

Properties of heavy hadrons studied with a chiral effective model of diquarks

金, 龍熙

<https://hdl.handle.net/2324/7182294>

出版情報 : Kyushu University, 2023, 博士 (理学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :



氏 名	金 龍熙			
論 文 名	Properties of heavy hadrons studied with a chiral effective model of diquarks (ダイクォークのカイラル有効模型を用いたヘビーハドロンの特質の研究)			
論文調査委員	主 査	九州大学	教授	緒 方 一 介
	副 査	九州大学	教授	鈴 木 博
	副 査	理化学研究所	客員主管研究員	岡 眞
	副 査	大阪大学	教授	池 田 陽 一

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

強い相互作用をする系は量子色力学(QCD)によって記述される。QCD がもつ特性のひとつとしてクォークの閉じ込めがある。クォークは色の自由度をもち、それが 1 重項となる状態、いわゆる“無色”の状態としてしか取り出すことができない。陽子や中性子をはじめとするバリオンはクォーク 3 つからなり、力を媒介するメソンはクォークと反クォークの対からなるが、いずれもこの無色の条件を満たす形で存在している。また、QCD のもうひとつの重要な特性に、カイラル対称性とその自発的な破れがある。この機構により、バリオンやメソン(総称してハドロン)の内部でクォークは動的に質量を獲得し、2 個ないし 3 個のクォークの単純な質量和よりも圧倒的に大きなハドロンの質量が説明される。本論文は、ハドロン中でのクォーク対すなわちダイクォークの在りようと、それがもたらすハドロンの特性の解明を行ったものである。特に、カイラル対称性を指導原理としてダイクォークを記述するラグランジアンを構成したことにその独創性がある。

本研究では、まずスカラー型、軸性ベクトル型、擬スカラー型、ベクトル型の各種ダイクォークの質量について解析的な分析を行い、その構成要素(アップ, ダウン, ストレンジクォークの組み合わせ)とダイクォークの質量の関係を明らかにした。その上で、模型が含むパラメータを格子 QCD の結果等を利用して決定し、各種ダイクォークの質量を定量的に評価した。次に、1 つの重いクォークと 2 つの軽いクォークを含むシングルヘビーバリオンの質量スペクトルの分析を行った。一部の実験データは模型のパラメータ決定に用いられているが、それ以外の「予言値」についても、実験データとの良い一致が確認された。特に Ω_c バリオンの基底状態と第一励起状態の質量に関しては、データの再現性が非常に高く、本研究の高い信頼性を示す結果といえる。また、 Ω_c バリオンと高い類似性をもつ Ω_b バリオンについて、基底状態の質量の再現に成功した上で、第一励起状態の質量を予言している。この状態は未だ実験で観測されていないが、将来、この予言値が確認されるかどうかは大変興味深い。

本研究において、シングルヘビーバリオンは、重いクォークとダイクォークの 2 体系として扱われている。他方、ダイクォークを仮定せず、重いクォーク 1 つと軽いクォーク 2 つの 3 体系として取り扱うアプローチも存在する。論文では、そのような 3 体模型計算との比較も行い、いくつかのケースで、ダイクォーク模型の方が実験データとの整合性が高いことを明らかにした。3 体模型計算はパラメータの決定方針が本研究のそれとは異なるため、結論は慎重に下す必要があるが、少なくともダイクォーク模型は、単に 3 体模型を単純化したものではなく、カイラル対称性を十全に取

り入れられるという点で、3 体計算にはない長所をもった、大変優れた模型であることが確かめられたといえよう。

論文では、シングルヘビーバリオンの崩壊についても分析がなされている。高温や高密度環境下ではカイラル対称性が回復していくことに着目し、その回復の度合いをパラメータとしてモデルに導入することで、シングルヘビーバリオンの崩壊の様相が変化していくことを示した。カイラル対称性の回復とともにスカラーダイクォークの質量は重くなり、軸性ベクトルダイクォークのそれは軽くなることに起因して、カイラル対称性が僅か 1 割程度回復するだけで、 Σ_c^* の崩壊が禁止されるなど、崩壊に質的な変化が起きることが予言された。これはダイクォークをカイラル有効模型で記述している本研究の強みが発揮された、非常に興味深い結果であると考えられる。さらに論文では、重いクォーク 2 つと反ダイクォークからなるダブルヘビーテトラクォークについても研究を行い、ボトムクォーク 2 つを含む系は、反ダイクォークを構成要素とする基底状態の存在を予言するなど、重要な示唆を与えている。

以上のように、本研究により、ダイクォークをハドロンの構成要素として捉え、かつカイラル対称性とその破れを指導原理とした新しい有効模型を構築することにより、軽いクォーク 2 つと重いクォークからなるハドロンのエネルギースペクトルや崩壊モードについての新しい理解が得られた。よって、本研究者は博士（理学）の学位を受ける資格があるものと認める。