

学位論文題名

Analysis of the hypernuclear production spectra in a local optimal Fermi averaging t -matrix and hyperon-nucleus potentials

(局所最適フェルミ平均法によるハイペロン生成スペクトルの分析と
ハイペロン核間ポテンシャルに関する研究)

学位論文内容の要旨

中性子星のような高密度物質を理解する上で、ハイペロンを含む系の研究は非常に大切です。なぜなら、中性子星の深部では陽子の正電荷とストレンジクォークの負電荷が打ち消されるためにハイペロンの出現が期待されるためです。このような高密度物質内部において最初に出現が期待されるハイペロンは負の電荷を持つ最も軽い Σ^- バリオンであり、中性子星の熱化、角運動量輸送等に影響すると考えられており重要な役割を担う可能性があります。また、 Σ^- バリオンの出現は核物質中における Σ^- バリオンが感じるポテンシャルの強さに左右され、ポテンシャルの大きさの知見を得ることは原子核物理学だけではなく中性子星の物理学においても重要な課題です。

Σ^- バリオンのポテンシャルについての情報を得るために高エネルギー加速器研究機構(KEK,2002年)においてE438実験が行われました。この実験は素過程 $\pi^- + p \rightarrow K^+ + \Sigma^-$ を利用して Σ^- ハイパー核を生成するもので、また、大きな運動量移行を伴う素過程の運動学的特徴から標的核の内部で Σ^- バリオンを生成することができます。したがって、 Σ^- バリオンの核内でのポテンシャルを調べるのに適した反応だと考えられます。

実験の分析はこれまでにハイペロン生成スペクトルの分析によく用いられている歪曲波インパルス近似法を用いて Σ^- ハイパー核の生成スペクトルは分析されました。歪曲波インパルス近似法を用いた分析から Σ^- バリオンは原子核内で90MeV以上の斥力を感じていることが示唆されました。この大きな斥力の示唆は、これまでに中間子交換模型やクォーク模型に基づくハイペロン核子間相互作用を用いたどの理論模型も支持しない大きさです。これらのパズルを解くために様々な研究が行われ、その結果、分析に用いられている歪曲波インパルス近似法に問題があることが指摘され、核反応模型の拡張が要求されました。具体的には、通常の核子反応に比べて強いエネルギー・散乱角度依存性を持つハイペロン生成素過程において、反応に寄与する標的内核子のフェルミ運動を取り入れる手法であるフェルミ平均法において運動学的制限(on-shell条件)が重要であることが指摘されました。on-shell条件を満たす模型である最適フェルミ平均法や半古典歪曲波近似法が提唱されハイパー核の生成スペクトルの再分析が行われました。しかしながら、最適フェルミ平均法ではスペクトルの大きさを再現することはできず、半古典歪曲波近似法ではスペクトルの大きさを再現することはできるが形状を十分に再現することができないために、両模型は十分なものではありませんでした。そこで我々は最適フェルミ平均法の利点である量子論的手法と半古典的歪曲波近似法の利点である素過程ポテンシャル効果を取り入れられている点に着目し、これら2つの模型の利点を取り入れた局所最適フェルミ平均法を提案しました。この局所最適フェルミ平均法を用いると量子論的な取り扱いと素過程のポテンシャル効果両方を取り入れることが可能になります。

最初に局所最適フェルミ平均法の正当性を確かめるために、 Λ ハイパー核の生成スペクトルに適用し検討を行いました。 Λ ハイパー核はポテンシャルの深さなどの性質(通常の核子の場合の $\sim 2/3$ 倍程度で30MeV程度の引力)がよく知られているためです。その結果、 Λ ハイパー核の生

成スペクトルはよく再現され局所最適フェルミ平均法の正当性を確かめることができました。

次に、KEK-E438 実験で測定された Σ^- 生成スペクトルの再分析を行いました。 Σ^- と原子核間のポテンシャルの関数形として、Woods-Saxon 型と Σ^- 原子データをよく説明する密度依存型ポテンシャルを仮定して分析を行いました。その結果、Woods-Saxon 型を用いた分析では実験で提案されているような強い斥力 (90MeV 程度) は必要ではなく、20MeV 程度の斥力が実験スペクトルをよく説明することを明らかにしました。この値は最近のクォーク模型やカイラル模型の示唆する値でもあります。また、密度依存型のポテンシャルを用いた分析では Σ^- バリオンの束縛領域周辺の再現性が良いことから密度依存型ポテンシャルの原子核表面付近における振る舞いの重要性が示唆されました。

さらに、近年稼働予定の J-PARC (大強度陽子加速器施設) において測定が予定されている Ξ^- スペクトルについて、いくつかの標的原子核を想定し局所最適フェルミ平均法による理論計算を行いました。その結果、これまでに提案されている Ξ^- 核間ポテンシャルを仮定の下で Ξ^- ハイパー核の束縛状態のピークは実験で考えられている分解能で十分同定可能であることを明らかにしました。

学位論文審査の要旨

主 査 准教授 大 西 明
副 査 教 授 加 藤 幾 芳
副 査 教 授 藤 本 正 行
副 査 教 授 岡 部 成 玄 (情報基盤センター)
副 査 准教授 布 施 泉 (情報基盤センター)

学 位 論 文 題 名

Analysis of the hypernuclear production spectra in a local optimal Fermi averaging t -matrix and hyperon-nucleus potentials

(局所最適フェルミ平均法によるハイペロン生成スペクトルの分析と
ハイペロン核間ポテンシャルに関する研究)

中性子星のコア領域等で現れる高密度状態ではストレンジネスを含む重粒子(ハイペロン)が混在すると考えられており、ハイペロン・原子核間のポテンシャルを決定することは高密度核物質のEOSを定量的に議論する上で必要不可欠である。

本論文において申請者は、従来用いられてきた直接反応モデルを拡張することにより、様々なハイペロン生成反応を束縛領域・連続領域にわたる広い励起エネルギー領域において分析し、ハイペロン・原子核間のポテンシャルについての理解を進めた。生成されるハイペロンのエネルギー領域が広く、またハイペロンが核内で感じるポテンシャルが核子のもものと大きく異なる場合には素過程の運動学が大きく変化するため、ポテンシャル効果を取り入れた運動学に基づく遷移行列を用いる必要がある。申請者はこの効果を取り入れて核子の運動量分布で平均した遷移行列(局所最適フェルミ平均 t -行列)を開発し、直接反応理論(歪曲波インパルス近似)に適用した。この枠組により様々なハイペロン生成反応の分析を行った結果として、束縛状態の分析から知られている Λ ハイペロン・原子核間のポテンシャルにより連続状態も記述できること、また Σ , Ξ ハイペロン・原子核間のポテンシャルが Woods-Saxon 型のポテンシャルを仮定すると 15 MeV 程度の斥力、および -14 MeV 程度の引力であることを示した。

これを要するに、著者は拡張した直接反応理論を用いてハイペロン生成スペクトルを分析することにより、ハイペロン・原子核間ポテンシャルについての理解を深めたものであり、分野の研究に対して貢献するところ大なるものである。

よって著者は、北海道大学博士(理学)の学位を授与される資格があるものと認める。