

Nara Women's University

Kaon-nucleus systems and kaon properties in the nuclear medium : Abstract of the Dissertation and the Summary of the Examination Results

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 奈良女子大学 公開日: 2009-12-25 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 関原(山縣), 淳子, 比連崎, 悟, 林井, 久樹, 小川, 英巳, 上江洌, 達也 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10935/1159

氏名(本籍)	関原(山縣) 淳子 (山口県)
学位の種類	博士(理学)
学位記番号	博課第423号
学位授与年月日	平成21年3月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 人間文化研究科
論文題目	Kaon-nucleus systems and kaon properties in the nuclear medium (K中間子-原子核系及び核媒質中におけるK中間子の性質)
論文審査委員	(委員長) 教授 比連崎 悟 教授 林井久樹 教授 小川英巳 教授 上江洌 達也

論文内容の要旨

本学位論文では、核媒質中における負電荷を持つK中間子の性質を探ることを主目的として、K中間子-原子核束縛系と ϕ 中間子束縛系の構造と生成に関する研究結果を報告している。

K中間子-原子核束縛系とはK中間子が原子核内に束縛されたK中間子原子核と、K中間子が原子軌道に束縛されたK中間子原子という大きく異なった構造を持つ2種類の状態の総称である。近年、核媒質中における中間子の性質を調べることにより、量子色力学(QCD)の対称性の破れとその回復に関して研究することが大変興味を持たれており、中間子-原子核束縛系の研究からも重要な情報が得られると期待されている。特にK中間子はストレンジネスクォークを持つ最も軽い中間子であるため、アップクォークやダウンクォークのみで構成される中間子では見られない現象を観測することに適していると考えられる。また、正電荷と負電荷を持つK中間子対と強く結合する ϕ 中間子の核媒質中での性質についても近年興味を持たれている。 ϕ 中間子の性質を調べることにより、K中間子系の研究とは別のアプローチでK中間子の性質を探ることができると考えられる。また、 ϕ 中間子自身も媒質中で質量が3%程度変化するという理論予言がされており大変興味深い中間子である。

本学位論文では、まず第1章の導入部分において、中間子-原子核束縛系が強く相互作用するエキゾチックなハドロン多体系であり、原子核中のハドロンの性質を詳しく調べることにより有限密度における強い相互作用とその対称性の情報が得られる可能性があることを述べている。現代的な強い相互作用の理論に基づくハドロン物理学に依れば、QCDによって記述されるクォーク・グルーオン

の自由度から、ハドロン自由度の相に転移する際に、3つの対称性の破れが関係していると考えられている。これらの対称性の破れの原子核内における様相を研究する為に、中間子-原子核束縛系は適した系の1つと考えられている。また、これまで行われてきたK中間子-原子核系の様々な理論的及び実験的研究を紹介し、特に原子核中におけるK中間子の相互作用に関して未だに全く決着していない問題点を指摘し、それらに対する本論文の研究結果の重要性について述べている。

第2章では、中間子-原子核束縛系の構造を理論的に探る手法として相対論的なクライン-ゴールドマン方程式を導入する。中間子と原子核の相互作用は、光学ポテンシャル及びクーロンポテンシャルの形で導入され、原子核による吸収の効果は複素ポテンシャルとして表されている。また実験で得られると期待される生成スペクトラムを計算する手法として有効核子数法及びグリーン関数法の定式化を行っている。束縛状態が十分に長寿命であれば有効核子数法が適用できるが、短寿命の系に関しては量子力学的な固有状態が十分に離散的にならず、より一般的に定式化されたグリーン関数法を適用して原子核標的に対する生成スペクトラムを計算することになる。定式化の詳細部分は論文末尾の付録において補足されている。

第3章では、具体的な束縛系としてK中間子原子核とK中間子原子をとりあげている。性質の全く異なる2種類のK中間子-原子核光学ポテンシャルを用いて構造と生成スペクトラムを計算し結果を比較検討している。さらに、K中間子-原子核束縛系研究において非常に重要になる光学ポテンシャルのエネルギー依存性について、原子軌道に束縛されたK中間子が原子核内に吸収される過程を調べることにより現象論的に考察している。また、未だ実験で観測がされていない深く束縛したK中間子原子状態の生成スペクトラムが、単純なピーク構造ではなく、K中間子が原子核に吸収される過程との干渉効果により興味深い振る舞いをすることも示している。

第4章では、新加速器実験施設 J-PARC で実験が予定されているK中間子と2核子(KNN)の束縛系生成に関して理論的なスペクトラムを求めている。この束縛系は、KN間の相互作用により非常にコンパクトな構造を持つ可能性が指摘され、大きな議論になっている。その為、J-PARC稼働直後に実験が予定されており、理論的な生成スペクトラムの研究は急務であった。本研究では、射出される核子だけでなくK中間子が核内で吸収されたのちに射出される崩壊粒子対を同時に観測することにより、KNN束縛状態の情報をさらに詳細に引き出すことができると結論付けている。

第5章では、正電荷と負電荷を持つK中間子対と強く結合する ϕ 中間子に注目し、核内における ϕ 中間子の性質を探ることにより、K中間子の情報を引き出す別のアプローチを述べている。また、 ϕ 中間子が核内に束縛した ϕ 中間子原子核を実験で測定することにより、媒質中における質量変化の情報を得ることができるか理論的に検討している。 ϕ 中間子に関しては現在までに崩壊レプトン対による不変質量観測の実験結果が報告されているが、 ϕ 中間子束縛系の研究は相補的な情報を引き出せる可能性があり重要であると結論している。

第6章では、本学位論文全体の総括が述べられている。

論文審査の結果の要旨

近年、強い相互作用の示す相構造、特にクォーク・グルーオン相と陽子や中性子で代表されるようなハドロン相の間の相転移に関して国際的に活発な研究が進められており、超相対論的なエネルギーによる重イオン衝突や、原子核中から放出されるレプトン対の観測等様々なハドロン系の反応が研究されている。本学位論文においては中間子-原子核束縛系、特に負電荷を持つK中間子と ϕ 中間子の原子核との束縛系を研究対象とし、理論的な研究結果を系統的に報告している。

本学位論文で研究されたK中間子-原子核束縛系とはK中間子が原子核内に強い相互作用により極めて深く束縛されたK中間子原子核と、K中間子が主に電磁相互作用によって原子軌道に束縛されたK中間子原子という、大きく異なった構造を持つ2種類の状態の総称である。現在までに長く行われてきた π 中間子原子の研究と異なり、K中間子はストレンジネスクォークを持つ最も軽い中間子であるため、アップクォークやダウンクォークのみで構成される π 中間子などでは見られない現象を観測することに適していると考えられる。また、正電荷と負電荷を持つK中間子対と強く結合する ϕ 中間子の核媒質中での性質についても研究成果を報告している。K中間子に強く結合する事から、核内における ϕ 中間子の性質を調べることにより、原子核中におけるK中間子の性質も探ることができると考えられる。また、 ϕ 中間子はアップクォークやダウンクォークの成分をほとんど含まないと考えられており、核子との相互作用が弱いと考えられている。この観点からも ϕ 中間子束縛系の研究は興味深いと考えられる。

本論文は、次の6つの章からなり、第1章の導入部分においては本論文の研究の背景や物理学としての興味・目的などが説明されている。

第2章及び付録においては、中間子-原子核束縛系の構造及び生成反応研究のために必要な理論的手法が解説されている。中間子-原子核束縛系の構造を理論的に探るために相対論的なクライナー-ゴルドン方程式が導入され、中間子と原子核の相互作用は、強い相互作用による光学ポテンシャル及びクーロンポテンシャルとして考慮されている。中間子が原子核に吸収される効果は、中間子の存在確率を減少させる複素ポテンシャルとして表現されている。また実験で得られると期待される生成スペクトラムを計算する手法として有効核子数法及びグリーン関数法の定式化を行っている。K中間子及び ϕ 中間子の束縛系は短寿命である場合が多いので、後の数値計算結果に於いてはグリーン関数法を用いた生成スペクトラムの計算結果が主に報告される。これらの理論的手法は、十分に信頼に足る物であって本研究において用いられる手法として適切なものであると言える。

第3章では、K中間子原子核とK中間子原子の構造と生成反応に関する結果を報告している。性質

の全く異なる2種類のK中間子-原子核光学ポテンシャルを用いて結果を比較検討し、さらに、K中間子-原子核束縛系研究において非常に重要な光学ポテンシャルのエネルギー依存性について、K中間子が原子軌道から原子核内に吸収される過程を調べることにより考察している。また、深く束縛したK中間子原子状態の生成スペクトラムが単純なピーク構造ではなく、K中間子が原子核に吸収される過程との干渉効果により興味深い振る舞いをすることも始めて理論的に示している。これらの結果より、K中間子-原子核の束縛系生成反応の研究を通じて、K中間子が原子核内においてどのような性質をもつのか明らかにする為に必要な実験条件や観測量を明らかにしている。

第4章では、新加速器実験施設 J-PARC で実験が予定されているK中間子と2核子(KNN)の束縛系生成に関して理論的なスペクトラムを求めている。この束縛系は、KN間の相互作用により非常にコンパクトな構造を持つ可能性が指摘され、大きな議論になっている。本研究では、射出される核子だけでなくK中間子が核内で吸収されたのちに、射出される崩壊粒子対を同時に観測することにより、KNN束縛状態の情報をさらに詳細に引き出すことができる事を明らかにしている。

第5章では、 ϕ 中間子が核内に束縛した ϕ 中間子原子核を実験で測定することにより核内における ϕ 中間子の性質を探り、更にK中間子の情報を引き出す別のアプローチに関して報告している。また原子核中における ϕ 中間子自身の質量変化の情報を得ることができるか理論的に検討している。 ϕ 中間子束縛系の研究は現在までに得られている実験結果と相補的な情報を引き出せる可能性があり重要であると結論している。また第6章では、本学位論文全体の総括が述べられている。

本研究は、様々な理論的な中間子-原子核相互作用からどのような生成断面積が得られるか報告しており、実験データとK中間子の性質を直接結びつけられる結果を与える理論的研究である。生成断面積を求める際の素過程の断面積は、実験で得られているデータを用いており、また束縛状態だけでなく中間子が原子核に束縛されない準自由な過程も計算に含まれているので、非常に現実的な強度とスペクトラムの振る舞いを与える計算である。さらに、KNN系生成の計算では、K中間子が核内に吸収された後の崩壊粒子別生成スペクトラムも計算し、実験実施以前に行われた理論計算として特筆すべきものになっている。媒質中におけるK中間子や ϕ 中間子を含む系における強い相互作用の包括的な理解に向けて非常に重要な研究であると考えられる。

よって、本学位論文は、奈良女子大学博士(理学)の学位を授与されるに十分な内容を有していると判断した。