2.4GeV $\gamma A \to \sigma A \to \pi^0\pi^0 A$ 反応検出における ターゲットからの電磁シャワーの影響について

松村 徹

平成 11 年 3 月 1 日

SPring-8 で予定されている σ 中間子探索の実験では、Primakov effect を介して σ を生成させる反応、即ち $\gamma\gamma \to \sigma \to 2\pi^0 \to 4\gamma$ を検出する方法が提案されている。
σ 生成の微分断面積が超前方 ($|t|$ <0.02GeV^2) でしか値を持たないため、反応の終状態である 4 γ の放出角は、LAB 系で 5^o付近にピークを持つ前方に偏った分布をする。このため、γ 検出器は入射ビーム方向に対して 1^o程度まで覆わなければ、実験を行なう上で十分な acceptance が得られないことがシミュレーションにより明らかになった。

表 1 に予想される反応の収量を示す。この表から分かるように、得られるイベント数はかなり少なく、さらに前方まで検出器で覆うため、入射 γ ビーム (2.4GeV) がターゲットで生じさせる電磁シャワーの影響が懸念される。

本レポートでは、EGS4 シミュレーションコードを用い、シャワー発生の断面積および生成率を計算し、さらにターゲットで生成する e^+e^-、および制動放射による γ の放出角度とエネルギーの分布も求めた。

σ Mass Region(MeV/c^2)	event rate (event/day/100MeV)
270-350	280 (per 80MeV)
350-450	110
450-550	24
550-650	3
650-750	0.2

表 1: Pb ターゲットに対する $\sigma \to \pi^0\pi^0$ イベントの収量。検出器の acceptance は理想的に 100%である。

1　ターゲットにおける電磁シャワーの生成率

ターゲット原子核は Pb と Cu を想定し、厚さはそれぞれ放射長の 0.1、0.2、0.05 倍についてシミュレートした。

計算のヒストリー数は 100000 回で、これは実際のレーザー逆コンプトンビームでは 0.1(sec) の光子数に相当する。

以下にシミュレーション結果を示す。

History 数：100000

target	thickness	reaction event	cross section (b)
Pb	$0.05\mathrm{X}_0$	3634	40.0
	$0.1\mathrm{X}_0$	7261	40.7
	$0.2\mathrm{X}_0$	13883	40.4
Cu	$0.05\mathrm{X}_0$	3692	6.17
	$0.1\mathrm{X}_0$	7208	6.13
	$0.2\mathrm{X}_0$	13957	6.16

ここで、反応イベントとは各ヒストリーのうちシャワーを発生させたものであり、断面積はこのイベントとヒストリー数、および原子核数密度から得られたものである。

またベーテらによれば、入射光子のエネルギーが $E_\gamma \gg 137 m_e c^2 Z^{-1/3}$ を満たすとき、電子対生成の断面積は、次のように表される。

$$\sigma_P = 4 r_e^2 \alpha Z^2 \left[\frac{7}{9} \ln \left(\frac{183}{Z^{1/3}} \right) - \frac{1}{54} \right] \tag{1}$$

この計算の結果、

$$\begin{aligned} \text{Pb に対して} &\quad : \quad 45.1(\mathrm{b}) \\ \text{Cu に対して} &\quad : \quad 6.16(\mathrm{b}) \end{aligned}$$

となる。Pb に対して若干値が異なるのは、式 (1) がボルン近似を仮定しているためで、Z が大きいもの、特に Pb に対しては 10%程計算値よりも小さくなることが報告されている。従って、EGS による断面積の評価はかなり信頼できるものであろう。

以上の議論から、Pb、Cu、$0.1\mathrm{X}_0$のターゲットで生じるシャワーの発生率は、それぞれほぼ等しく、

$$7.2 \times 10^4 (\mathrm{s}^{-1})$$

と見積もられた。

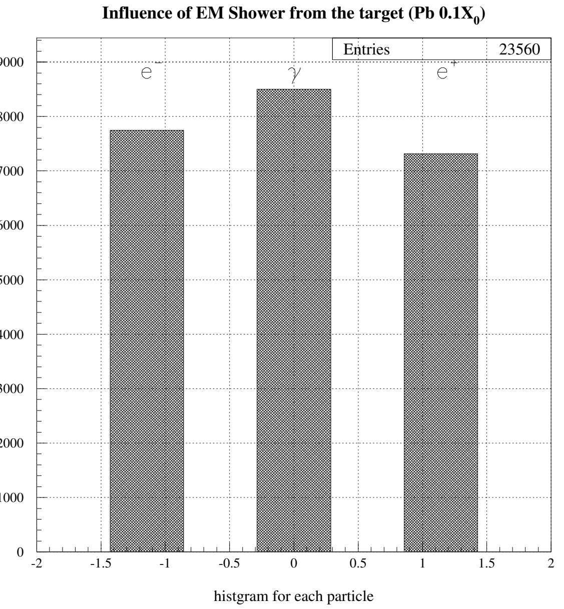

図 1: 100000 ヒストリーで、Pb $0.1\mathrm{X}_0$ ターゲットで発生したシャワー粒子度数分布

2 電磁シャワーの放出角およびエネルギー分布

図 1 に Pb $0.1\mathrm{X}_0$ のターゲットで生じた粒子各々の度数分布を示す。

最初の対生成を起こした数はおよそ 7300 個であるから、この図より単純に割算をすると、1 回のシャワーイベントで、

$$
\begin{aligned}
e^- &: 1.06\text{ 個}\\
\gamma &: 1.17\text{ 個}\\
e^+ &: 1.01\text{ 個}
\end{aligned}
$$

の合計約 3 個の粒子が創られることになる。e^+ の数が e^- と釣り合わないのは、陽電子の対消滅のためと考えられる。

次に電磁シャワーの角度分布について述べる。

図 2 および図 3 に、Pb ターゲット ($0.1\mathrm{X}_0$) から放出された e^+e^- と γ の角度分布を示す。グラフの y 軸は対数であるので、1^o 以内に発生するものがほとんどである事が読み取れる。また、e と γ の分布はほぼ同じ形状を持つことが分かる。

検出器の覆う範囲によって、これらの電磁シャワーの影響がどの程度変化するかを下表に示す。

Detector Region	e^+ and e^-	γ	Total
$\geq 1^o$(Ratio)	14.2 %	10.7 %	12.9 %
$\geq 1^o$(Yield/sec)	5.9×10^3	3.3×10^3	9.2×10^3
$\geq 3^o$(Ratio)	6.6 %	4.7 %	5.9 %
$\geq 3^o$(Yield/sec)	2.7×10^3	1.5×10^3	4.2×10^3
$\geq 5^o$(Ratio)	4.9 %	4.7 %	4.8 %
$\geq 5^o$(Yield/sec)	2.2×10^3	1.3×10^3	3.5×10^3

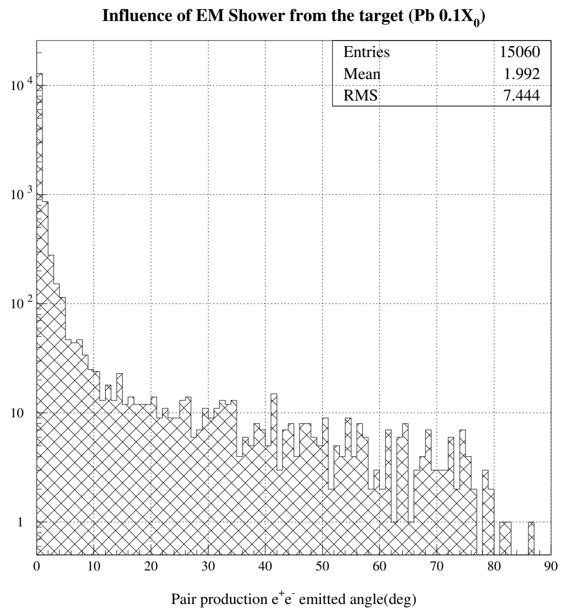

図 2: Pb ターゲットで生成される e^+e^-の角度分布

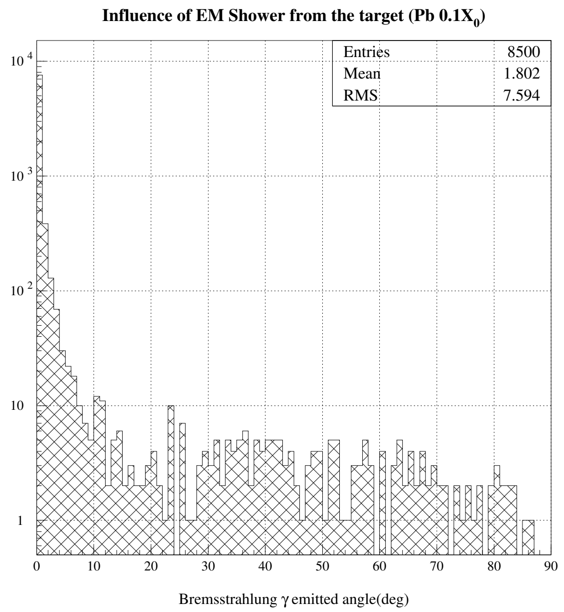

図 3: Pb ターゲット中で生成される γ の角度分布

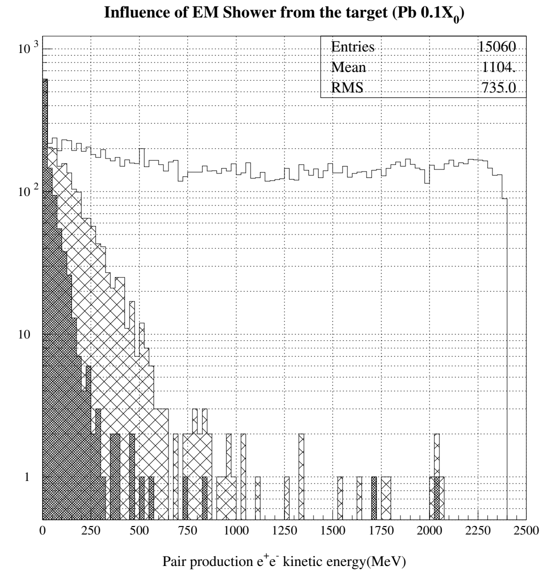

図 4: Pb ターゲット中で生成される $e^{+}e^{-}$のエネルギー分布。そのうち、斜線部はビーム方向 1^{o}以上に入るイベントであり、塗りつぶし部は 3^{o}以上のもの

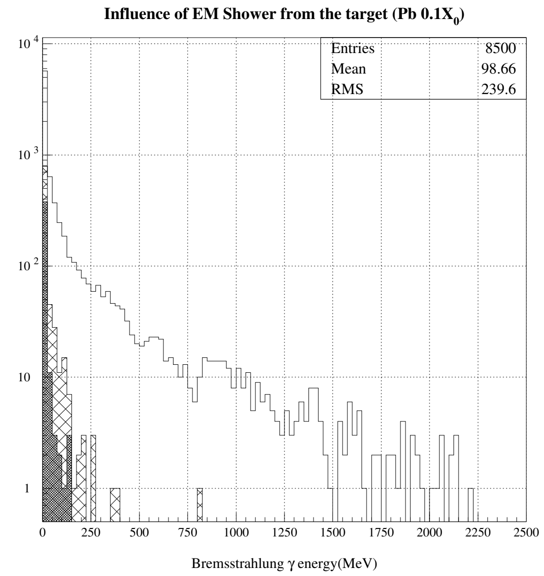

図 5: Pb ターゲット中で生成される γ のエネルギー分布