

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Theoretical Study on Compositeness in Hadron Physics
著者(和文)	YINZanpeng
Author(English)	Zanpeng Yin
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12827号, 授与年月日:2024年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:慈道 大介,伊藤 克司,須山 輝明,西田 祐介,関澤 一之
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12827号, Conferred date:2024/9/20, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第		号	学位申請者氏名		Yin Zanpeng	
論文審査 審査員		氏 名		職 名		氏 名	職 名
	主査	慈道 大介		教授		関澤 一之	准教授
	審査員	伊藤 克司		教授	審査員		
		須山 輝明		教授			
		西田 祐介		教授			

論文審査の要旨（2000 字程度）

物質を形成する陽子や中性子などのハドロンは、基本粒子であるクォークやグルーオンから構成されるがそれらは単体で観測されないことから、実験で観測される最小単位はハドロンとなる。そのため、ハドロンの構造や相互作用を理解することが、自然界の現象を解明する上での基礎となる。近年、クォークを 4 つ以上含むエキゾチックハドロンが発見されるに至りハドロン構造に対する興味が増高まっている。エキゾチックハドロンの多くは励起状態であり、励起状態はハドロン内のクォーク励起によって理解されるが、クォーク対生成や中間子生成による励起モードも同等のエネルギースケールであるために、ハドロン構造の多様性に注目が集まっている。特に、ハドロンが、ハドロン散乱過程で生成されるハドロン複合状態なのか、それとも、クォークから構成されるコンパクトな粒子なのかは、ハドロン構造の基本要素が異なりハドロンの性質を大きく左右する。その指標（0 から 1 までの実数）となる量として compositeness（複合性）と elementariness（素粒子性）が提案されている。 本学位論文は「Theoretical Study on Compositeness in Hadron Physics」と題し、今まで使われてきた複合性の計算方法について問題点を指摘し、その解決を試みたものである。複合性や素粒子性は量子力学の枠内で明瞭に定義されているが、実験量から引き出すには散乱理論を介して複合性を再定義する必要がある。その方法を用いて計算された重陽子（陽子と中性子の束縛状態）の複合性は 1 を超えてしまう問題があった。本学位論文は、その原因を特定し、新たな量 interactionness（相互作用性）を提案し問題を解決しているが、従来よりモデル依存性が高くなってしまった欠点もある。別の解決策として、エネルギースケールに依存した複合性も提案している。 本論文は 9 つの章から構成される。第 1 章では、ハドロン構造やエキゾチックハドロン、複合性の歴史について概観し、研究の動機と目的が説明されている。第 2 章では、ハドロン物理学について本研究の背景となる事項について述べられ、ハドロン構造を理解する上で複合性の重要性が強調されている。第 3 章では、本研究の理論的基礎となる散乱理論についてまとめられており、リップマン・シュウィンガー方程式による束縛状態の生成やフェッシュバッハによるチャンネル簡約法などが紹介されている。 第 4 章では、先行研究における複合性の計算方法を解説している。先行研究では、相互作用がエネルギー非依存の場合を想定し、複合性・素粒子性の定義と同等の量を散乱理論で計算できることが示されている。その際に、有効相互作用のエネルギー依存性は簡約されたチャンネルからのみ来ることが仮定（本論文では surjective interpretation と呼んでいる）され、素粒子性を有効相互作用のエネルギー微分で与えている。本章では、元の相互作用に顕わなエネルギー依存性があった場合に議論がどのように変更されるかが示され、その場合必ずしも素粒子性の元の定義と一致するとは限らないことが指摘されている。第 5 章では、重陽子の複合性をいくつかのモデルを用いて具体的に計算しており、どのような場合でも surjective interpretation の下では重陽子の複合性が 1 を超えてしまうことを確認している。第 6 章では、物理状態をチャンネル簡約によって有効相互作用に取り込んで生じるエネルギー依存性からは、正の素粒子性しか生じないこと、つまり、複合性は 1 を超えることがないことが示されている。また、定数相互作用で生じる束縛状態に対して、エネルギー依存の相互作用を加えることで束縛エネルギーを大きくする場合、この束縛状態に対する複合性は必ず 1 より大きくなることも示されている。これらの考察により、重陽子のように surjective interpretation の下で複合性が 1 より大きくなる場合は、物理状態のチャンネル簡約に由来しないエネルギー依存性（intrinsic なエネルギー依存性）が有効相互作用に存在し得ることを指摘している。 第 7 章では、その解決策として、このような intrinsic なエネルギー依存性に由来する素粒子性

をチャンネル簡約から来る素粒子性と分けて、interactioness（相互作用性）と呼び、複合性の一部として勘定することを提案している。しかしながら、有効相互作用のエネルギー依存性の起源を同定するには相互作用のモデルが必要で、複合性の計算のモデル依存性が強くなることが避けられない。第 8 章では、複合性をモデル依存性の弱い方法で計算するために、エネルギースケールに依存する新しい複合性の定義を提案している。

第 9 章では、本学位論文の結論と今後の展望が述べられている。

以上のように、本学位論文でなされた研究は、ハドロンの構造を判定する指標である複合性の新たな解釈を導入し、既存の方法の問題点を明らかにしその解決策を提案するもので、ハドロン物理の発展に大きく寄与する意義深いものである。新しく提案された複合性は理論研究を大いに刺激するものとなり、多くの場面で利用されることが期待される。よって、博士（理学）の学位論文として十分に価値があるものと認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。