

Title	Study of Λ decay in nuclear medium based on chiral effective models(Abstract_要旨)
Author(s)	Sakai, Shuntaro
Citation	Kyoto University (京都大学)
Issue Date	2016-03-23
URL	https://doi.org/10.14989/doctor.k19492
Right	学位規則第9条第2項により要約公開
Type	Thesis or Dissertation
Textversion	none

京都大学	博 士 (理 学)	氏名	酒井 俊太郎
論文題目	Study of $\eta \rightarrow 3\pi$ decay in nuclear medium based on chiral effective models		
(論文内容の要旨)			
<p>本申請論文では核媒質中におけるイータ (η) 中間子のパイ (π) 中間子 3 体への崩壊反応、$\eta \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ および $\eta \rightarrow 3\pi^0$ についての理論的な研究が展開された。この崩壊過程はアイソスピン対称性の破れに起因する η 中間子と π^0 中間子の量子力学的混合のために起こると理解されている。また関係する物理過程はカイラル有効理論あるいはカイラル摂動理論を用いて記述することができる。</p> <p>本研究の出発点は、中性子数密度 ρ_n と陽子数密度 ρ_p が異なるアイソスピン非対称核物質中においては、外場としてのアイソスピン非対称性が η-π^0 混合度、したがって、上記の崩壊確率を増大させるであろう、という予想に基づいている。</p> <p>まず、非線形シグマ模型を基礎に中間子のエネルギーと運動量だけでなく、原子核密度 $\rho = \rho_n + \rho_p$ の効果も摂動的に取り入れる「媒質中カイラル摂動論」が適用され、非対称核媒質中での η と π^0 中間子間の混合角、及び η 中間子の 3π への崩壊幅が計算された。非対称度パラメータ $\alpha = (\rho_n - \rho_p) / \rho$ に対する依存性が詳しく調べられ、非対称度 α が大きく全核密度 ρ が小さいほど混合角が大きくなることが示された。崩壊幅は荷電粒子を含む場合の方が標準核密度で真空の場合よりも 2-3 倍、中性粒子のみへの崩壊の場合は 2 倍足らず増大することが分かった。全核密度の存在により、崩壊幅が混合角の変化に線形に付加的でしかも非対称性の効果を凌駕する大きい効果を被ることが見いだされた。本論文はこの付加的な効果の起源を同定し、それが純粋の媒質効果であることを明らかにした。そして、この効果は核媒質中でのシグマ中間子の振る舞いを通じてカイラル対称性の可能な部分的回復に関係していることを示唆した。</p> <p>次に、このカイラル対称性の部分的回復の効果に焦点を絞るため、シグマ中間子の自由度を頭わに含む線型シグマ模型を用いた対称核物質中での崩壊過程の解析が行われた。核媒質中での可能なカイラル対称性の部分的回復は、シグマ中間子の質量の減少、すなわち「ソフト化」として現象論的に取り入れられた。このソフト化により $\eta \rightarrow 3\pi$ 崩壊幅は最大で真空での値の4倍から10倍程度増大すること、その半分程度の低い密度においても数倍程度増大することが分かった。</p> <p>このことから、本論文では核媒質中での $\eta \rightarrow 3\pi$ の崩壊の解析は媒質中でのカイラル対称性の部分的回復を調べる上で有効であると結論付けた。さらに、$\eta \rightarrow 3\pi^0$ と $\eta \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ 崩壊への核密度の効果の違いが前者の終状態における同種粒子間のボーズ対称性およびシグマ中間子のソフト化の効果によって理解できることを示した。両者の密度依存性の違いは、それぞれもともと小さい崩壊幅の過程ながら、実験的に核媒質効果を検証する上で有用であることが強調された。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

陽子や中性子および中間子はハドロンと呼ばれ、その基礎理論は量子色力学(QCD)として確立している。その真空は温度や核密度あるいは磁場などの環境により変化し、それに伴い真空上の素励起としてのハドロンの性質も変化し得る。現実の QCD 真空はカイラル対称性の自発的破れを伴っている。原子核中でのハドロンの可能な変化を通じて、核密度の存在によるカイラル対称性の部分的回復を検証することが理論的にも実験的にも現在大きい興味を持って研究されている。

本論文では、イータ (η) 中間子の核媒質での 3 体崩壊反応、 $\eta \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ および $\eta \rightarrow 3\pi^0$ の真空からの変化を通して、核媒質中での QCD 真空の可能な変化を探る可能性が議論されている。ここに現れる中間子はすべて比較的質量の小さい擬スカラー型であり、近似的に QCD におけるカイラル対称性の自発的破れに伴う南部-ゴールドストーンボソンと同定することができる。そのため、酒井氏の解析ではカイラル有効理論あるいはカイラル摂動理論が適用されている。

本研究は、上記の崩壊過程はアイソスピン対称性の破れに起因する η 中間子と π^0 中間子の量子力学的混合のために起こることに注目し、中性子数密度と陽子数密度が異なるアイソスピン非対称核物質中においては、環境としてのアイソスピン非対称性が η - π^0 混合度ひいては上記の崩壊確率を有意に増大させるであろう、という卓抜なアイデアに基づいている。

まず、「媒質中カイラル摂動論」が適用され、非対称核媒質中での η と π^0 中間子間の混合角および η 中間子の 3π への崩壊幅が世界で初めて計算されている。アイソスピン非対称度が大きく、且つ、全核密度が小さいほど混合角が大きくなるとの結果が得られている。崩壊幅自体は荷電粒子を含む場合は標準核密度で真空の場合よりも 2-3 倍、中性粒子のみへの崩壊の場合は 2 倍足らず増大するという興味深い結果が得られている。しかもその詳しい解析は、この増大は混合角の変化に帰着されない全核密度の効果によるものであり、この効果はアイソスピン非対称度のそれを優に凌駕するという予想外の知見をもたらしている。申請者はこの付加的な効果の起源をカイラルダイナミクスの基礎理論から必然のものと同定し、しかもそれが純粋の媒質効果であって、核媒質中でのカイラル対称性の可能な部分的回復に関係している、という興味深い指摘を行っている。

その示唆は、申請論文の後半においてカイラル対称性の線型表現を基礎にした線型シグマ模型を用いた研究へと展開されている。そこでは可能なカイラル対称性の回復がシグマ中間子の質量の減少(ソフト化)として取り入れられている。そして、未だ不定の真空中でのシグマ中間子の質量の取り方に若干依存するものの、確かにカイラル対称性の部分的回復によりこの崩壊幅は標準核密度の半分程度においても真空中での崩壊幅の数倍程度増大することが示されている。さらに、申請者はこの二種の崩壊幅の密度依存性の違いの起源を理論的に明らかにしている。この違いは実験的な検証の上で有利である。

以上から、本論文は核媒質中でのQCD真空の可能な変化を探る研究上で新たな可能性を切り開いたものとして高く評価できる。

よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成28年1月15日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降