



研究課題名 エータプライム中間子の原子核内光生成で紐解くハドロン質量の起源

東北大学・電子光理学研究センター・准教授

むらまつ のりひと
村松 憲仁

研究課題番号： 21H04986

研究者番号： 40397766

研究期間： 令和3年度～令和7年度 研究経費（期間全体の直接経費）： 149,400千円

キーワード： ハドロン質量の起源、 η' 中間子、原子核内光生成、カイラル対称性、 $U_A(1)$ 量子異常

【研究の背景・目的】

ハドロン粒子の質量は、真空の性質変化（カイラル対称性の自発的破れ）によって生じると考えられている。この質量獲得機構を実証し定量的に理解するため、カイラル対称性が部分的に回復する超高密度環境となっている原子核内において、ハドロン粒子の質量が減る現象を実験的に捉えることが重要な課題となっている。本研究では、 $U_A(1)$ 量子異常によって大きな質量を持つ η' 中間子に着目し、独自開発した高分解能大立体角電磁カロリメータ BGOegg で2個のガンマ線への崩壊を検出すると同時に、それらの不変質量分布を直接測定する。高エネルギー光子ビームの大強度化と電磁カロリメータ系の前方拡張によって高統計・低バックグラウンドの次世代実験を推進し、核内質量減少の確立と定量測定を目指す。

【研究の方法】

本研究は、SPring-8のLEPS2ビームラインにおいてBGOegg実験の既存セットアップをアップグレードして進める。光子ビームの大強度化においては、レーザーコンプトン散乱で用いる外部同期型高出力紫外パルスレーザーを整備し、SPring-8の電子ビームバンチのタイミングに合わせて入射することにより散乱効率を上げる。2台のパルスレーザーを導入し、同時並行入射で光子ビームの大強度化および収集データの高統計化を実現する。 η' 中間子を核内光生成する標的には、これまでのBGOegg実験で使用してきた炭素と比べて原子核半径が1.8倍大きい銅を用いる。単位面積当りの核内核子数を増やした上で標的厚を薄くすることができ、データの高統計化や質量分解能の向上も望める。

大立体角電磁カロリメータ系の整備は図1に示す通

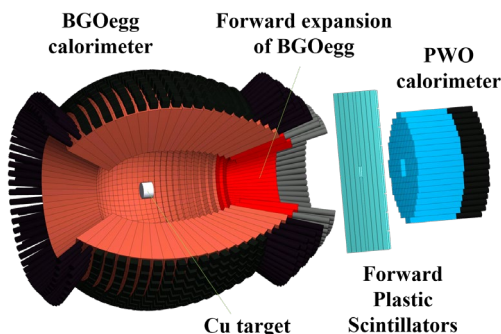


図1 本研究の実験セットアップ

り行う。銅標的の周り極角24～144度は、1320本のBGO結晶を卵型に組み上げた電磁カロリメータBGOeggで覆っており、1 GeVのガンマ線に対して世界最高のエネルギー分解能1.3%を達成している。本研究では、BGOeggの前方領域にBGO結晶を追加積層する他、PWO結晶252本で構成された別の電磁カロリメータで超前方を覆う。これにより、2個のガンマ線の不変質量分布を組む際にバックグラウンドとして混入する中性 π 中間子の多重光生成などを判別・低減できるようになる。不変質量分布の解析においては、核内崩壊の割合が増える低運動量領域を選び、質量分布形状の変化を高運動量領域と比較する。参照データとして、液体水素標的によるデータ収集も行う。

【期待される成果と意義】

炭素標的を用いたこれまでのBGOegg実験では、統計的有意度が不十分ながら核内質量減少の兆候が見られた。本研究では、光子ビーム強度がこれまでの倍近くなる5 MHz前後に増強される他、原子核標的厚も核内核子総数で約2倍になる予定である。電磁カロリメータ系でほぼ全立体角を覆うことにより、バックグラウンドは40分の1程度に減る。核内質量減少が実際にあれば、信号量に依存して数か月から2年程度のデータ収集で確認できることが期待される。原子核密度における η' 中間子の質量減少量を計算するハドロン有効モデルが幾つか提案されており、現時点で理論予想には幅がある。本研究による核内質量や崩壊幅の測定を通してハドロン描像に資する。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ N. Muramatsu, et al. (LEPS2/BGOegg Collaboration), “Differential cross sections, photon beam asymmetries, and spin density matrix elements of ω photoproduction off the proton at $E_\gamma = 1.3\text{--}2.4$ GeV”, Phys. Rev. C 102 (2020) 025201.
- ・ N. Tomida, N. Muramatsu, M. Niiyama, et al. (LEPS2/BGOegg Collaboration), “Search for η' Bound Nuclei in the $^{12}\text{C}(\gamma, p)$ Reaction with Simultaneous Detection of Decay Products”, Phys. Rev. Lett. 124 (2020) 202501.
- ・ N. Muramatsu, et al. (LEPS2/BGOegg Collaboration), “Measurement of neutral pion photoproduction off the proton with the large acceptance electromagnetic calorimeter BGOegg”, Phys. Rev. C 100 (2019) 055202.

【ホームページ等】

<http://www.lns.tohoku.ac.jp/~hadron/bgoegg.html>
mura@lns.tohoku.ac.jp