渦糸の中心部に He³ が相分離をおこして析出する可能性が理論的に示されている (Ohmietal Progr. theo. Phys. 41 1395)。この現象の検証及び一次元に近い He³ 液体の性質の研究を NMR を用いて行うこととは興味深いと思われるが、実現可能な実験条件の範囲で得られる He³ 柱の中の He³ atom の数はせいぜい $\sim 10^{15}$ であるため、He³ 柱の NMR はかなり困難であろうし、又析出していない He³ の信号との識別もむつかしいであろう。しかしこのような不均一な条件の中での He³ の核磁気緩和やスピン拡散の様子を調べることは可能であるし又かなり興味深いことと思われる。

Pitaevskii-Gross 方程式の非線形定常解

九大理 都 築 俊 夫

0 K でのボース凝縮体の有限振幅励起について述べた。無限小振幅の極限で一様解に帰する内的励起を問題にする。モデル場として Pitaevskii-Gross 方程式で記述される場 $\psi(\underline{x}, t)$ は $i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi(\underline{x}, t) = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \psi - \mu \psi + \int d\underline{x}' g(\underline{x}-\underline{x}') |\psi(\underline{x}', t)|^2 \psi(\underline{x}, t)$ を考える。ここで $g(\underline{x}-\underline{x}')$ は相互作用、 μ は化学ポテンシャル。

この型の場はボース凝縮体だけでなく、レーザー光の自己収束、自己変調など、更に極く最近発展の目覚しいエキシトン分子の凝縮体のダイナミックスなど興味ある定性的応用例をみつけることが出来る。

詳細については既刊の論文 [J. Low Temp. Phys. 4 (1971) 441] 並びに講義ノート〔非刊行〕を、御関心のある方は見て頂ければ幸いです。

現象論の方程式の基礎

阪大教養 植 山 宏

昨年の研究会に引きつづき、Pitaevskii, Khalatnikov, Usui 等により提出されている（λ異常に関する）現象論を基礎づける事を考える。まず昨年提出した方程式 $\dot{A} = \alpha_1(A) + R(t)$ [Prog. Theor. Phys. 48 ('72) 1090] で $\alpha_1(A=A^{eq})=0$ 、
 $\dot{\alpha}_1(A=A^{eq}) \leq 0$ が期待されるので、輸送係数 $A = A(A) = -\alpha_1(A)/X(A)$ （ただし、
 $X(A) = \delta F(A)/\delta A$ 、 F ：熱力学ポテンシャル）を定義すれば、線型系では $A = \text{const}$ となり Onsager の理論に還元する。ついで写影演算子を少し拡張すれば [Zwanzig P.R. 124]、
 $\dot{A} = i v(A) + \alpha_1(A) + R(t)$ と "Streaming Term" $v(A)$ が生じる事が分る。ゆえに Order Parameter ψ が波動函数と $\psi = P \psi$ ($P = \text{projector}$) で結ばれているという仮定の下に、
ほど $i \frac{\partial}{\partial t} \psi = -\frac{\hbar^2}{2m} \Delta \psi - i A \frac{\delta}{\delta \psi} F[\psi]$ なる現象論の式が導ける。P としては、coherent State Representation での対角項をとる等の事が考えられる。山内氏の説明された様な形の精細な現象論を得るのはこれから的问题である。

ロトン相互作用とスペクトルの多重構造

阪大教養、西山敏之

最近 Woods, Svensson と Martel は、蒸気圧下で 1.2 K の He II に対し波数 0.3 \AA^{-1} と 0.8 \AA^{-1} の中性子散乱の強度分布を精密に測定し、 0.3 \AA^{-1} でも $\Delta = 1.7.3.4 \text{ K}$ より高いエネルギー $1.8.9 \text{ K}$ にピークが現われ、bound state の寄与を見出さなかった。また 1.2 K で 0.7 atm と 2.4 atm で波数 1.13 \AA^{-1} に対して散乱強度が、single phonon の外に約 20 K と約 40 K に multiphonon のピークを発見した。

これに対して従来著者らが用いてきた 3-phonon 相互作用だけからは約 40 K の高い方のピークしか期待できない。このとき 2.4 atm のロトンエネルギー $\Delta = 6.9 \text{ K}$ と波数 2.05 \AA^{-1} を考慮した。低い方のピークを求めるためには 1 粒子状態と対粒子状態との hybridization と同時に対状態間の相互作用も同時にとりいれる必要があると思われる。得られた分散式は Iwamoto の式に 3-phonon 相互作用とエネルギー幅をとりいれたものになる。対状態間の相互作用を斥力にとれば、波数 2 \AA^{-1} の近くで約 20 K のピークが期待されるが、詳しい計算は目下進行中である。

液体 He II に於ける励起スペクトルの 多分枝構造

阪大教養 発生川武次、山崎修一郎、砂川重信

最近 Woods 達により観測された 40°K ($k = 1.13 \text{ \AA}^{-1}$) の励起エネルギーが、以前我々がフォノン-ロトンスペクトルの計算に於いて提出した励起エネルギーの公式にもとづき計算された。その結果 $0 < k < 2.4 \text{ \AA}^{-1}$ に於いて flat-spectrum 41°K を得た。このスペクトルの物理的描像は 2 ケの Phonon-maximum の resonance state であると考えられる。 $k > 2.4 \text{ \AA}^{-1}$ に於いては free particle like な spectrum になる。結果と実験との比較は現在 $k = 1.13 \text{ \AA}^{-1}$ に於いてしかできないので更に多くの Data が望まれる。同時にフォノン-ロトンスペクトルの計算が $k = 4 \text{ \AA}^{-1}$ まで延長された。この結果 $k = 3.5 \text{ \AA}^{-1}$ 付近で flat spectrum が得られた。これは 2 ケの roton の bound state であると考えられる。 20°K のスペクトルに対する計算は現在考慮中である。

ロトンの寿命

名大理 山田一雄、石川幸志、三宅和正

ロトンの分散曲線の接線が音速より大きくなると、その点 P_c より運動量大のロトンは 0 K でも自然にこわれ、有限の寿命をもつ。最近の Dietrich et al. の実験では、この効果によると思われるロトンの幅の異常な増加がある。ランダウのロトン・フォノン相互作用の P_v 項を使い、二次の擾動でこの幅を計算した。

結果は Jäckle et al. の結果より 16 倍大きく、実験値との一致は彼等と比べてよい。Jäckle 等の計算はロトンの分散曲線が、 P_c で、 $P - P_c$ の二次で異常をもつとしている。しかしこれは、すでに Pitaevskii によって示された様に、分散曲線の異常は $P - P_c$ の三次で初めて出るので、コンシスティントでない。

$\text{He}^3 - \text{He}^4$ のラマン散乱

東教大理 宗田敏雄

混合液中で He^4 と He^3 の素励起が密度のゆらぎを通して相互作用をしているが、それら合成素励起のエネルギーを出し、それを sum rule を用いて実験量で表わすことによって He^4 のスペクトルからのずれを有限温度の場合に求めた。ロトン極小のずれの大きさは混合液の重ねた円板の回転によって測定したノーマル成分から求めた Sobolev と Esel'son の実験値と、6.4 % の He^3 の濃度で計算した各種温度に対する平均値とはよく一致する。上記のスペクトルのずれは He^3 の素励起の連続帯の上と下で、純粋の場合に比べて二つの部分に分れるが、ロトン極大があった部分は極値を持たずロトン極小があった部分だけが極大と極小を持って He^3 の連続帯につながってそこに埋没する。新しいロトン極小のずれに対応して、ラマン散乱の 2 体の状態密度を計算すると、純粋の場合に較べて He^3 の濃度と温度によって低エネルギーの方に形がずれる。

第一音波の吸収の圧力依存性

名大理 山田一雄、三宅和正、石川幸志

超音波の吸収は 1 K 附近にピークを持つが、それより低温側では、音波が直接熱的フォノンとの 3-フォノン過程により吸収される ($\omega \tau > 1$)。唯 He では縦フォノンしか存在しない為、

熱的フォノンが有限な寿命 τ を持つことが考慮される必要があるが、それに伴ってフォノンの分散がどうなっているかにもよる。 $\omega\tau > 1$ の時は、熱的フォノン間での一直線上で起きる 3-フォノン過程で決る τ_3 が寿命として寄与するが、 $\omega\tau_3 < 1$ では Boltzmann Eq. の衝突項を考慮する必要があり、Khalatnikov 等によれば、4-フォノン衝突によって局所平衡のフォノン分布にもたらす時間 τ_{pp} が寄与することになる。従って $\tau_3^{-1} > \omega > \tau_{pp}^{-1}$ の領域でどのように吸収が決り、それが $\omega\tau_3 \sim 1$ の領域に如何につながっているかは検討を未だ要するが、フォノンの分散、 τ_3 、 τ_{pp} の圧力による変化 (self-consistent な) を考慮すれば、吸収の圧力依存性を理解出来るものと考えている。

第1音波の吸収の圧力依存性

東工大理 比企能夫、木暮嘉明、一柳直隆

フォノンの4次の self energy の計算は Jäckle らによって行われたが、我々はこれをフォノンの分散を考慮した形に拡張した。これと ter Haar らの2次の self energy に対する結果を合わせ、超音波の吸収係数に対する表式を求めた。熱フォノンの life time として Landau による indirect 4-phonon 過程によるものを用いた。この表式を Roach らの加圧での吸収係数の温度変化の実験結果に最小自乗法を用いて fit させ、2次、4次の項の係数及びフォノンの分散関係の γ を決定した。得られた γ の圧力依存性は Phillips らの比熱測定による結果、及び Woods らの中性子散乱による結果とも矛盾しない。

液体ヘリウムへの熱フォノン放出

電総研 石黒武彦

固体と液体ヘリウムの音速；密度は著しく異なっているため両者の接触界面での格子波の透過度を見積ると 10^{-2} 以下となる。この立場に立つと固体表面につけた金属膜に電流を流したとき発生される熱フォノンの大部分は固体中に伝えられ、液体ヘリウムが接しているか否かは大きく効かないと予想される。しかし 10^{-7} 秒幅のパルスで加熱したとき、フォノン輻射体の温度が高くなるにつれ液体ヘリウムへのフォノンの放出分が目立って増大することが見出された。この結果は最近の関連報告 (Phys. Rev. Letters 29 855 (1972)、Phys. Letters 41A 431 (1972)) と矛盾せず、温度に換算して 5°K 以上の周波数のフォノンの液体ヘリウムへの透過度が増大することが考えられ、いわゆるフォノン・モード以外の Excitation の寄与が予想される。

B.C.C.He³の基底状態とフォノン分散

東大物性研，群馬大工 黒田義浩，栗原康成，石村礼和

固体Heに通常の格子振動論を適用する事は困難である。それはHeのゼロ点振動が大きい事と、ポテンシャルの2次の導関数の格子点での値が負になる事にある。それを避けるために coupling constとして2次の導関数の平均をとる。そのとり方の1つである self-consistent phonon近似⁽¹⁾を用いてB.C.C-He³の基底状態エネルギーとフォノン分散を計算した。ただしポテンシャルとして、He原子間のハードなポテンシャルにかわるべくT-matrixの方法⁽²⁾によって得られたeffectiveなソフトなポテンシャルを用いている。

その計算結果は、基底状態エネルギーは実験値とほぼ一致する値を得たが、体積依存性はあまり良くない。一方音速は実験値に比較して少し高めの値を得ている。

(1) N. S. Gillis et al. Phys. Rev. 165 ('68), 951

(2) Y. Kuroda and Y. Kurihara Progr. Theo. Phys. 48 ('72), 1758

bcc固体ヘリウムの基底状態 エネルギーと音波分散

東大教養，名大工 生井沢寛，永井克彦，本間重雄

固体ヘリウムに於ける理論的取り扱いの困難は、hard coreの問題と、Born-von Karmanの格子力学の適用性にある。我々は、この問題を解決する為に、先ず、Lennard-Jones potential V_{ij} のかわりに、reaction matrix K_{ij} でおきかえる方法をとり、又、格子力学の取り扱いとしては、所謂R.P.A.フォノンの定式を採用した。R.P.A.フォノンの大体の様子は次の様に考えられる。即ち、あるlattice siteで粒子状態が基底状態の1S状態から、2P状態に励起された時、その励起が、粒子間相互作用によって、結晶中にcoherentに伝播していく。その時、通常のExcitonと異なる点は、粒子を局在化させている粒子間相互作用が、又、励起の伝播とも担っている為に、gap lessのexcitationを持つということで、Goldstone-Modeとしての性質を持っている。数値計算の結果は、実験と比較して大体満足出来るところにある。詳細は以下の文献にある。

- i) F. Iwamoto & H. Namai zawa; Prog. Theor. Phys. 45 ('71) 682
- ii) H. Namai zawa; Prog. Theor. Phys. 48 ('72) 709
- iii) S-Homma, K. Nagai & H. Namai zawa; Prog. Theor. Phys. (L) 投稿中

固体ヘリウムのNMR

京大理 平井 章, 水崎 隆雄

固体ヘリウムでのNMRを用いた量子固体の性質の研究の実験の現状と、近く予定している実験計画の概略を報告する。

混合試料作製系、加圧系とNMR測定用クライオスタットを作り、 He^4 温度での予備実験を行なっている。加圧系の高圧の圧力安定のため、dead-weight testor を試作して、よい結果を得た。固体中の圧力を測定するために、高感度圧力計を製作しているが、100気圧で 10^{-4} 気圧の感度を得ることが出来たが、測定系のdriftに問題があり、検討している。

上記圧力計を用いて、 He^4 温度領域で $\text{He}^3 - \text{He}$ 混合固体の vacancy の研究を行なう予定である。希釈冷却器のテストを近く行なう予定であるが、この温度領域では、 He^3 不純物のmass fluctuation の問題、圧力計とNMRを組み合せて固体中の相分離の動力学的研究を、計画している。

固体ヘリウムのNMR

教育大理 増原 良正, 西沢 誠治

He^3 核スピン緩和にみられる著しい温度依存性および同位元素 He^4 効果は量子固体に関する幾つかのexcitations 或は excitations 間の相互作用の現れである。この意味において、筆者らは特に $\text{He}^3 - \text{He}^4$ mixtures (nondilute $\text{He}^3 - \text{He}^4$ mixtures から更に dilute He^3 in He^4 mixtures) の He^3 核スピン緩和 (T_1 & T_2) を調べるために、暫く固体He 生成装置およびNMR cct. 即ち

cryostat dilution refrigerator (T_M [mk] = $45.5 + 2.5\sqrt{Q(\frac{\text{erg}}{\text{sec}})}$)

sample chamber EPI BOND 100A ($V = 4\phi \times 5$)

pressurization S.S 製 U Tube. 油圧ポンプ(約100気圧まで可)

magnet superconducting solenoid(自作)

NMR cct. freq. modulated Rollin cct. combined with
coherent pulse NMR & freq. modulated
Robinson cct. (温度測定用)

の準備を続けて来た。現在、固体 He^3 のNMR観測に成功し、測定を引き続ける予定であるが、まだデーターをまとめるには至っていない。

固体ヘリウムの塑性変形

東大理 鈴木秀次

固体 $H e^4$ を $29 \sim 51$ 気圧、 $1.4 \sim 2.1$ K の範囲で塑性変形された実験結果を報告し、変形挙動は転位の運動によって起こると考えると説明できることを示した。内径 14 mm 長さ約 80 mm の固体ヘリウム容器内に直径 6.4 または 8 mm の鋼球を入れており、これを針金で引張って移動させるのに必要な力を測定した。球を動かし始めるときには $300 \sim 800 \text{ g}$ 程度のかなり大きな力を必要とするが、球が動き出すと抵抗力は急激に減少して 200 g 位の力で定常運動をする。この降伏現象から変形は転位の移動によって起るのであって、vacancy の移動によるものではないと結論した。その他、転位は basal plane 上を応力に比例した速度で動くが、転位を増殖するために二重交差すべりを起こすときには一定の barrier を越す必要があり、低温では速度に依存しない一定の力が必要となることを見出した。

固体ヘリウムの熱伝導に及ぼす

転位の影響

東大理 松尾徹、鈴木秀次

固体ヘリウムの塑性変形の実験結果を解析すると、せん断応力 τ のもとにおける basal plane 上の転位速度を v とすると

$$\tau b = B v \quad B \approx 10^{-2} \text{ (cg s 単位)}$$

の形に書けることが判った。ここに b はバーガース・ベクトルの大きさである。この B の値は異常に大きいが、転位とフォノンの相互作用でどれだけ説明できるかを検討するため、定まった転位密度をもつ固体ヘリウムの熱伝導を測定する計画である。

固体ヘリウムの相転移

東大理 草薙秀雄、鈴木秀次

固体ヘリウムは $bcc \rightleftharpoons hcp \rightleftharpoons fcc$ の相転移を起こすが、このさい多数の原子が集団となって変位するマルテンサイト型変態と同様の特徴を示すか、または原子が 1 個づつトンネル効果によって最も都合のよい位置に移動するかを実験的に調べる計画である。

He³ の新しい相転移

東教理大 宗田敏雄

1960年頃の筆者を含めた理論家達の超流動He³の理論をレビューリーし、1972年にCornell大学で行われた液体He³の融解曲線の近くでの圧力の時間微係数とNMRとの実験で見られた異常性が、液体He³が新しい相転移を起したものである、との実験家の報告を紹介する。Leggettは平行スピンのP波の対による超流動でNMRを説明したが、P波での有効相互作用が斤力であり、上記の対がエネルギー的に不安定であることから、まず2.65mKでF波の対による超流動相に転移し1.8mKでD波の対の状態に一次相転移することを、山崎孝治君の自由エネルギーの計算に基いて現論的解釈が可能であることを示し、この理論によると実験で得られている帯磁率変化や圧力の時間微係数の勾配の跳びを都合良く説明出来ることを述べる。但し実験のTcに合わせた。求めた有効相互作用と状態密度の積が、K行列の計算値の約半分になる。

He³ の超流動転移にたいする パラマグノン効果

東大物性研 中嶋貞雄

液体He³は強磁性に近い物質で強いスピンのゆらぎ(パラマグノン)がある。正常状態の原子質量はこのために(m^*/m) = 1 + λ の形で増大し、比熱のデータの解析から λ は0.5程度と見られる(Doniacschその他)。パラマグノン効果は超流動状態へのBCS移転にも現れ、singlet pairにたいし破壊的(Beck-Schrieffer)、triplet pairに助長的に働く。exchange enhancementの大きい時の漸近形をしらべてみると、NoVへのパラマグノンの寄与は、singletで- λ (斤力)、tripletで(1/3) λ (引力)であることがわかった。direct interactionのNoVは0.3ぐらいにしかならないので、singlet pairは実質上不可能と考えられる。実験でtriplet pairが見つかったのでおそらくこのためと考えられる。

He³ の超流動相でのNMR

(東大理) 高木伸、和田靖

2.65mK > T > 1.8mK の間の液体He³のNMR振動数シフトについてのLeggett

の仕事は sum rule を用いてその限りでは問題ないよう見える。ただ、結果に $1/4$ をかけて誤りを直すと p 波の pairing をとったにしては実験に合いすぎるという点の他に、吸収線が χ 関数的とした仮定と pairing + dipole 相互作用という第二の仮定と consistent かどうかも問題になる。後者を調べるために $\chi''(\omega)$ を dipole 相互作用について一次まで求めることを試みている。零次の項については $\sigma_{x-\text{vertex}}$ に対して spin current の保存則をみたすことが重要であることが見出された。

保存則をみたす vertex を用いると $\chi(\omega)$ が sum rule を満足することは容易に示せる。同様な近似を一次の項 vertex にも用いることによって Leggett の sum rule をみたす $\chi''(\omega)$ の構造を調べる予定である。

Fermi 液体論について

日大理工 三沢 節夫

Landau の Fermi 液体論 (FLT) は、準粒子の存在が意味を失わないという条件から決る温度の上限 ($\sim 0.1K$) があって、それ以上の温度が適用できないということが伝統的に信じられてきた。しかし、その基礎づけを注意してみると分るように、本来そんな制限はなく、準粒子の減衰のない「統計的準粒子」と考え直すと、FLT はどんな温度でも使える。このことから、Fermi 液体については今までに得られた結論、例えばパラマグノン模型から導かれた結論には訂正を要すべきことが多い。スピンのゆらぎによる準粒子の有効質量の対数的増大とか、準粒子の分布関数で書いた通常のエントロピーの表式には Bose 分枝の寄与が含まれていない等の結論は正しくない。また、FLT は強磁性、および熱力学的不安定性について正しい転移点を与え、相互作用のため必然的に現れる自由エネルギーの温度などに関する対数的依存項について、近似にきさないコンパクトな表式を与え得る。

液 体 He 中 の 不 純 物

阪大理 伊 達 宗 行、堀 秀 信、豊 川 和 治

いろいろな荷電流子、中性励起子が HeII の中にとけこんでさまざまな電気的、光学的性質を示すが、これのかんたんな展望の後で、最近われわれのグループで行った electron bubble の電気的性質を中心にして、あわせて関連した現象である hot cathode の熱的性質の解明を試みる。

(1) bubble の易動度と各種の相互作用

はじめに bubble 系の Space charge effect を除く事を行った上で、電場強度の順に A, B, C, D の領域において、易動度を支配する現象が大きく異ってくることをついた。すなわち A 領域 (10 ボルト以下) ではロトン散乱による Reif 達の易動度、B ではボルテックスとの相互作用、C ではそれからの脱出効果、そして D (> 10 kV) では新しく導入されたロトン創成過程が効く。

(2) hot cathode と gas sheath の熱的性質

臨界熱流が論じられ、Khatalnikov の熱伝導度との関係、gas sheath の安定性が吟味された。

剛体球ボーズ系

東北大工 原 啓明

He^3 , He^4 を統計性だけが違う剛体球と見なす。この体系では Green 関数の方法はそのまま適用出来ないので、我々は Cluster 展開から出発する方法を考えた。この定式化は Green 関数や古典的 Cluster 展開の形にも書きかえられる。

剛体球ボーズ系の密度行列 $\rho^{(1)}(\mathbf{r}) \cdot (\mathbf{r} = \mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2)$, $\rho^{(2)}(\mathbf{r}) \cdot (\mathbf{r} = \mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2)$ はそれぞれ観測量 $S(k \cdot \omega)$ の N_0 や $S(k)$ との関係で結ばれている。

$$\rho^{(1)}(\mathbf{r}) = \frac{N_0}{V} + \frac{1}{(2\pi)^3} \int d^3k N_k e^{i\mathbf{k}\cdot\mathbf{r}} \quad (1)$$

$$\rho^{(2)}(\mathbf{r}) = \rho^2 + \frac{\rho}{(2\pi)^3} \int d^3k [S(k) - 1] e^{i\mathbf{k}\cdot\mathbf{r}}, (P = \frac{N}{V}) \quad (2)$$

更に、 $\rho^{(2)}(\mathbf{r})$ から次式で $K_T (= -\frac{1}{V} (\frac{\partial v}{\partial \rho})_T)$ が求まる。

$$K_T = \frac{\beta}{\rho} \left\{ 1 + \frac{1}{\rho} \int [\rho^{(2)}(\mathbf{r}) - \rho^2] d\mathbf{r} \right\} \quad (3)$$

従って N_0 が正、 K_T が有限なる事実を使えば (1), (3) はそれぞれ N_k や $\rho^{(2)}(\mathbf{r})$ 即ち $S(k)$ に対する一種の和の法則の役割をする。このテストを行った近似で N_0 と $S(k)$ の温度依存性を調べた。今後はこの方針で更に近似を上げて調べる予定である。

古典液体のダイナミックスとヘリウム

原研千原順三

以前に導出した $\rho_{pQ} = a^t p - Q/2 a p + Q/2$ に対する方程式は、普通のハートリー近似にくらべて、流れの項 $i \frac{1}{h} p Q$ が self-energy の functional である $i\omega_{pQ}$ でおきかえられ主の Potential は、量子力学的な direct correlation function でおきかえられている。(Prog, Ther, Phys, 47 (1972) 395)

この方程式を Fermion に適用する ξ , $T=0$, $Q \sim 0$ の limit で Landau の Kinetic equation を与える。Percus の方法を量子論的に拡張して、量子液体に対する Percus-Yevick, hypernetted-chain 方程式を導いた。scattering amplitude function を Wave-Vector 依存するものに拡張(但し運動量について)

ては S 波近似) したものが、これらの方程式を解くことにより求められる。

$|\Delta| < 1$ なる一次元

Heisenberg-Ising 模型の熱力学的性質

阪大教養 高橋 実

スピン $\frac{1}{2}$ Heisenberg-Ising 模型

$$H = \frac{J}{2} \sum_{\langle i,j \rangle} \left\{ S_i^x S_j^y + S_i^y S_j^x + \Delta (S_i^z S_j^z - \frac{1}{4}) \right\} - 2\mu_0 H \sum_i S_i^z$$
$$|\Delta| \leq 1$$

を考察する。この模型の He^4 流体における重要性は松原-松田により指摘されている。

一次元系の場合にはこの系の熱力学的性質は非線型の積分方程式を解くことにより求められる。

我々は $H \sim 0$ に注目して、比熱、帯磁率を数値計算した。また我々は解析的に

$$\lim_{H \rightarrow 0} \lim_{T \rightarrow 0} C/T = \begin{cases} \frac{2}{3} \frac{\theta}{J \sin \theta} & \text{for } J > 0 \\ \frac{2}{3} \frac{\pi - \theta}{J \sin \theta} & \text{for } J < 0 \end{cases}$$

を得た。

ここで $\Delta = \cos \theta \quad 0 < \theta < \frac{\pi}{2}$, とした。

また数値的に

$$\lim_{T \rightarrow 0} \lim_{H \rightarrow 0} C/T = \lim_{H \rightarrow 0} \lim_{T \rightarrow 0} C/T \quad \text{を確かめた。}$$

物 性 研 談 話 会

日 時 1月22日(月)午後4時～5時30分
場 所 A棟2階輪講室
講 師 永野 弘
題 目 ミリ温度への道

近年 Very Low Temperature という言葉は 1° K以下でなく、 0.3° K以下を示すようである。特に He^3/He^4 Dilution Refrigerator や He^3 の断熱圧縮による冷却法の進歩に伴って、ミリ温度又は数100マイクロ温度に到達できるようになりつつある。

我々の所でも He^3/He^4 Dilution Refrigerator を製作し 14 mK まで長時間維持できる状態となり、 He^3 断熱圧縮をこの上に加えることができるようになってきた。

この辺の温度領域の問題および温度測定について述べる。

日 時 2月5日(月) 午後4時～5時30分
場 所 A棟2階輪講室
講 師 塩谷繁雄
題 目 多励起子系のボーズ凝縮

半導体、絶縁体の励起子は近似的にボーズ粒子とみなされる。したがってこれを低温で強い光励起により高密度に発生させると、ボーズ凝縮を起す可能性が期待される。ごく最近、当研究室で CdSe 結晶を用いて、その最初の実験的観測に成功した※。すなわち、ピコ秒パルス・レーザー光を用いて CdSe 結晶を $1.8\sim4.2\text{ K}$ で励起し、ある励起光強度範囲で $K=0$ 状態に凝縮した励起子分子からの鋭い発光線を観測し、励起子分子がボーズ凝縮を起すことを見た。この講演ではこの実験の結果を中心として、多励起子系のボーズ凝縮についてお話しする。

まず低温の多励起子系では励起子分子が安定に形成されること、励起子分子はボーズ凝縮の条件を満していると考えられることを指摘する、次いで実験の経過と考え方の進展のあとをたどりながら、ボーズ凝縮を実現させるには何故ピコ秒パルス光で励起せねばならないかをお話する。

※ H.Kuroda, S.Shionoya, H.Saito and E.Hanamura,
Tech, Rep. ISSP, Ser.A, No.562-Dec.1972

日 時 2月19日(月)午後4時～5時30分
場 所 A棟2階輪講室
講 師 芳 田 奎(物性研)
題 目 s-d相互作用の理論の現状

金属中局在スピンの状態についての研究は、いわゆるKondo効果の研究として最近の活発な研究テーマであった。この既に10年近くに亘る研究の発展のあとを振り返り研究の現状を分析し、さらに今後の進路を模索したい。

日 時 3月5日(月)午後4時～5時30分
場 所 A棟2階輪講室
講 師 斎 藤 喜 彦
題 目 X線回折法による結合電子に関する研究の現状

結晶からの回折X線強度測定の精度の向上と電子計算機の大型化のおかげで、化学結合形成によって、分子内の電子密度分布が変化する有様を、かなり正確に知ることができるようになった。最近の研究状況を紹介したいと思う。

物 性 小 委 員 会 報 告

物性研共同利用施設専用委員の選挙の結果について

昭和48年2月20日

物性小委員会幹事

近 桂一郎

標記の選挙を物性百人委員の投票によっておこないました。その結果は下記の通りであります。

記

開票日時 昭和48年2月20日 15時～16時

開票場所 物性研究所輪講室

開票立合人 小谷 章雄、近 桂一郎、住 篤子、森垣 和夫

投票者総数 93人

開票結果

田 卷 敏 (新潟大理) 27	石 井 武比古 (東北大理) 11
勝 木 澄 (信 大理) 17	近 桂一郎 (早大理工) 11
白 鳥 紀 一(阪 大理) 14	松 原 武 生 (京 大理) 11
宮 原 将 平(北 大理) 12	伊 藤 順 吉 (阪大基工) 11
大 塚 泰 郎 (東 北大理) 12	中 山 正 敏 (九大教養) 11
尾 中 龍 猛 (教育大光研) 12	以 下 略

以 上

以上の結果にもとづいて、田巻、勝木、白鳥、宮原、大塚、尾中の六氏をすいせんすることにしました。

基研研究部員の選挙の結果について

昭和48年2月20日

物性小委員会幹事

近 桂一郎

標記の選挙を物性百人委員の投票によっておこないました。その結果は下記の通りであります。

記

開標日時 昭和48年2月20日 14時-15時

開標場所 物性研究所輪講室

開標立合人 小谷 章雄、 近 桂一郎、 住 篤子、 森垣和夫

投票者総数 92人

開票結果

万 成 黙 (岡山大理) 27	和 田 靖 (東大理) 11
豊 沢 豊 (物性研) 21	三 輪 浩 (阪大理) 11
芳 田 奎 (物性研) 20	宮 原 将 平 (北大理) 8
中 野 藤 生 (名大工) 18	近 藤 淳 (電総研) 8
渡 部 三 雄 (東北大理) 17	阿 部 龍 蔵 (東大教養) 8
勝 木 涼 (信大理) 15	長 谷 川 洋 (京大理) 8
鈴 木 英 雄 (早大理工) 13	川 村 清 (広大理) 8

以 下 略

以 上

以上の結果にもとづいて、万成、豊沢、芳田、中野、渡部の5氏を標記委員に、また、勝木、鈴木2氏および和田、三輪両氏のうち1氏を同委員の次点者として推せんすることとしました。

第3次点者については、次回の基研研究委員会議で決定されます。

人 事 異 動

固体物性(客員)部門教授(併任) 佐 川 敬 48. 1. 1 東北大(理)教授
" 助教授(併任) 加 藤 利 三 48. 1. 1 京大(理)助教授
" 助 手 佐 藤 繁 48. 2. 1 転任東北大(理)
" 助 手 渡 辺 誠 48. 2. 1 転任、京大(理)
助 手 より より

Series A

TECHNICAL REPORT OF ISSP 新刊リスト

- No. 560 Yuji Ito and Jun Akimitsu: The Behavior of Localized Moment of Ni in Ni-Cu Alloy System.
- No. 561 Masahiro Inoue and Eiichi Hanamura: Contribution to the Theory of Metallic State in Electron-Hole System. II.
- No. 562 Hiroto Kuroda, Shigeo Shionoya, Hiroshi Saito and Eiichi Hanamura: Observation of the Bose Condensation of Excitonic Molecules in CdSe.
- No. 563 Isamu Okada and Kei Yosida: Singlet Ground State of the Localized d-Electrons Coupled with Conduction Electrons in Metals.
- No. 564 Tomohei Sasada: Non-Markoffian Effect on Superradiance from Harmonic Oscillators.
- No. 565 Atsuko Sumi and Yutaka Toyozawa: Discontinuity in the Polaron Ground State.
- No. 566 Kazukiyo Nagata and Yuzo Tomono: Antiferromagnetic Resonance Frequency in Quadratic Layer Antiferromagnets.
- No. 567 Ichiya Sadakata: Effects on Impurities on Strongly Correlated Electrons in Narrow Band.
- No. 568 Shoichiro Sakoda and Yutaka Toyozawa: Theory of the Jahn-Teller Effect on the Optical Spectra of Degenerate Exciton.
- No. 569 Tatsuhiko Yagi, Motoyuki Tsuda and Hiroo Inokuchi: Kinetic Studies on Hydrogenase, Parahydrogen-Orthohydrogen Conversion and Hydrogen-Deuterium Exchange Reactions.
- No. 570 Kohji Ohbayashi and Takeshi Igarashi: A Multi-Channel Photon Correlator.
- No. 571 Sadao Nakajima: Paramagnon Effect on the BCS Transition in He^3 .
- No. 572 Yoshitake Yamazaki and Masuo Suzuki: Statistical Mechanics of the Anisotropic Heisenberg Model. I.
- No. 573 Masuo Suzuki: On the Expansion Theory of Critical Exponents — General Aspects and Some Applications

編 集 後 記

物性研に客員部門が一講座認められたことは、多くの方々の御承知のことと存じます。同部門には、最初の研究プロジェクト「SOR物性」のために、このたび、東北大の佐川教授と京大の加藤助教授が併任なさいましたので、本号では佐川教授に抱負を多いに語っていただきました。この他、本号にはいくつかの短期研究会報告が集まりました。次号の原稿〆切を4月10といたします。

所外の方々からも興味ある御投稿を是非お願いたします。

生 島 明
鈴 木 増 雄