

氏 名	安 藤 利 彦 あん どう とし ひこ
学 位 の 種 類	理 学 博 士
学 位 記 番 号	論 理 博 第 206 号
学位授与の日付	昭 和 42 年 7 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	A Note on the Orbital Susceptibility of Dilute Alloys (稀薄合金の軌道反磁性)
論文調査委員	(主 査) 教 授 富 田 和 久 教 授 松 原 武 生 教 授 長 谷 田 泰 一 郎

論 文 内 容 の 要 旨

金属中に少量の他の金属を溶かした場合、試料の磁性がどのように変化するか、という問題は合金の電子状態の解明に関連があり、Henry と Rogers によって実験的にしらべられたが、その理論的解釈はまだ終わっていない。この場合、不純物によって誘起される効果は、(1)イオン殻の状態の変化によるもの、(2)電子スピンによる常磁性の変化、(3)電子の軌道運動のうける影響によって起こる変化、の3種が考えられ、その各々についての理論的評価が試みられているが、申請者が本論文において取り上げたのは、上記のうち特に第3の効果、すなわち、軌道運動による反磁性の理論的評価である。

この問題に関し、簡単な一体模型を用いて解析を行なった Kohn と Luttinger によれば、軌道運動によって生ずる一電子あたりの反磁性は、不純物の存在しなかった場合（自由電子模型）と殆んど変わるところがない、という結論が導びかれている。そこで一般の場合、不純物による影響を無視してよいためには、物理的にどのような条件が成り立っていればよいであろうか。この問いに対する答えを導いたのが本論文である。

まず、外部磁場Hの下において、自由電子の Landau 準位の間隔がサイクロトロン周波数 $\omega_c = \gamma H$ で与えられることから、不純物散乱によって起こる軌道運動の減衰時間 τ が

$$\tau^{-1} \ll \omega_c$$

なる条件をみたせば、自由電子としての運動の特徴は保存されるにちがいないが、この条件は、磁場を小さくしていけば、当然成り立たなくなる。

これに対して、Peierls は、散乱ポテンシャルを摂動とみて分配関数を展開する方法により、

$$\frac{\hbar}{\tau} \ll kT \quad (T: \text{絶対温度})$$

なる条件が成り立てば、反磁性に対する不純物の効果が省略できることを示した。

しかしながら、申請者は、参考論文1において、電気伝導の問題について Born 近似の成り立つ条件

を詳細に考察した経験にもとづいて、上記 Peierls の条件も、なお厳しすぎると考えた。すなわち、反磁性において問題とする物理量が、試料全体の磁化であるという意味において、結果が自由電子の場合から本質的にずれぬための条件は

$$\frac{\hbar}{\tau} \ll E_F \quad (E_F: \text{Fermiエネルギー})$$

であると予想し、注意深い評価によってこの主張を根拠づけたのである。

計算の方法は、一般の波動的磁化 $\mathbf{M}(\mathbf{q})$ が、電流相関のテンソル

$$\begin{aligned} S_{\mu\nu}(\mathbf{q}, t) &= \frac{1}{C^2} \int_0^B d\lambda \langle J_\nu(-\mathbf{q}) J_\mu(\mathbf{q}, t + i\hbar\lambda) \rangle \\ &= S_0(\mathbf{q}, t) \delta_{\mu\nu} + S_2(\mathbf{q}, t) \frac{q_\mu q_\nu}{q^2} \end{aligned}$$

を用いて

$$\mathbf{M}(\mathbf{q}) = - \frac{1}{q^2} S_2(\mathbf{q}, 0) \mathbf{H}(\mathbf{q})$$

の形に書かれることを利用し、 $S_2(\mathbf{q}, 0)$ を求める。すなわち、不純物による散乱を松原・豊沢の方法で扱い、不純物の空間的配置が完全に乱雑であると仮定して、最低近似において $S_2(\mathbf{q}, 0)$ を計算した結果

$$\lim_{q \rightarrow 0} \chi_d(q) = \chi_{d, \text{free}} \left\{ 1 + o\left(\frac{\gamma}{E_F}, \frac{kT}{E_F}\right) \right\}$$

をえた。ここで途中の段階で用いた近似が、 k_f を Fermi 波数、 k_p を散乱ポテンシャルの作用半径にあたる波数として、

$$\gamma = \frac{\hbar}{\tau} \ll \frac{\hbar^2}{2m} (2k_f k_p - k_p^2), \quad E_F$$

であることを考慮すれば、軌道反磁性が自由電子のそれと本質的に一致するための条件は、Peierls の条件よりは遥かに弱く、大体としては

$$\frac{\hbar}{\tau} \ll E_F$$

で与えられることが明らかになった。

物理的に考えれば、反磁性に対しては Fermi 面以下のすべての電子が寄与し、不純物によって散乱されるのは、Fermi 面付近の γ 程度の領域に属する電子のみであるから、この結果は至極妥当であると考えられる。

参考論文 1.

固体における電気伝導を論ずる際、Boltzmann-Bloch の方程式を用いて通常行なうように、Born の近似を用いてよい条件を詳論したものである。この問題に関しては、以前から種々の条件が提出され、場合によって考え方に混同がみられたが、電流の寿命を τ とする場合、次のような事情が明らかにされた。(1) 分布関数、あるいは密度行列の各成分を決定する際であれば、Born 近似を用いてよい条件は

$$\frac{\hbar}{\tau} \ll kT \quad (\text{Peierls の条件})$$

である。これに対して、

(2) 電気伝導度、すなわち、全電流を問題とする場合には、Born 近似の妥当性を保証する条件は(1)にくらべて遥かに弱く、

$$\frac{\hbar}{\tau} \ll E_F \text{ (Landau の条件)}$$

が満たされれば充分である。

参考論文 2.

対称性の低い分子に特有の光学的活性、すなわち、偏光面の回転ならびに二色性は、生物物理学の分野において注目されているが、理論的取り扱いは多くない。これは、申請者等が、線型応答の理論を用いて、光学活性の一般的定式化を行なった速報である。

参考論文 3.

2時間グリーン関数の方法を用いて、半導体における伝導帯と原子価帯とのエネルギー・ギャップの温度変化を論じたものである。従来エネルギー単位の「ずれ」のみ計算した理論、「ぼけ」のみを求めた理論が存在したが、両者を統一して論じたものである。

参考論文 4.

半導体の熱伝導度 k は、低温では温度とともに増加し、格子振動のみによって理解することができるが、高温になって (intrinsic range) 再び増加する場合が認められており (Ge, Pb, Te 等)、特別の説明が必要である。従来、これに対して、(1)励起子によるものとする考え (Ioffe)、(2) ambipolar diffusion によるものとする考え (Price) が提出されていたが、いずれも定量的一致をみなかった。申請者等は、本論文において、これにかわるものとして、(3) Resonance transfer による機構を提案し、評価した。伝導帯よりみて、不純物準位の深さを E_0 、原子価帯の深さを E_1 とすれば、

$$\kappa \propto N^2 T^{5/4} \exp\{-(E_1 - 4E_0)/kT\}, (\alpha \gg \beta)$$

$$\kappa \propto N^2 T \exp\{E_0/kT\} \quad (\alpha \ll \beta)$$

なる結果がえられる。ここに α^{-1} は Bohr 半径、 β^{-1} は screening 半径である。この結果は、問題の intrinsic range において、確かに実験の傾向とよく一致している。

参考論文 5.

参考論文 4 の内容に関する速報である。

論文審査の結果の要旨

稀薄合金の諸特性は、応用面において重要であるだけでなく、基礎論的な立場からも諸種の問題が含まれており、近時活発な論議の対象となっているが、未解決の問題が多い。

申請者の本論文は、このうち特に軌道運動に由来する反磁性が、不純物の存在によってどのように変化するか、あるいは、どこまでは変化しないかという問題を批判的に論じたものである。

この種の問題意識は、電気伝導に関しては古くより存在し、種々の論議が行なわれてきたが、反磁性に対しては、殆んどその例をみない。Kohn と Luttinger は具体的な一体模型を論ずることにより反磁性は

不純物の存在によって殆んど影響をうけないという結果を導びいたが、いかなる条件の下に、かかる結果がえられるかは分析しなかった。

申請者は、参考論文1において電気伝導の場合にこの種の問題を扱った経験を生かして、本論文において、明確な問題意識の下に、合金の反磁性を自由電子のそれによって置き換えてよいための条件をしらべ、従来論ぜられていた条件よりも遥かにゆるい条件の下で、一般にこのことが許されることを示した。これは、模型の特殊性によらない一般的結論であり、将来、この種の問題を考察する際の礎石となる性質の仕事であると考えられる。

参考論文は、金属に限らず半導体、生体高分子等、各方面にわたる申請者のひろい関心と研究意欲を示している。

以上述べたところにより、申請者の論文は、理学博士の学位論文として価値があるものと認める。