

氏 名	植 山 宏 うえ やま ひろし
学 位 の 種 類	理 学 博 士
学 位 記 番 号	論 理 博 第 350 号
学位授与の日付	昭 和 46 年 3 月 23 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	Phenomenological Theory on Critical Phenomena in Liquid Helium. I—above the λ-Point— (液体ヘリウムに於ける臨界現象の現象論・I—高温相—)

論文調査委員 (主 査)
教 授 松 原 武 生 教 授 富 田 和 久 教 授 松 田 博 嗣

論 文 内 容 の 要 旨

液体ヘリウムは λ 点と呼ばれる転移温度を境として、低温側で超流動性を示す HeII の相になる。これはいわゆる二次相転移の典型的な一例である。二次相転移をする物質は、転移点近傍において、熱力学的性質だけでなく、種々の輸送係数にも異常を示すことが多く、動的臨界現象として近年実験的、理論的研究の一つの焦点となっている。Landau にはじまる二次相転移の理論では、秩序度と呼ばれる量が主要な役割をするが、液体ヘリウムの相転移の場合、その分子論的な説明がまだ完成されていない現状では、理論的取扱いも現象論的になることをまぬがれ得ない。申請者は液体ヘリウム λ 点近傍の動的臨界現象、特に超音波の吸収現象、熱伝導率の異常について現象論を試み、従来の理論では実験の説明が不可能であった高温相に議論を限って新しい理論を提出している。

従来の現象論が、高温相における動的臨界現象に無力であった主な理由は、低温相にのみ存在する秩序度の緩和現象として理論が組立てられたためである。この点を改良する重要な発展は、最近二次相転移一般について Levanyuk により与えられた。申請者はこの Levanyuk の理論の手法を液体ヘリウムの問題に取入れ、高温相において秩序度のゆらぎが存在するときに、動的臨界現象にどのような効果が現われるか詳細に調べ、今まで現象論的で説明できなかった λ 点より上で見られる異常に大きな超音波吸収を、定性的に説明することに成功した。その理論の要点は次のようである。

液体ヘリウム中を伝わる音波に対する波動方程式を考えると、その中には熱力学的関数が含まれているが、それを密度と秩序度の関数と見なして平衡値の周りに展開する。そうすると、通常の波動方程式に、秩序度のゆらぎにもとづく余分の項がつけ加わって現われる。一方秩序度は液体ヘリウムの場合、超流体を記述する波動関数に相当するから、秩序度の時間変化をきめる方程式を、 λ 点附近の二流体方程式を適当に現象論的に設定する。ブラウン運動の一般論により、秩序度のゆらぎの相関関数はこの現象論の方程式の中に現われている輸送係数と一定の関係があり、従って現象論的には知れた量として扱うことができる。ところでゆらぎのある媒質中の波の伝播は、ゆらぎのない時の伝播関数とゆらぎのスペクトルがわか

れば一般にきめられる。こうして音波の速度や減衰定数は媒質の熱力学的性質と超流体の輸送方程式に現われるパラメータを用いて表わせることになり、これら諸量の温度変化が実験的に求まっていればそれを用いて音波吸収の温度変化を議論することができることになる。熱伝導率の異常についても同様な方法を用いることができる。

申請者は提出した理論から得られる結果と、実験とを比較するために、熱伝導率および超音波吸収の臨界指数を計算し、観測値と比較している。熱伝導率の場合理論的予想は指数 $1/3$ を与え、実験値とよく一致するが、超音波吸収の臨界指数の場合、理論値は 1 となり、実験値の $1/2$ と一致しない。しかし、最近の実験では λ 点の極く近傍ではこの指数の実測値は 0 に近づいている。このような理論と実験の不一致を取り除く一つの試みとして、秩序度の時間変化を記述する方程式の中に新しく時間について二階の微分の項をつけ加えることを提唱している。現象論の方程式をこのように修正することによって、臨界指数の値は変化し、しかも、温度領域によって、現象論方程式の各項の重要性が変化する時は、臨界指数の値も実測されているように、温度領域によって変化するのを申請者は指摘している。

論文審査の結果の要旨

液体ヘリウムの λ 点近傍における超音波吸収の異常は観測されて以来既に長い時をへているが、 λ 点以下の温度領域だけに適用できる Landau-khalatnikov の理論があるのみで、高温相の異常は充分説明されないままであった。申請者が定性的にせよ、この問題に対する一つの解答を与えることができたその鍵は、Levanyuk による秩序度のゆらぎの一般理論を取入れたことにある。Levanuk 自身は、二次の相転移について転移点以上の温度においても、長距離秩序度は一定の法則に従って揺れていることを示し、それを取扱う一般的方法を与えたのであるが、それを直ちに液体ヘリウムの未解決の問題に応用したのは申請者の卓見である。

もっとも Levanyuk の理論がそのまま液体ヘリウムに適用されるのではない。液体ヘリウムの流体力学の方程式、特に秩序度に相当する超流体部分の運動方程式については、完全な分子論がない現段階では、提出されているいくつかの現象論的方程式から適当なものを採択することが必要である。この点では申請者は最近の Usui-Yamanouchi の理論を基礎にとって議論を進めている。しかし、超流体部分のゆらぎを記述する方程式を巧みに変形して結局 Levanyuk の一般論がそのまま適用できるように工夫した部分、および音波の伝播を取扱う理論から派生して熱伝導率の異常について論及する部分に申請者の創意がみとめられる。

臨界指数についての理論的予想は、実験事実と必ずしも一致していないが、この実験と理論の不一致を取り除くために申請者は興味深い考慮をしている。 λ 点以上の温度領域を転移点の非常に近く of “臨界領域” と、それから少しはなれた “古曲領域” に、分けると、最近の実験では超音波吸収の臨界指数は前者の領域で 0 、後者の領域で $1/2$ となるよう連続的に変化させているように見えるが、これを説明するには秩序度の速い時間変化も正しく取り入れるよう現象論の方程式を少し修正すればよいことを示している。これは申請者が主論文の中で提示している重要な仮説であり、その正否は今後の研究にまたなければならないが、重要な示唆を与えているものと思われる。

参考論文の一つにおいて、申請者は高温相で用いた方法を、低温相に拡張適用することによって理論を完全なものにしようと試みている。また別の参考論文においては、固体水素の回転転移の理論を展開し、分子の回転運動の相関によって生ずる新しい量子化された波を理論的に取扱う一つの方法を提供している。

よって、本論文は理学博士の学位論文として価値あるものと認める。