

世界初、新型粒子識別装置で拓く ルミノシティフロンティア物理

SATテクノロジー・ショーケース2014

■はじめに

KEKB加速器は、電子・陽電子衝突型加速器であり、世界最高のルミノシティを達成し、B中間子と呼ばれる特殊な粒子を大量に生成し、世界最大量のデータを蓄積した。そのデータを使って、世界で初めてB中間子と反B中間子の振る舞いの違い(CP対称性の破れ)を発見し、2008年の小林・益川両博士のノーベル物理学賞の受賞に貢献するなど、大きな成果をおさめた。その成果と加速器技術をもとに、KEKB加速器の性能をさらに40倍に高度化するSuperKEKB計画が2015年初頭の運転を目指して、加速器の改造が進行している。実験測定器(Belle II)も、世界で初めての新型粒子識別装置(TOPカウンターやARICHカウンターと呼ばれる検出器等)を開発し搭載するなど、大幅な改造により格段に性能を上げた測定器を建設中である。これによりこれまでの記録を更新する世界最高の加速器による世界最大のデータが得られ、宇宙初期に起ったと考えられる新しい物理現象の発見や宇宙における反物質消滅の謎の解明を目指している。

■活動内容

1. SuperKEKB加速器

ナノビーム法と呼ばれる画期的な方法を世界で初めて採用し、これまでのルミノシティの世界記録の40倍の更新を目指す。これは、衝突点でのビームのサイズを約50nmに絞って衝突させるもので、最先端の加速器技術を駆使する。すでに、設計は完成しており、現在は電磁石などの部品の生産および据え付けが進行中である。

2. Belle II 測定器

加速器の高度化に対応して、測定器も大幅に改造し性能アップを図る。特に、電磁カロリメータの内側の検出器を全面的に新しい検出器に置き換える。加速器のビーム強度が上がるので、ビームに付随する粒子に対する雑音耐性が非常に高い検出器が必要となる。また、データレートが格段に増加するので、高速のデータ読み出しエレクトロニクスおよびデータ処理能力が必要となる。これらの開発・設計および生産が進んでいる。中でも、粒子の識別は、非常に重要であり、世界で初めての検出装置を開発し、搭載することにより、性能アップを図っている。

3. TOPカウンター

ビーム軸に対して大きな角度(中央部)に出た粒子の識別は、TOP(Time Of Propagation)カウンターにより行なう。
・構造:図1に示すように、幅40cm、長さ2.5m、厚さ2cmのクォーツ結晶板の片側に集光ブロックおよび光検出器を配置したものである。他方の端には反射鏡を置く。これを直径約2.3mの筒状に16枚並べてビーム軸の周り全体を覆うように配置する。

・光検出器:時間分解能および位置分解能に優れているマルチチャンネルプレート光電子増倍管を使用する。時間分解能は約30ピコ(1兆分の一)秒である。

・粒子識別の原理:図1に示すようにクォーツ板を通過した荷電粒子(π やK粒子)は、チェレンコフ光を出す。粒子によって光の放出角度が異なる。そのため、端に置かれた光検出器の検出位置(幅方向X)と検出時間のパターンが、 π 粒子とK粒子で異なる。この微妙な違いにより、 π 粒子とK粒子を識別するのがTOPカウンターである。このような原理により粒子識別を行なう検出器は世界で初めてである。

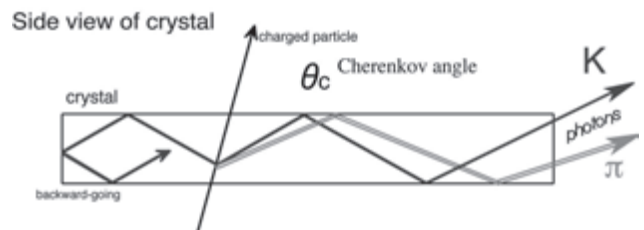


図1:TOPカウンターの概念図とクォーツ結晶板の写真

代表発表者 足立 一郎(あだち いちろう)

所属 高エネルギー加速器研究機構
素粒子原子核研究所

問合せ先 〒305-00801 つくば市 大穂 1-1

TEL: 029-864-5603 FAX: 029-864-5340

ichiro.adachi@kek.jp

■キーワード: (1) 新型粒子識別装置
(2) ルミノシティフロンティア
(3) B ファクトリー

SATテクノロジー・ショーケース2014

・開発項目:

- ①クォーツ板の精密加工。表面の滑らかさ、面の角度。
 - ②光検出器の時間分解能、効率検出、放射性耐性。
 - ③クォーツ板と集光ブロックなどの光学的接続。
 - ④クォーツ板の機械的支持機構。たわみの最小化。
- ・現在の状況: 上記の項目について、業者との共同開発および協力により実機の生産に向けて進んでいる。

4. ARICHカウンター

ビーム軸前方向に出た粒子の識別は、ARICH(Aerogel Ring Image Cherenkov)カウンターにより行なう。

・構造: 図2に示すように、エアロゲル板を置き、その前方約20cmの位置に光検出器を配置したものである。エアロゲル板と光検出器は、測定器の前方に外径230cm、内径84cmのドーナツ部分を覆うように配置される。

・光検出器: 位置測定精度がよく、広い面積をカバーすることができるハイブリッド型アバランシェ光検出器(HAPD)を使用する。最先端の半導体光検出器技術と光電子増倍管技術を融合したものである。

・粒子識別の原理: エアロゲル板を通過した荷電粒子(π やK粒子)は、TOPと同様にチェレンコフ光を出す。屈折率が小さい(約1.05)ため、図2のように板を通過し、光検出器で検出される。検出された光は円を描くが、粒子により光の放出角度が異なるので円の直径が異なり、その違いにより、 π とK粒子を識別する。

・エアロゲルを使った粒子識別は、前Belle測定器も含めこれまでにないが、1.05という高屈折率をもつエアロゲルを用いて、円の直径を測ることにより識別するものは世界で初めてである。これにより識別性能を上げることができる。

・開発項目

①透明度がよく、大型で、高屈折率のエアロゲル板の開発。特に、割れ目のない板が必要。また、生産されたエアロゲルの屈折率が均一であること。

②放射線耐性が強く、安定して動作するHAPDの開発。

・現在の状況: KEKでは長年にわたって、業者と共同で疎水性のエアロゲルの開発を行なっており、新しい製造方法の開発も行なってきた。確立された方法により、生産が始まりつつある。HAPDも同様に長年の開発を終え、量産にはいっている。

■ ルミノシティフロンティア物理

CP対称性の破れに関する小林・益川理論の証明およびLHCによるヒッグス粒子の発見により、素粒子の「標準理論」は基本的に完成したといえる。しかし、暗黒物質や宇宙の反物質消滅の謎など、「標準理論」では説明できない現象があり、この世界には未知の新しい物理法則があることは明らかである。新しい物理の現象を発見し、その法則を解明することが素粒子物理学の次の目標であり、様々な試みが始まっている。

その中でルミノシティフロンティアによる新物理の探索は、LHCやILCによるエネルギーフロンティアとともに両輪をなす。SuperKEKBでのBelle II実験では、世界最高のルミノシティ加速器により、未曾有の大量のクリーンなB中間子や τ ・チャームのデータを使って、稀な崩壊現象を精密に測定することにより、崩壊に介在する新物理の素粒子を「見る」ことができる。LHCでも生成できない重い粒子も量子効果により「見る」ことができる。物理結果として

- ・BやDでの新しい物理によるCP対称性の破れの発見
 - ・標準理論では起きないBや τ の崩壊の発見
 - ・Bの τ を含む崩壊による荷電ヒッグス粒子の探索
- などが期待される。

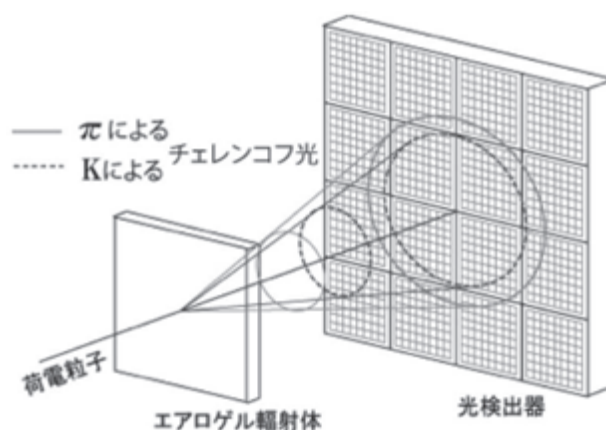


図2: RICHカウンターの概念図