

氏 名	いし かわ たか つぐ 石 川 貴 嗣
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 2864 号
学位授与の日付	平 成 17 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	理 学 研 究 科 物 理 学 ・ 宇 宙 物 理 学 専 攻
学位論文題目	ϕ photo-production from Li, C, Al and Cu nuclei at $E_\gamma = 1.5 - 2.4\text{GeV}$ (入射エネルギー 1.5-2.4GeV に対する Li, C, Al, Cu 原子核での ϕ 中間子 光生成反応)
論文調査委員	(主 査) 教 授 今 井 憲 一 教 授 谷 森 達 助教授 斉 藤 直 人

論 文 内 容 の 要 旨

本申請論文は、原子核標的からの光 ϕ 中間子生成について研究したものである。量子色力学 QCD はカラーと SU(3)対称性の枠組みのもとで成功をおさめてきた。この QCD を記述するラグランジアンではクォークの質量を無視すればカイラル対称性が成立する。現実にはカイラル対称性は自発的に破れており、そのためハドロンを構成するクォークが質量を獲得すると考えられる。高温もしくは高密度の極限で起こるとされるクォークグルーオンプラズマ状態ではカイラル対称性は回復すると期待されている。その一方で前平衡過程である有限温度・有限密度の原子核中でもまたカイラル対称性は部分的に回復しており、原子核中での質量やその幅といった性質は真空中と異なる可能性が示唆されている。

これまで ϕ 中間子に対して QCD 和則や核媒質中での中間子・核子相互作用を使った計算により原子核中での質量減少や幅の広がりが見込まれてきた。しかしながら高エネルギー重イオン衝突実験や陽子ビームによる原子核標的での ϕ 中間子生成実験での K^+K^- あるいは e^+e^- 不変質量分布においてははっきりとした質量変化は観測されていない。 e^+e^- 不変質量分布には大きなバックグラウンドが存在し、 K^+K^- 不変質量分布は K^+N 相互作用により歪曲されるという欠点がある。最近 Cabrera らにより ϕ 中間子生成の A 依存性から原子核中の ϕ 中間子の性質の変化を導き出せるという報告がなされた。

自由空間での ϕ 中間子と核子の全断面積はベクトル中間子支配的モデル VDM の関係式より陽子標的での $E_\gamma = 4.6 \sim 6.7\text{GeV}$ の微分断面積から $7.7 \sim 8.7\text{mb}$ と評価されており、この値から原子核標的での ϕ 中間子の生成断面積の A 依存性がどうなるべきかは予測されるが、もし原子核中での ϕ 中間子の性質が変化にともない ϕ 中間子と核子の全断面積が変化すれば、予測とは違った A 依存性を示す。そこで核媒質中での性質の変化は生成される ϕ 中間子の運動量が低い方が影響を受けやすいので生成しきい値付近での原子核標的の ϕ 中間子光生成実験を行った。

原子核中での ϕ 中間子の性質の変化を調べるため、Li, C, Al, Cu を標的として SPring-8/LEPS において光生成された ϕ 中間子を測定した。LEPS では蓄積リングを周回する電子に紫外線レーザーを正面衝突させて後方コンプトン散乱を起こした散乱光子を高エネルギーガンマ線ビームとして使用している。1.5~2.4GeV のガンマ線が標識化される。

標的で生成された荷電粒子は LEPS スペクトロメータで検出し、運動量と飛行時間が測定された。 ϕ 中間子は崩壊してできる K^+ , K^- 中間子の不変質量により同定し、どの標的でも K^+K^- 不変質量分布において ϕ 中間子のはっきりと識別された。測定された質量と幅はどの標的でも自由空間での ϕ 中間子のものと一致していた。これは測定された ϕ 中間子の運動量分布が $1.0 \sim 2.2\text{GeV}$ でありほとんどの ϕ 中間子が原子核外で崩壊しているからだと考えられる。

ϕ 中間子の微分生成断面積を $d\sigma/dt = C \exp(-bt)$ でフィットしたときのスロープ b はどの原子核標的のものも水素標的で得られたスロープと一致していた。このことから ϕ 中間子は原子核全体ではなく原子核中の核子で生成されたものが支配的であると考えられる。しかしながら $\gamma A \rightarrow \phi X$ 反応での欠損質量 m_X の分布には標的原子核の質量 m_A 付近にもイベントが存在した。このことからわずかながら原子核全体で生成された ϕ 中間子が存在することがわかった。

原子核全体で生成された ϕ 中間子のイベントをバックグラウンドとして除去したあとの生成断面積の A 依存性は σ_A^∞

$A^{0.72 \pm 0.07}$ であった。また A 依存性から Glauber 型の多重散乱理論を使うことで ϕ 中間子と核子の全断面積を 35^{+17}_{-11} mb と評価した。この値は自由空間での ϕ 中間子と核子の全断面積よりずっと大きくこのことは核媒質中での ϕ 中間子の性質の変化を示唆している。

論文審査の結果の要旨

申請論文は、閾値近くでの ϕ 中間子の原子核標的からの光生成反応の実験研究に関するものである。QCD の重要な性質と考えられているカイラル対称性が真空中で自発的に破れた結果、核子や π 中間子が質量を獲得したと考えられている。高温高密度ではこのカイラル対称性が回復すると考えられているが、まだその証拠は実験的に明らかになっていない。通常の原子核密度でもこのカイラル対称性が部分的に回復し、 ρ や ϕ などのベクトル中間子の質量などが原子核中で変化するという理論的予言がなされている。しかしその実験的確認はいまだない。申請論文は、この問題にたいする新しい実験的アプローチとして評価できる。これまで ϕ 中間子の原子核標的からの光生成実験は 6-8GeV の高いエネルギーでのものが報告されているだけであり、カイラル対称性の回復とは関係ない領域である。申請者の実験は閾値からの低エネルギーでの測定であり、この問題との関連で意義があり、世界的にみてユニークなものである。

実験は Spring8 の貯蔵電子ビームにレーザーを打ち込み、コンプトン散乱で反跳生成される高品質の 1.5-2.4GeV の γ 線ビームを Li, C, Al, Cu の各標的にあて、生成される ϕ 中間子をその崩壊粒子である K^+ , K^- を電磁スペクトロメーターできわめてきれいに測定している。申請者はこの種のものでは世界最高エネルギーの γ 線ビームラインとスペクトロメーターの製作に参加し、特に高強度レーザーシステムや生成粒子の運動量を測定するためのかざとなるドリフトチェンバーの製作に大きく貢献しており、論文でも詳しくその詳細が報告されている。

測定された ϕ 中間子はその質量および幅については、真空中のそれと変わらず、核物質の影響はないようであるが、それは生成された ϕ 中間子の大部分が核物質の外で崩壊したためと考えられる。しかしその生成率の原子核質量数(A)依存性は、単純な予想とは大きく異なるものであることを明らかにしたことは高く評価すべきものである。

申請者はまず測定された ϕ 中間子について、その横運動量分布からその反応メカニズムが主として核子との incoherent な反応であることを明らかにした。その上で Glauber 近似を用いて incoherent な生成反応の断面積の A-dependence を求め、そこから ϕ 中間子の核内における減衰から ϕ 中間子と核子との全断面積を 35^{+17}_{-11} mb と求めている。これは世界ではじめての低エネルギーでの ϕ 中間子と核子との全断面積の測定として高く評価できる。さらにこの値はこれまでの常識的な値より非常に大きく、核物質中でのベクトル中間子の性質の変化を強く示唆するものとなっており、非常に注目される結果となっている。

申請論文ではこの結果にいたるまでの、さまざまな手法による検討が詳しく述べられている。Missing energy を使った coherent process の混入の評価や、最近の理論計算を用いての評価など、多くの検討を行い、得られた ϕ 中間子と核子との全断面積の結果が信頼できるものであることを論じており、解析方法について十分に検討された説得力のある論文として高く評価する。

なお論文の主な内容は Physics Letters 誌に公表されている。

よって、本申請論文は博士（理学）の学位論文に値するものと認める。

また主論文および参考論文に報告されている研究を中心として、これに関連した研究分野について口頭試問した結果、合格と認めた。