

BL33LEP レーザー電子光

1. はじめに

レーザー電子光 (LEPS) ビームラインでは、蓄積リングを周回する8GeVの電子ビームに紫外線レーザー光を散乱させることで高エネルギーガンマ線ビームを生成し、ハドロン物理の研究を行っている。実験では、GeVガンマ線ビームを陽子、重陽子等の標的に照射し、標的から発生するK中間子や陽子などの荷電粒子を双極電磁石スペクトロメーターで分析し、様々なハドロン反応を測定する。このスペクトロメーターはビームの進行方向に設置されており、超前方に生成される荷電粒子の測定に適しているのが特徴である。LEPSビームラインでは、このスペクトロメーターを用いた実験を2000年から開始し、これまで、陽子を標的としたK⁺中間子測定によるラムダ(Λ)粒子、シグマ(Σ)粒子生成反応の研究^[1]、さまざまな原子核標的を用いた中間子光生成反応の研究^[2]、5つ以上のクォークでなければ作ることの出来ないシータ(Σ⁺)粒子の探索^[3]などの研究を行ってきた。2004年度は、(1)タイムプロジェクトンチェンバー (TPC) を用いたハイペロン(Λ⁰)の光生成実験、(2)波長257nmレーザーを用いた2.9GeV LEPSビームの生成と⁻mesic nucleiの探索、等の研究が行われた。

2. TPCを用いたハイペロン(Λ⁰)の光生成実験

陽子に高エネルギーガンマ線を照射し、K⁺中間子(反ストレンジ・クォークを含む中間子)を発生させると、陽子をハイペロンと呼ばれるストレンジ・クォークを含む粒子に変えることが出来る。ハイペロンには質量の異なる状態(励起状態)がいくつも存在し、そのスペクトルの構造やそれぞれの励起状態の性質を詳しく調べることによって、「物質を構成する最小単位でありながら単独では観測が出来ないクォークから、どの様にバリオン(3クォークの集まり)やメソン(クォーク・反クォークの集まり)といった観測可能なハドロンが構成されるのか」という重大な問題を解く手がかりが得られる。

数ある励起ハイペロンの中でも、質量約1.4GeV/c²の(Λ⁰)は、最もその性質が目されている粒子の一つである。ハイペロンの励起スペクトルの系統性から考えると、(Λ⁰)粒子の質量は奇妙な値を取っている。そのため、3クォークの集まりとして(Λ⁰)の性質を理解するのは困難であり、バリオンとメソンの共鳴状態ではないかという議論がなされてきた。さらに理論計算によると、(Λ⁰)がそのような共鳴状態であるならば、(Λ⁰)が原子核中に作られた場合、(Λ⁰)の不変質量分布が大き

く変化してしまうことが予言されている^[4,5]。

以上のような理論的予言を実験的に確かめるためには、原子核(炭素、銅等)標的に高エネルギーガンマ線ビームを照射することで p K (1405) 反応によって (1405) を生成させ、(1405) 崩壊で発生した と の運動量ベクトルを測定することで不変質量を求める必要がある。粒子も n崩壊するため、結局は (1405) + -(- +) + -nチェーンで発生する2つの中間子を測定することになる。ところで、標的が陽子(水素)の場合は、反応前に標的陽子が静止しているため、K⁺中間子を測定するだけで、運動量とエネルギーの保存則を用いて(1405)崩壊を識別することが出来る。しかし、原子核中の陽子はフェルミ運動によって動き回っていて、反応前の運動量が分からないため、 と の運動量ベクトルを測定する必要があるわけである。また、(1405)と質量が近い(1385)ハイペロンが同時に生成されてしまうため、両者を区別しなくてはならない。これには、(1385)崩壊の終状態が主に 0 -pであることを利用し、(1405)との崩壊トポロジーの違いにより分離を行う。

以上の実験的要請を考えると、標的付近で発生する全ての荷電粒子の情報を記録する必要がある。しかし、これらの荷電粒子は前方以外の方向にも放出されるため、既存の前方スペクトロメータだけでは不十分である。そのため、横方向や後方にも大きな立体角を持つTime Projection Chamber (TPC) を新たに導入し、既存のスペクトロメータと併用することにした。このTPCは、直径約35cm、長さ70cmの円筒形の容器の中を飛行した粒子のトラックを数100μmの精度で測定できる性能を持っている。図1に

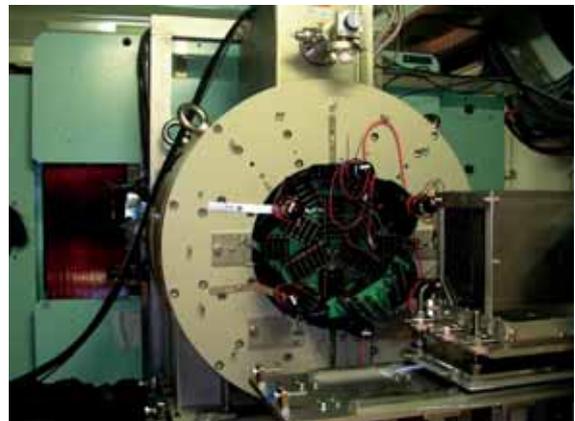


図1 BL33LEP実験ハッチ内に設置された超伝導ソレノイド電磁石とTPC検出器。後方に見えるのが双極電磁石スペクトロメーターである。

示す様に、TPCはガンマ線ビームの進行方向に軸を持つ超伝導ソレノイド電磁石の中に設置され、ソレノイド磁場中での荷電粒子のトラックの曲率から粒子の運動量を求めている。図2に、TPCで実際に測定された荷電粒子のトラックの様子を示す。すでに、前方スペクトロメータとTPCを併用したデータ収集は終了していて、現在は詳細な解析が進行中である。またこのTPCの汎用性を利用し、(1405)の生成実験以外の広い角度に多数の粒子が発生する反応についても、研究が発展しつつある。

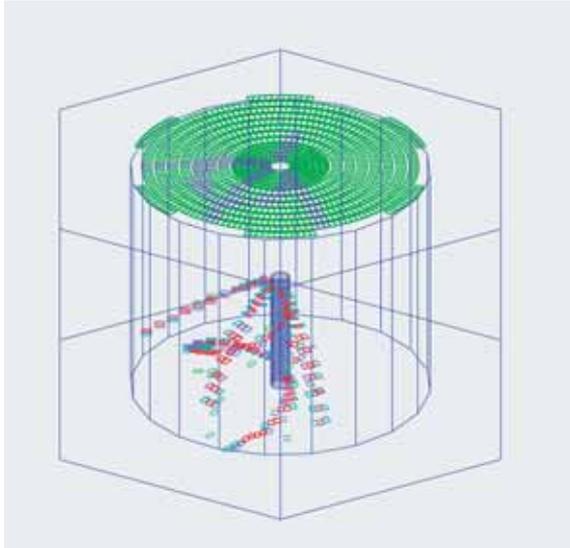


図2 TPC検出器で測定された荷電粒子の軌道の一部。ガンマ線ビームは円筒の中心軸を通っている。ソレノイド磁場によって、運動量の低い粒子がらせんを描くように飛行した様子が分かる。

そのままが入る(すなわち角運動量移行が0)反応断面積が大きくなる性質を利用している。 ^{12}C , p ^1B の場合、ガンマ線のエネルギーが2.75GeVのときに、運動量移行を小さくすることが出来るため、最適な実験条件となる。

これまでのLEPSビームは、波長が351nmのレーザー光を用いて生成され、最高のエネルギーは2.4GeVであり、 π -mesic nuclei探索実験に最適な2.75GeVに達していなかった。そこで2003年度に、波長266nmレーザーを使って約一週間のテスト実験を行い、ガンマ線の最大エネルギーを2.9GeVにまで拡張することに成功した。しかし、レーザーを長期に渡って安定的に使用することが出来ないという課題を残していた。そして2004年度に、波長257nmのレーザーを導入することで、初めて安定したビームの供給が可能になった。ガンマ線の強度は 0.2×10^6 毎秒程度であり、十分である。現在、この実験が進行中であり、必要な統計量を収集できる見込みである。

参考文献

- [1] R.G.T. Zegers, M. Sumihama, *et al.*: Phys. Rev. Lett. **91** (2003) 092001.
- [2] T.Ishikawa, *et al.*: Phys. Lett. B **608** (2005) 215.
- [3] T. Nakano, *et al.*: Phys. Rev. Lett. **91** (2003) 012002.
- [4] J.C. Nacher, E. Oset, *et al.*: Phys. Lett. B **455** (1999) 55.
- [5] V.Koch Phys. Lett. B **337** (1994) 7.
- [6] F.Kling, T.Weise and W.Weise : Nucl. Phys. A **625** (1999) 299.

大阪大学大学院理学研究科
清水 俊

3. 波長257nmレーザーを用いた2.9GeV LEPSビームの生成と π -mesic nucleiの探索

真空におけるQCDラグランジアンのカイラル対称性は、クォーク・反クォーク凝縮によって破れているが、高温や高密度下ではその対称性の回復が期待されている。さらに、原子核密度程度でもカイラル対称性は部分的に回復し、核内では中間子の質量が20%程度減少するという理論的な予言がある。この質量のずれは、核媒質内における中間子のセルフエネルギーの変化に起因する。さらにこのセルフエネルギーを、と核の間のポテンシャルに反映させてKline-Gordon方程式を解くと、と原子核の束縛状態(π -mesic nuclei)が存在することが導かれる^[6]。

LEPSグループでは、 π -mesic nucleiを ^{12}C , p ^1B 反応を用いて探索している。生成反応の運動量移行を出来る限り小さくして、核内に軟着陸させる方法を採用する。これは、ハイパー核生成やと原子核の束縛状態生成などでもよく用いられる手法で、弾かれたプロトンと同じ準位に