γ detectorの特性に関する報告

松村 徹

平成10 年 9 月 18 日

1 目的

Spring-8で行なう実験では、γN$\rightarrow \sigma$N , $\sigma \rightarrow 2\pi^0 \rightarrow 4\gamma$ 反応で発生する γ を検出するための detector(現在は鉛–シンチレーションファイバーのサンドイッチ型のもの $\approx 13X_0$ を考えている) をターゲット周りに配置する。

この detector は、当然 4γ に対する acceptance が出来るだけ大きくなくてはならず、また分解能も諸物理量をぼかしてしまうようなものでもいけない。

これまでのシミュレーションにより、γ detector の形状や位置分解能、エネルギー分解能を設定したので、この結果を報告する。

2 detectorの幾何学的形状

前方の分解能が要求されるため、detector は forward 側と backward 側の 2 つの領域に分けている。即ち、

$$\begin{array}{rcl} \text{forward 側} & : & 5^o \sim 30^o \\ \text{backward 側} & : & 30^o \sim 100^o \end{array}$$

今まで detector の覆う範囲は 10^oから 100^o としていたが、Primakoff effect の場合、生成粒子が超前方に発生するため、このままでは acceptance が数%しか得られないということが分かり、上記のように変更した。

incident energy 2.4GeV のγPb$\rightarrow \sigma$Pb 反応の場合、この変更により 4γ acceptance が 6.0%から 46.5%に大きく改善される (t=–0.01GeV に固定した場合)。

図 1 に、detecor の覆う角度ごとの acceptance のグラフを示した。ただし、ここで言う acceptance とは σ meson の質量範囲 ($\mathrm{M_{mean}} = 0.6\mathrm{GeV/c^2}, \Gamma=0.4\mathrm{GeV/c^2}$) についてのもので表現してある。

detector の半径は、大きければ大きいほど位置分解能が稼げる。ここでは、forward 側を backward 側よりも離したものとした。

$$\begin{array}{rcl} \text{forward 側半径} & : & 60\text{cm} \\ \text{backward 側半径} & : & 30\text{cm} \end{array}$$

3 detectorの分解能

分解能の決めるためには、エネルギー分解能や位置分解能などのパラメータを様々に変化させ、例えば 2γ invariant mass 等の広がり具合を調べなければならず、ここではそれらのデータは載せない。

シミュレーションの結果、最も最適と思われる分解能は、

$$\begin{aligned}
\text{forward 側エネルギー分解能} &: \quad \frac{\sigma_E}{\sqrt{E}} = 3.0\% \\
\text{forward 側位置分解能} &: \quad \sigma_x{=}0.5\text{cm} \\
\\
\text{backward 側エネルギー分解能} &: \quad \frac{\sigma_E}{\sqrt{E}} = 5.0\% \\
\text{backward 側位置分解能} &: \quad \sigma_x{=}0.5\text{cm}
\end{aligned}$$

である。

4 シミュレーション結果

上述したように、detector の性能を決定したので、これをパラメータとして

$$\gamma N \to \sigma N \to 2\pi^0 N \to 4\gamma N$$

の反応をシミュレートした。このシミュレーションにおいて、σ meson の質量は breit-wigner 分布 ($\mathrm{M_{mean}}$ = 0.6GeV/c^2,Γ=0.4GeV/c^2) である。また入射ビームは Spring-8 からの laser compton scattering による 2.4GeV の単色光子を想定している。

4.1 Primakoff effect

Primakoff effect により、入射γと原子核の電場に起因する virtual photon との反応でもσ meson は生成する。($\sigma \to 2\gamma$ の branching ratio は 10^{-5})

Primakoff effect に対する LAB 系での微分断面積は、

$$\frac{d\sigma_P}{d\Omega} = \Gamma_{\gamma\gamma}\frac{8\alpha Z^2}{\mu^3}\frac{\beta^3 E^4}{Q^4}|F_{e.m.}(Q)|^2 \sin^2\theta$$

ここで、

$$\begin{aligned}
\alpha &= 1/137 \\
\Gamma_{\gamma\gamma} &= \pi^0 \to 2\gamma \text{ decay width} \\
Q &= \text{原子核に対する momentum transfer} \\
F_{e.m.} &= \text{原子核の electromagnetic form factor} \\
\mu, \beta, \theta &= \sigma\text{の質量、速度、生成角} \\
E &= \text{入射}\gamma\text{のエネルギー}
\end{aligned}$$

である。この式の $\dfrac{1}{Q^4}$ の因子により、Primakoff effect は超前方で発生することが分かる。

今回はこれを考慮せず、Kinematics 的に $|t| < 0.01\mathrm{GeV}^2$ (equal distribution) という制限を付けてシミュレートした。

図 2 に鉛に対する結果を載せる。2γ invariant mass、即ち、π^0の invariant mass の分解能は、

$$\frac{\Delta M}{M} = 6.6\%$$

である。

4.2 Primakoff effect 以外のもの

Primakoff effect 以外で発生したσ meson に対するシミュレーションも行なった。この場合原子核として proton を仮定している。また、Primakoff effect ではないので、σ は重心系で等方的に散乱されるものとした。

図 3 にこの結果を示す。π^0の invariant mass の分解能は、

$$\frac{\Delta M}{M} = 8.9\%$$

となった。

図 1: γPb$\rightarrow$ σPb$\rightarrow$ $2\pi^0$Pb$\rightarrow$ 4γPb における detecor の覆う角度による acceptance の変化。ここで言う acceptance とは、σ meson の質量範囲に対するものである。

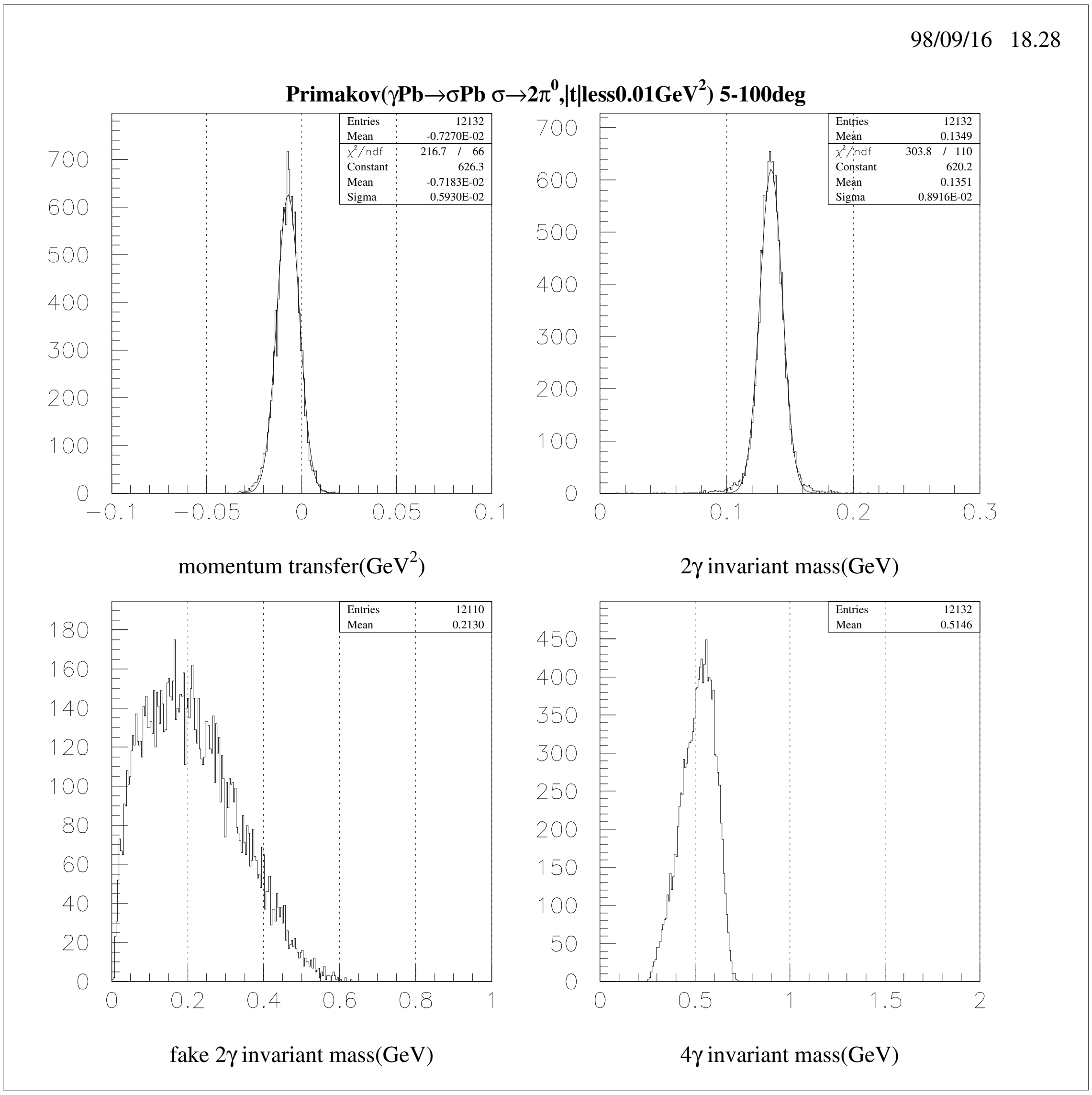

図 2: Pb 原子核に対する Primakoff effect の結果。2γ invariant mass の分解能は 6.6%。また、4γ acceptance は 40.3% であった。

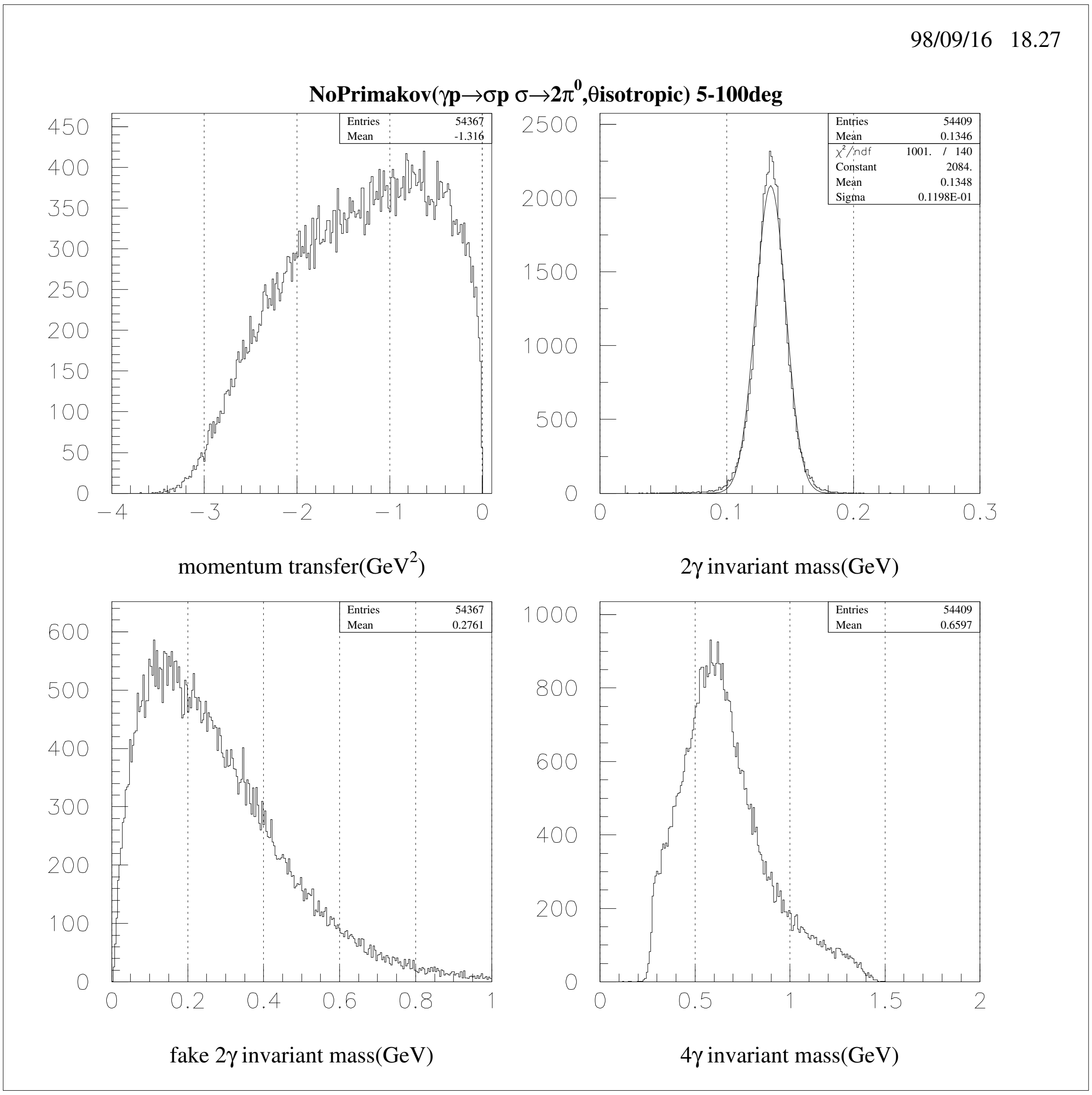

図 3: proton に対する Primakoff effect 以外のものによる結果。2γ invariant mass の分解能は 8.9%。また、4γ acceptance は 65.5% 。図 2 と、momentum transfer グラフの横軸スケールが違うことに注意。