

氏 名	巽 敏 隆
	たつみ とし たか
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	理 博 第 620 号
学位授与の日付	昭 和 55 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	理 学 研 究 科 物 理 学 第 二 専 攻
学位論文題目	Alternating-Layer-Spin Structure Realized in the σ -Model (σ 模型に於いて実現される交代層状スピン構造)

論文調査委員 (主 査) 教 授 玉 垣 良 三 教 授 林 忠 四 郎 教 授 町 田 茂

論 文 内 容 の 要 旨

π 中間子と核子の P 波相互作用を起因力として起る π 中間子凝縮は、標準密度より高密度の核物質に発現する有限運動量状態へのボーズ凝縮として、近年核物理分野で大に関心をよんでいる研究課題である。申請論文は、この中の主要な問題の一つである中性 π 中間子 (π^0) 凝縮とそれに伴って起る核子系の構造を、 σ 模型の立場から研究したものである。

σ 模型は、アイソスピン対称性について良い対称性であるカイラル対称性を表現した一つのモデルで、低エネルギー π -N 散乱、 π - π 散乱、ハドロンを含む semi-leptonic 過程等の現象を最低次の計算で説明するものである。カイラル対称性に基づいた π 凝縮の研究は、最近いくつかなされているが、それらは主として荷電 π 凝縮に対してのものであり、 π^0 凝縮に対しては殆んどなされていなかった。

申請者は、参考論文 1 において、従来の π 中間子と核子のハミルトニアン——相互作用 ($\vec{\sigma} \cdot \vec{p}$) 結合型、それ以外は場の変数について 2 次型式——を採用して、 π^0 凝縮は核子系が交代層状スピン構造 (Alternating-Layer-Spin 略して ALS 構造) の下で発現することを示している。申請論文では、以前の研究と対応をつけながら、この ALS 構造の下での π^0 凝縮という様相が、 σ 模型においてどのように実現されるかを明らかにし、次いで最近 Dautry と Nyman によって提出された σ 模型による π^0 凝縮に関するモデルを検討している。

問題を扱うための定式化として、 π 中間子場を“角変数” $\vec{\theta}$ で、 σ 中間子場を“半径変数” ρ で表わす“極変数”を導入する。ここで、 $\vec{\theta} = \hat{\pi} \theta$ とかけば、 $\hat{\pi}$ はアイソスピン空間での自由度を、 θ はカイラル空間での自由度 (カイラル角) を表現し、いろいろな型の π 凝縮は各々の空間での通常状態からの変換で記述されることが示される。

次に、この定式化の中で特別な場合として、中性子物質中の π^0 凝縮を問題とする。この場合は、アイソスピンの自由度はなく、 π^0 場はカイラル角 θ で定義され、 π^0 凝縮相はカイラル空間での座標依存の局所的な回転で記述される。 σ 模型の非線型性はすべて対称性の破れを表わす項に集約され、 π -N S 波相

相互作用はなく、 π^0 場の自己エネルギー項を除いて、 $(\vec{\sigma} \cdot \vec{p})$ 結合を有する従来のハミルトニアンに同じになる。

π^0 凝縮相は、 θ 場を基底状態での期待値 $\theta_0 = \langle \theta \rangle$ におく平均場近似を用い、核子場と凝縮 π^0 場 θ_0 の結合方程式を自己無撞着に解くことによって求められる。上に述べたハミルトニアンの性質から、核子場の固有値方程式は以前のものと同じになるが、 θ_0 に対する方程式は Klein-Gordon 型から sine-Gordon 型に変化していることが導かれる。

π^0 が一つの運動量状態に凝縮している場合、それに $\theta_0 = A \sin k_0 z$ の形をとると、核子系に対する固有値方程式の近似解として、参考論文 1 と同じく ALS 構造が自然に導出される。ここで、凝縮運動量は z 方向をむき、その大きさは k_0 である。この解は、凝縮 π^0 場の方程式が sine-Gordon 型になっていても、広い密度範囲にわたって良い近似で成立していることが示される。

他方、最近 Dautry と Nyman は、 $\theta_0 = K_0 z$ 型の π^0 凝縮を考え、この θ_0 場の下での核子系の方程式のみを解き、全スピンの揃った一様物質という核子系の構造を導出した。申請者は、このような ALS 構造との大きい差異の原因を検討した。 θ_0 のみたすべき方程式にも注意を払って結合方程式を吟味した結果、彼等のモデルは高密度の限られた領域においてのみ出現の可能性があることが明らかになった。

申請者は、この両方の構造について比較して、次の諸点を指摘している。(1)非線型の効果は、ALS 構造では本質的役割はなく、特に臨界点近傍では以前の結果とほぼ完全に一致する。他方、Dautry-Nyman ・モデルでは、非線型効果を最大限とり込む必要があり、従来の 2 次型式、 $(\vec{\sigma} \cdot \vec{p})$ 結合のハミルトニアンでは決して実現しない様相となっている。(2)対称性の破れの型にはいくらか不完性が残っているが、ALS 構造はその型の選択にはほとんど依存しない。しかし、Dautry-Nyman モデルでは、この選択への依存性が大きい。

以上要約すれば、申請論文は、 π^0 凝縮相とそれに伴う核子系の構造を、 σ 模型によって従来よりも現実的な状況で研究し、標準密度に近い領域でまず起るのは ALS 構造に対応した π^0 凝縮であることを示し、あわせて他の様相が発現する条件について明らかにしたものである。参考論文は、申請論文の課題の基礎になった研究である。

論文審査の結果の要旨

π 中間子凝縮は、核物質が標準密度より少し高密度になると発現する相として、1970年代はじめにその可能性が指摘されて以来盛んに研究がなされている問題である。 π 凝縮は、 π 中間子と核子の P 波相互作用を起因力としてもたらされるが、より近距離の種々の効果にも敏感であり、これらの効果を全体として信頼できるようにとり入れることが重要視されている。荷電 π 凝縮については、このような方向のものとして、カイラル対称性に基づいて π 中間子と核子の系の相互作用をよく表現する σ 模型による研究がなされてきた。他方、中性 π (π^0) 凝縮については、核子系が正常相から大きく構造的変化を起しているため取り扱いが難かしく、この種の研究は殆んどなされていなかった。

申請論文は、参考論文 1 で申請者が示した様相——核子系の交代的層状スピン構造 (ALS 構造と略記する) の下での π^0 凝縮——の発現が、 σ 模型の相互作用の下でも起りうるかを明らかにすることを主

目的としている。あわせて、最近 Dautry と Nyman によって指摘された様相——空間的に一様で全スピンの揃った核子系の構造を伴う π^0 凝縮——との大きな差異が何に起因しているかを明らかにすることを目的とした。

申請者は、 π 中間子場と σ 場を記述するのに極変数を導入する定式化を行なって、問題解決により見通しを与えた。即ち、カイラル角 θ で与えられた π^0 凝縮場は、場の振幅が小さい時には従来の Klein-Gordon 型に移行する源のある sine-Gordon 型の方程式によって記述され、核子系は従来と同様にこの θ 場の $(\vec{\sigma} \cdot \vec{p})$ 型の相互作用の働く方程式によって記述される。中性子星物質中の π^0 凝縮について、この二つの方程式を連立して解いた結果、 σ 模型においても、ALS 構造に伴なう π^0 凝縮の特徴は本質的変更を受けることなく発現することが示された。

また、Dautry と Nyman のモデルは、源のない sine-Gordon 型の方程式の解として π^0 場をえらぶとにき現れるもので、標準密度よりはるかに高い密度においてのみ成立することを明らかにしている。

以上のように、申請論文は、 π^0 凝縮相での核子系の構造を現実的な状況の下で明らかにした研究で、国際的に関心が集まっている問題に明確な解答を与えた研究と言える。参考論文は、この研究課題を生みだすもとなった研究であり、主論文と共に、申請者のすぐれた研究能力を示している。

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。