

【基盤研究(S)】 大区分B



研究課題名 高輝度陽子ビームによる原子核中での明確な中間子質量変化の実験的確立

高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・准教授

おざわ きょういちろう

小沢 恭一郎

研究課題番号： 20H05647 研究者番号：20323496

キーワード： ハドロン質量の起源、カイラル対称性、有限密度 QCD 媒質

【研究の背景・目的】

標準的なクォーク模型では、陽子はクォーク 3 個から構成される。しかし、その質量は単純なクォーク質量の和では理解できない。陽子が $938\text{MeV}/c^2$ の質量を持つものに対して、その内部にあるクォークは、元々はヒッグス機構によりたかだか数 MeV/c^2 程度の質量しか持たないからである。この質量差は、カイラル対称性の自発的破れにより陽子が動的な質量を獲得するためと理解されている。

この考え方は広く受け入れられた考え方であり、この機構を検証するために、これまでに様々な実験的な試みがなされている。しかし、実験的には、ハドロン質量が環境によって動的に変化するという直接的な証拠は得られていない。測定されたハドロン質量は常に真空中の値と一致し、動的な質量獲得という考えから予想される周囲の環境変化による質量変化が明確に捉えられた例は皆無である。この質量変化を実験的に不定性なく明確に測定する、というのが、本研究課題の目的である。

具体的には、クォークを多数含む有限密度 QCD 媒質である原子核において、中間子質量、特に ϕ 中間子の質量が明確に変化していることを示す。

【研究の方法】

本研究課題では、J-PARC ハドロン実験施設の一次陽子ビームラインと実験装置を完成し、先行実験で



図1 建設中の実験装置

得た統計の 30 倍、73000 個の ϕ 中間子崩壊事象を収集する。図1に建設中の実験装置を示す。

本研究課題で遂行する実験では、J-PARC MR 加速器からの高強度一次ビーム(30 GeV, 最大 0.5×10^{10} protons per second)を、標的起源の電子バックグラウンドを抑えるため物質質量を減らした極薄の原子核標的(放射長で最大 0.5%、鉛標的 $30 \mu\text{m}$)に照射し、 $1 \times 10^7 \text{ Hz}$ の反応レートに耐える検出器で大立体角をカバーする。そのために、GEM(ガス電子増幅器)

を用いた検出器を採用した。研究代表者を中心に開発した GEM 飛跡検出器と電子同定用のハドロンブラインド検出器(HBD、ガスチェレンコフ検出器の一種)は、本研究で目指す測定に対して十分な性能を持つ。

【期待される成果と意義】

図2で示すように、本研究で測定が期待される質量分布では、自由空間中での ϕ 中間子質量の位置とは異なる位置に原子核中での ϕ 中間子質量が新たなピークとして出現する。この新たなピークを捉えることが ϕ 中間子の質量が原子核中で明確に変化している証拠となる。

さらに、有限温度/密度の媒質中での質量分布の変化から核子内のストレンジクォーク・反ストレンジクォークの凝縮量 ($\langle \bar{s}s \rangle_N$) を評価する。これは、素粒子物性学的には、カイラル対称性の秩序変数である基本的な測定量であり、ダークマター探索の感度評価におけるパラメータでもある。

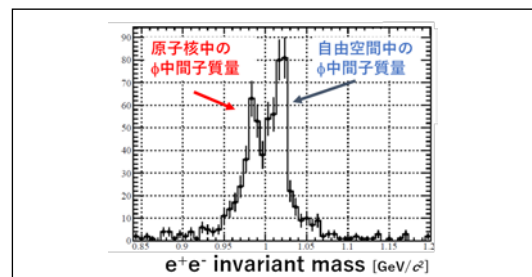


図2 期待される質量分布

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- “Development of a hadron blind detector using a finely segmented pad read-out,” K. Kanno *et al.*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Vol. A819, 20, 24, 2016
- “Observation of ρ/ω meson modification in nuclear matter,” K. Ozawa *et al.*, Phys. Rev. Lett. 86, 5019, 5022, 2001

【研究期間と研究経費】

令和2年度～6年度 149,800千円

【ホームページ等】

<http://high-p.kek.jp>
ozawa@post.kek.jp