APSに置けるガス制動放射線測定論文のまとめ

平成10 年 11 月 26 日

1 概要

制動放射光は電子蓄積リング内で、真空蓄積リング内の残留ガス、あるいは蓄積リングの成分とビーム粒子である電子が相互作用を起こすことで、生成される。

蓄積リングのストレートラインでは、それらの相互作用の結果ビームライン上を通る非常にmonodirectionalな光子となる。蓄積される電子エネルギーが7GeVにもなるAPSでは、挿入装置の入った15.38mのストレートラインから生成される光子は重要になる。この論文では鉛ガラスカロリーメータを使って挿入装置ビームラインからの制動放射線測定の結果を表している。

1本が6.3cm×6.3cm×35cmの鉛ガラスを25本を用意し、5×5に重ねて使用した。そのカロリーメータのキャリブレーションは観測される制動放射線の最大値を使って行なった。放射される全エネルギーと制動放射線のスペクトルは電子、陽電子両方のからのビームカレントの関数として測定された。ストレートラインの真空は連続的にモニターし、蓄積リング内の残留ガスの性質を決める測定がなされた。測定された制動放射のスペクトルは、だいたい1/Eに従う関数でフィトした。

アンジュレータの挿入された15.38mのストレートラインからの制動放射線の割合は、60.0±2.0GeV/s/nT/mAと測定された。残留ガス分子以外からの制動放射線の寄与が観測された。実験の間に観測された最大制動放射線エネルギーは、369.0±22.0GeV/s/nT/mAである。

2 序論

2.1 電子蓄積リングからの制動放射線

制動放射線は荷電粒子が、原子中の核と電子のクーロン場と非弾性的相互作用のために力を受けた時に放射される。荷電粒子はその過程で軌道をそれ、放射光にその運動エネル

ギーを分け与える。放射光のエネルギースペクトルは 0 から荷電粒子の初期エネルギーの範囲となる。制動放射線の微分断面積は、物質の原子番号の 2 乗に比例し、非相対論的な荷電粒子であれば、粒子の質量に反比例する。しかし、粒子の速度が相対論的な値に近ずくと、質量の依存性は減少する。電子以外の荷電粒子による制動放射線の生成は、それらの粒子が相対論的な速度を持たない限り、簡単には検出はされない。

入射電子のエネルギーが E、物質の原子核の電荷が Ze、放出される光子のエネルギーが $\mathrm{E}\gamma \sim \mathrm{E}\gamma + \mathrm{dE}\gamma$ の間の時の微分断面積 $\mathrm{d}\sigma$は

$$d\sigma = \sigma_0 B(Z, E_\gamma/E) Z^2 \frac{(E + m_0c^2)}{E} \frac{dE_\gamma}{E_\gamma} (cm^2/nucleus) \tag{1}$$

ここで、$\sigma_0 = \frac{1}{137} e^4/m_0^2c^4$、$m_0c^2$は電子の静止質量である。しかし制動放射の包括的な式は、まだない。

APS には、200MeV の電子線形加速器と陽電子変換ターゲット、450MeV 陽電子線形加速器陽電子蓄積リング、7GeV の電子、陽電子蓄積リングがある。APS のストレートライン (15.37m) からの制動放射線のエミッションアングルは $73\mu\mathrm{rad}$ である。

3 実験のセットアップ

だいたい APS のストレートライン (15.37m) からでる制動放射線光子の数は、1.2×10^5 である。

3.1 鉛ガラス

鉛ガラスの放射長 (X_0) は 2.6cm で、重量比は PbO が 50.8%、$\mathrm{SiO_2}$ が 41%、$\mathrm{K_2O}$ が 7%である。エネルギー分解能は、$5-10\%/\sqrt{E_\gamma}$である。レスポンス時間は 20ns である。縦の長さは、だいたい $20\mathrm{X_0}$(52cm) で 100%の電磁シャワーを吸収できる。モリエール半径は 3cm なので、直径が 30cm あれば完全に吸収することができる。

制動放射線の測定に使用した鉛ガラスは 1 本 $6.3\mathrm{cm}\times6.3\mathrm{cm}\times35\mathrm{cm}$ $(13.5\mathrm{X_0})$ で 25 本の鉛ガラスを 5×5 に重ねて測定した。LED を各鉛ガラスの前方の面の真中に取り付け、ゲインと安定性を調べるために使用した。ビームラインを真中の鉛ガラスの中心に来るようにセットした。挿入装置はバックグラウンドを減らすために最大限に開いて行なった。しかし上流、下流の Bending magnet からのバックグラウンドは残っている。この magnet からの放射光のエネルギーレンジは、0 ~ 500keV である。この放射光を削除するために、カロリーメータの前方に厚さ $6\mathrm{mm}(0.5\mathrm{X_0})$ の銅板を設置した。

4 Data acquisition system

中心の鉛ガラス以外は、attenuator、delay を通して ADC に送られている。中心の鉛ガラスからのシグナルを divider で分け、片方を ADC におくり、もう片方を discriminator を通して、ADC のゲートに使っている。スケラーは clock(S1)、divider out(S2)、ADC gate(S3) を記録した。ADC は 11bit で、8.5μsec˜である。