

BL33LEP レーザー電子光

1. 実験等の実施概要

BL33LEPでは、紫外線レーザーを蓄積リング中の8GeV電子によって逆コンプトン散乱させて、 10^9 倍程度に高いエネルギーを持つガンマ線(レーザー電子光)を生成している。ガンマ線のエネルギーとビーム強度は、逆コンプトン散乱における反跳電子を検出して測定している(タギング検出器)。生成したガンマ線ビームは陽子などの標的に照射してハドロンの光生成を行い、主にストレンジネスを含むハドロンの相互作用を研究している。光生成反応によって生じた荷電粒子は前方スペクトロメーターで検出して四元運動量の測定を行っており、物理プログラムによっては側方領域を覆うタイム・プロジェクション・チェンバーを組み合わせている。

2005年度前期は、BBO結晶を用いた二次高調波生成によって257nmの短波長を実現している深紫外レーザーを電子蓄積リングに入射して、ガンマ線の最高エネルギーを3.0GeVまで引き上げ、炭素原子核またはポリエチレンの標的に照射する実験を行った。 0.2×10^6 個/秒のガンマ線ビーム強度で3ヶ月のデータ収集を行い、 ω 中間子の原子核束縛状態^[1]の探索などを狙っている。2005年度後期は、通常用いている波長351nmのアルゴン・レーザーの入射に戻して最高エネルギー2.4GeVのガンマ線ビームを生成し、液体水素標的に照射してデータ収集を行った。ガンマ線ビームの強度は、最も良い条件下で 1×10^6 個/秒であった。また、物理データを収集するほかに、ガンマ線ビーム強度増強のための開発を進めた。ある決まった実験セットアップで物理データの長期収集を行うには半年から1年程度の期間が必要であるが、エキゾチック粒子の探索など反応



図1 BL33LEPレーザーハッチ内に設置された2台の新モードロック・レーザー

断面積が比較的小さい物理モードの解析を行うには、ビーム強度の増加が必要である。具体的には、干渉現象を利用して入射レーザーの集光領域を伸ばし、電子ビームとの衝突範囲を広げる長距離伝搬非回折ビーム^[2]、2台のレーザーを蓄積リングに同時入射してビーム強度を倍増させる光学系の検討・テスト実験を行った。特に、後者の2レーザー入射に大きな進展が見られたので、以下にその現状と展望を述べる。

2. 2レーザー入射

レーザー光源としてコヒーレント社製のモードロック・レーザー「Paladin」を2台導入した(図1参照)。固体レーザー出力を三次高調波結晶に通すことにより、波長は355nmになっている。80MHzのパルス・レーザーで、2レーザー入射による干渉効果を避けている。また、擬似CWレーザーとして考えられるので、電子ビーム側のパンチ・フィリング構造の影響が小さいと期待される。1台当りの出力は8Wで、これまで使用してきたアルゴン・レーザーの出力の1.3倍程度である。実際に、新モードロック・レーザーを1台のみ入射した結果、 1.4×10^6 個/秒までガンマ線ビーム強度を更新することができた。また、パルス・レーザーであることの影響が小さいことも確認された。

レーザーの出力は、波長板を通して偏光の制御をした後、28倍または12倍のビーム・エキスパンダー(望遠鏡)を通してビーム径を拡大し、36m先の電子蓄積リング直線部で集光している。光軸の制御は、平行移動が可能のように2枚の鏡を使って行い、ステッピング・モーターで動作させている。これらの光学系は2台のレーザーそれぞれに対して整備し、最終的に直角プリズムの2側面で反射させて、両光軸が電子蓄積リングへ向かうようにしている(図2参照)。光軸調整をできるだけ2つに分けることにより、36m先の電子ビームとの衝突点を探しやすくした。

重要なポイントは、実際に2レーザー入射によってガンマ線ビーム強度をどれだけ上げられるかを確認することである。まず、上記の2レーザー入射のための光学系を用いて1台ずつ入射した時の強度は、それぞれ 1.0×10^6 個/秒、 0.6×10^6 個/秒であった。ここで、1レーザーのみを真空チェンバー入射口の中心に入射した場合のガンマ線ビーム強度(1.4×10^6 個/秒)よりも下がったのは、BL33LEPビームライン途中の真空チェンバーの構造がレーザー光の通過可能範囲を制限しているためである。エキスパンダーで広げたレーザーを入射口で直径40mmの円内に収めなくて

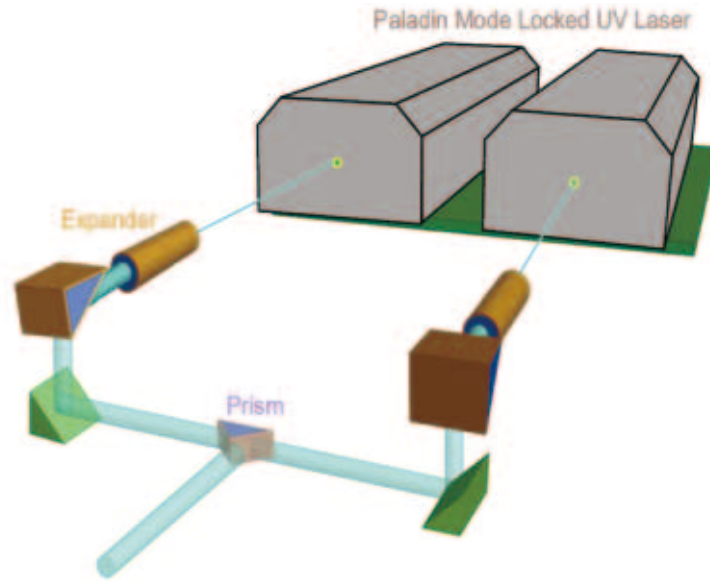


図2 2レーザー入射光学系の概念図

はならず、2レーザー入射する場合はひとつ当りの直径が20mmに制限される。反対に、電子ビームとの衝突点で十分な集光(1/e²直径で0.5mmのオーダー)を得るには、エキスパンダーでレーザー径を大きく広げる必要があり、新レーザーに28倍のエキスパンダーを使った場合は真空チェンバー入射口での直径が28mmになる。よって、現実的には何割かのレーザー光が途中で遮断されてしまうことになる。また、一方のレーザーによるガンマ線ビーム強度が低い(0.6×10⁶個/秒)のは、エキスパンダー倍率の違いや、光学系の調整機構が不十分であったことなどのためである。以上のような1台ずつの入射に対し、2台同時に入射した場合の強度は1.5×10⁶個/秒であった。タギング検出器の不感時間を考慮すると、得られたガンマ線ビーム強度が1台ずつ入射した場合の和になっており、2光束の干渉の影響が実際に小さいことが確かめられた。2台のレーザーを用意することにより原理的には2倍のビーム強度が期待できるが、ビームライン構造による制約やエキスパンダーを含めた光学系の不十分さから、現時点で2レーザー入射によるゲインは小さい。ビームライン構造の改造は難しいが、今後早急に光学系の改良を進めて1.5倍程度の強度増加を達成する予定である。

3. 今後の展望

BL33LEPにおけるレーザー電子光実験は、5クォーク粒子と考えられる Θ^+ の証拠を世界に先駆けて報告した^[3]。その存在を確立するために、液体重水素標的を用いた光生成実験を行ってデータ解析を続けている。 $\gamma d \rightarrow \Theta^+ \Lambda$ (1520) 反応による生成が起こっている新しい示唆を得つつある^[4]が、生成粒子検出のアクセプタンス領域が異なる他実験で否定的な結果^[5]が報告されたこともあり、統計精度をさらに上げる必要が出てきた。データ収集には半年から一年の

時間が費やされるので、2レーザー入射によってガンマ線ビーム強度を上げることが非常に重要となっている。すでに検出器系のセットアップを以前と同じにした上で、2レーザー入射を組み合わせたデータ収集を始めており、しばらく継続する予定である。

また、現在のレーザー電子光実験グループを中心として、SPring-8の新しいビームラインにおいて逆コンプトン散乱施設を建設することを提案している。現ビームラインは、既に述べたように、内部構造によって周辺部分を通るレーザー光は遮断されており、2レーザー入射による強度向上の効率が落ちている。新ビームラインではこのような遮断が起こらないように改良して、2台以上のレーザーを同時に入射することを目指す。新しい施設では、全立体角を高分解能スペクトロメーターと光検出器で覆う新検出器系を大強度のガンマ線ビームと組み合わせる他、アンジュレーターからのX線をSPring-8に再入射して、最高7GeV程度の高エネルギーガンマ線を生成する計画も検討中である。これらの計画によって、これまで測定できてこなかったアクセプタンス領域やエネルギー領域において Θ^+ 探索を行うことなどが期待される。

参考文献

- [1] E. Marco and W. Weise : Phys. Lett. **B502** (2001) 59.
- [2] T. Aruga : Appl. Opt. **36** (1997) 3762.
- [3] T. Nakano, *et al.* : Phys. Rev. Lett. **91** (2003) 012002.
- [4] N. Muramatsu for the LEPS Collaboration : Proceedings of DIS 2006 (will be published from World Scientific).
- [5] B. Mckinnon, *et al.* : hep-ex/0603028.

大阪大学 核物理研究センター
村松 憲仁