

BL33LEP

大阪大学核物理研究センター(レーザー電子光)

1. はじめに

大阪大学核物理研究センター・レーザー電子光グループ（山形大，東北大，甲南大，及び京都大等との共同研究グループ）は日本原子力研究所、及び JASRI と協力して、レーザー電子光を用いたクォーク原子核物理研究を目的とするプロジェクトを推進している^[1]。

レーザー電子光とは、レーザー光線が電子ビームによって跳ね返された結果得られる高エネルギー光ビームである。SPRING-8 の 8 GeV 蓄積電子ビームに 3.5eV（波長 350nm）の紫外レーザー光を正面衝突させることによって、最高エネルギーが 2.4GeV のレーザー電子光を得ることができる。レーザー電子光の発生には、極めて軌道の安定した大強度蓄積電子ビームが必要である。また、高いエネルギーのレーザー電子光を発生させるためには、電子ビームのエネルギーが高いことが本質的に重要である。このことは、これまで世界最高エネルギーを誇っていた 6 GeV の蓄積電子ビームを持つフランスの GRAAL 施設におけるレーザー電子光の最高エネルギーが 1.5GeV であり、2.4GeV の 6/8 より低いことから明らかである。レーザー電子光は波長が核子のサイズより短いため、核子を構成するクォークのふるまいを研究する上で優れたプローブである。さらに加えて、(1)直線及び円偏光したレーザー光を用いることにより、簡単にスピン偏極した高エネルギー光ビームを得られること、(2)原子核・素粒子実験にとってバックグラウンドの源となる低エネルギー（～100MeV 以下）の成分が光ビーム中に極めて少ないこと、(3)光ビームの指向性がよく、超前方の測定に適したコンパクトな検出器系が使用できること等の特徴を有している。

2. 励起ハイペロンの光生成

すべての物質はクォークと呼ばれる素粒子によって構成される。そのうち 3 個のクォークにより構成される粒子をバリオン、1 個クォークと 1 個の反クォークで構成される粒子をメソンと呼んでいる。陽子は 2 個の u クォークと 1 個の d クォークからなる代表的なバリオンである。

高エネルギーのレーザー電子光を陽子に照射すると通常物質中には存在しないストレンジ・クォーク（s クォーク）を含む粒子（ハイペロン）を生成することができる。BL33LEP では質量が約 1.6GeV までの励起ハイペロン（クォークが基底状態でないハイペロン）を生成し、その性質を調べることができる。

3. (1405) 生成実験

励起ハイペロンの中でも最もその性質が注目されている

のが (1405) と呼ばれる 1.4GeV（陽子の約 1.5 倍）の質量をもつ粒子である。その理由は、(1405) の質量が様々なクォークモデルで説明できないことによる。そのため (1405) は純粋な 3 クォーク状態ではなく、バリオンとメソンの分子共鳴的な状態ではないかという理論が提唱されてきた^[2]。(1405) の共鳴状態を作るバリオンとメソンの組み合わせには様々な物があり、理論では、この組み合わせの違いで (1405) 共鳴スペクトルの形が異なるとの予測がなされている。実験では、(1405) が $\Lambda^+ \text{バリオ}$ と $\Sigma^- \text{メ}$ の組み合わせに崩壊する場合と、崩壊粒子が正反対の電荷を持つ $\Sigma^+ \text{バ}$ の組み合わせの場合を測定し、これらの崩壊チャンネルの違いによって共鳴スペクトルが実際に異なる形状を示すかどうかを調べる事で、(1405) の分子共鳴的な描像が正しいかどうかを検証する。

実験は最高エネルギー 2.4GeV のレーザー電子光を長さ 5 cm の液体水素標的に照射し、標的から放出される K^+ メソンを標的の前方に設置されたクォーク核分光装置で測定する。この反応で、標的の陽子は K^+ を放出する事でハイペロンに変化しており、入射したレーザー電子光の運動量と放出された K^+ の運動量から、図 1 の様に生成されたハイペロンの励起スペクトルが得られる。この励起スペクトルでは (1405) のピークは (1385) のピークと重なっており、(1405) だけを区別する事ができない。そこで、 K^+ と同時に、(1405) の崩壊粒子である Σ^- 又は Σ^+ を測定し、その運動量から、崩壊の組み合わせが $\Lambda^+ \Sigma^-$ 又は $\Sigma^+ \Sigma^+$ である様な反応を選び出す。それぞれの崩壊チャンネルに対するハイペロンの励起スペクトルを図 2 に示す。(1385)

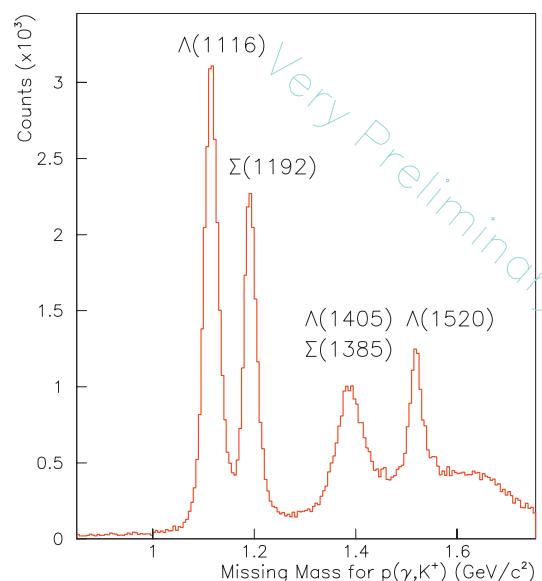


図1 ハイペロンの励起スペクトル

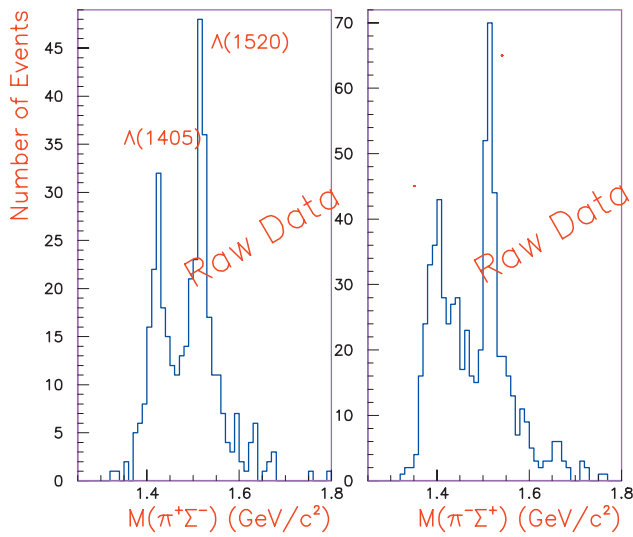


図2 崩壊モードのハイペロンの励起スペクトル

は $\Lambda(1405)$ ではなく、 $\Lambda(1520)$ に崩壊する確率が高いため、このスペクトルでは $\Lambda(1385)$ の寄与が抑制されている。この崩壊粒子の電荷の違いに対し、励起スペクトルの様子を調べることによって、 $\Lambda(1405)$ の性質を調べることができる。

4. 原子核中での $\Lambda(1405)$ 生成実験にむけて

$\Lambda(1405)$ の分子共鳴的な描像が正しいとすると、原子核中では $\Lambda(1405)$ の性質が大きく変化すると考えられている。そこで我々は原子核を標的にして $\Lambda(1405)$ の生成反応を測定するために、Time Projection Chamber (TPC) と呼ばれる検出器を建設し、現在テストを行っている。水素を標的にした場合は、標的から放出された K^+ 及び $\Lambda(1405)$ を測定することと、標的の陽子が静止しているという条件を用いて $\Lambda(1405)$ が $\Lambda(1520)$ に崩壊した事象を選ぶ事が可能であった。しかし、原子核中の陽子は運動をしているため、原子核中に $\Lambda(1405)$ を生成し測定するためには直接 $\Lambda(1405)$ の崩壊粒

子を検出しなくてはならない。 $\Lambda(1405)$ の崩壊によって生じた粒子は、数 cm 程度飛行した後に $\Lambda(1520)$ と中性子に崩壊する。BL33LEP で開発中の TPC は直径 35cm、長さ 70cm の円筒形をしており、超伝導ソレノイド電磁石の中に設置される。反応によって発生した荷電粒子は、ソレノイド磁場によって曲げられながら円筒の中を飛行するが、TPC はその軌跡を数 100 μ m の精度で測定することが可能である。現在テスト中の TPC の写真を図 3 に示す。

釜山国立大学校 安 鉦根
大阪大学 堀田 智明
中野 貴志

- [1] T. Nakano and et al. : Nucl. Phys. A684 (2001) 71.
- [2] J. C. Nacher, E. Oset, H. Toki and A. Ramos : Phys. Lett. B 455 (1999) 55.



図3 タイムプロジェクションチェンバー (TPC)