

# Fotoproduzione di $\eta$

## Con BGO-OD

*(PAC: ELSA/05-2012-BGO)*

**A. Fantini A. Braghieri**

ELSA/5-2012-BGO

Proposal to the PAC

$\eta$  **PHOTOPRODUCTION MEASUREMENTS  
WITH BGO-OD**

**La fotoproduzione di mesoni sul nucleone rappresenta un “tool” potente per estrarre informazioni fondamentali sulle risonanze barioniche**

**In particolare la fotoproduzione di  $\eta$  è di particolare interesse rispetto ad altri canali:**

- l' $\eta$  è un mesone pseudoscalare ( $I=0$ ) => per la conservazione dell'isospin totale si possono presentare solo risonanze di tipo  $N^*(I=1/2)$  => FILTRO DI ISOSPIN
- Forte dominanza della  $S_{11}(1535)$  in soglia di fotoproduzione => Ciò permette di studiare il ruolo di altre risonanze coinvolte attraverso l'estrazione di osservabili di polarizzazione, dove il loro contributo viene amplificato dall'interferenza con la risonanza dominante
- Esiste una problematica aperta associata alla presenza nella sezione d'urto di fotoproduzione di  $\eta$  su neutrone di una “narrow structure” ( di circa 20-30MeV) all'energia nel sistema del centro di massa di 1680 MeV

## **$\eta$ : Motivazioni fisiche(2)**

Risultati degli ultimi 10-15 anni: Nuove sezioni d'urto e misure di asimmetria di alta precisione che coprono ampi intervalli in energia ed angolo polare .

### **Dati di Asimmetria su protone libero:**

- Forte dominanza in soglia della  $S_{11}(1535)$
- Ad energia più alte contribuiscono multipoli di ordine superiore:
  - $D_{13}(1520)$  per  $E_\gamma > 0.760$  GeV
  - $F_{15}(1680)$  ed altre per  $E_\gamma > 1$  GeV
- L'asimmetria di fascio  $\Sigma$  è stata misurata per energie del fotone incidente che vanno dalla soglia di fotoproduzione fino ad  $E_\gamma = 1.5$  GeV

### **Dati di Asimmetria su protone quasi libero:**

- Sostanziale accordo tra i dati su protone libero e quasi-libero (ad eccezione di un piccolo effetto che può essere spiegato in termini di impulso di Fermi)
- ==> i dati su neutrone quasi libero possono essere interpretati come dati su neutrone libero

### **Dati di asimmetria su neutrone quasi-libero:**

- Comportamento simile per protone quasi libero e neutrone quasi libero per  $E_\gamma < 1.1$  GeV
- Comportamento differente per  $E_\gamma > 1.1$  GeV per angoli in avanti
- L'asimmetria di fascio è stata misurata per energie fino a  $E_\gamma = 1.5$  GeV

### **Sezione d'urto di fotoproduzione di eta su neutrone quasi libero:**

- Dibattito aperto sulla natura della struttura stretta

$\gamma p \rightarrow \eta p$  Asimmetria di fascio  $\Sigma$

EPJA 33, 169-184 (2007)

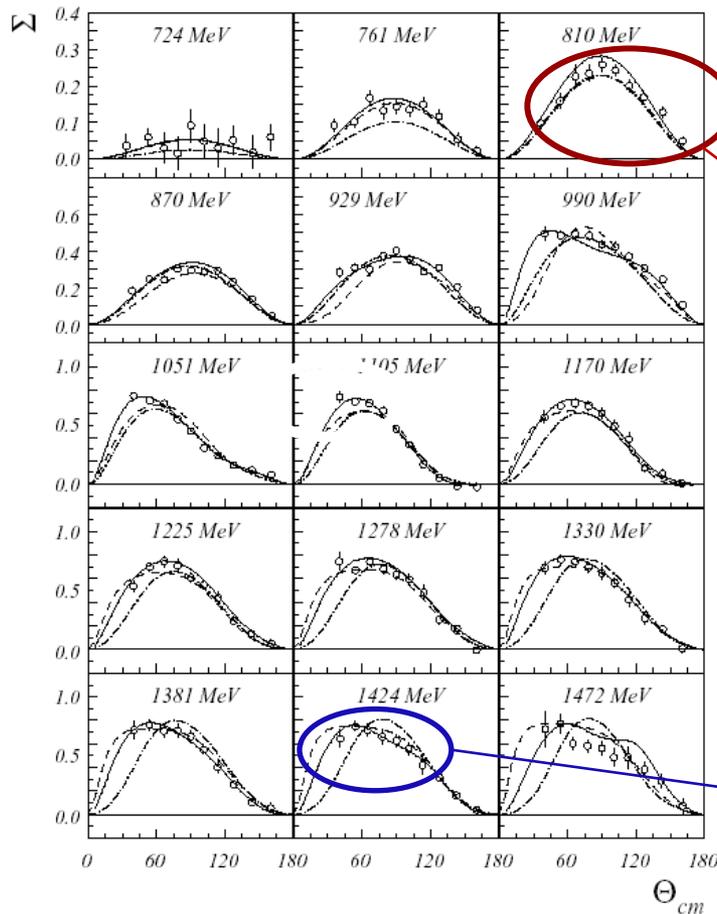
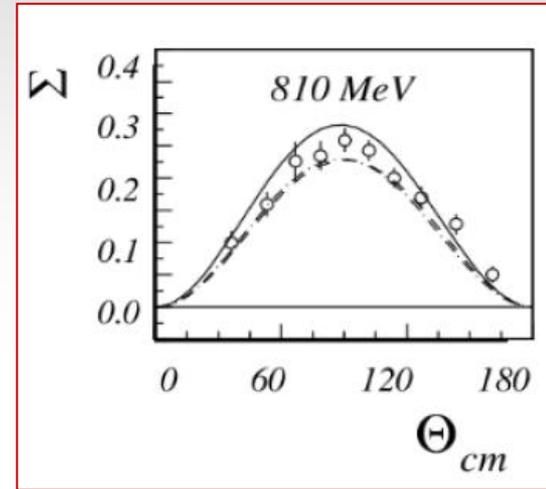
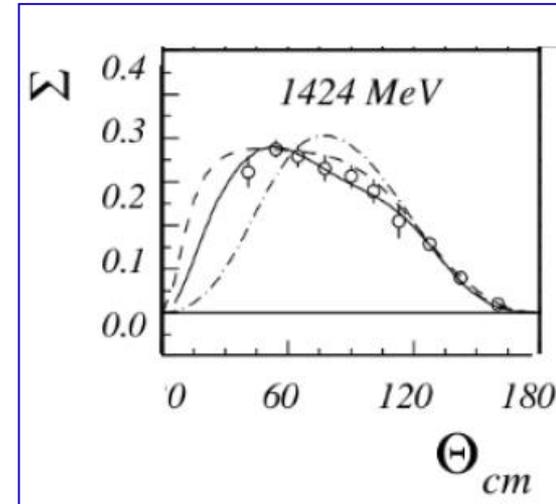


Fig. 12. Angular distributions of the beam asymmetry. Data are compared with results of the MAID (dashed line), CQM (dot-dashed line) and BCC (solid line) models.

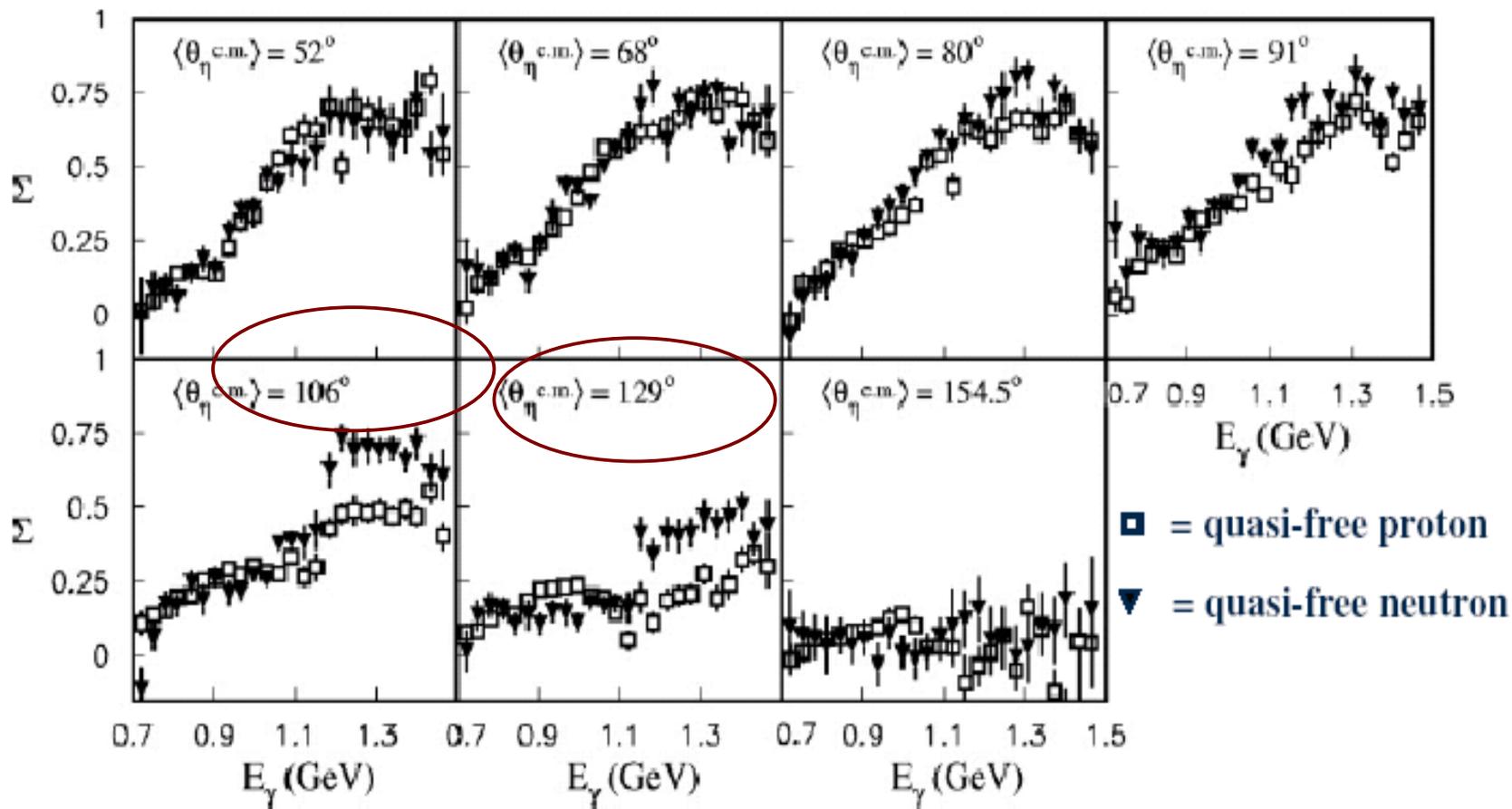
**Basse energie:**  
 Se all'asimmetria contribuisse solo la  $S_{11}(1535)$  il suo valore dovrebbe essere nullo  
 L'andamento di tipo  $\sin^2 \theta_{\eta}^{cm}$   
 È dovuto all'interferenza tra la  $S_{11}(1535)$  e la  $D_{13}(1520)$



**Alte energie:**  
 L'asimmetria risulta piccata negli angoli in avanti  $\Rightarrow$  interferenza tra la  $S_{11}(1535)$ - $F_{15}(1680)$



# $\vec{\gamma} N \rightarrow \eta N$ Beam Asymmetry: Comparison proton -neutron



Phys.Rev C 78, 015203 (2008)

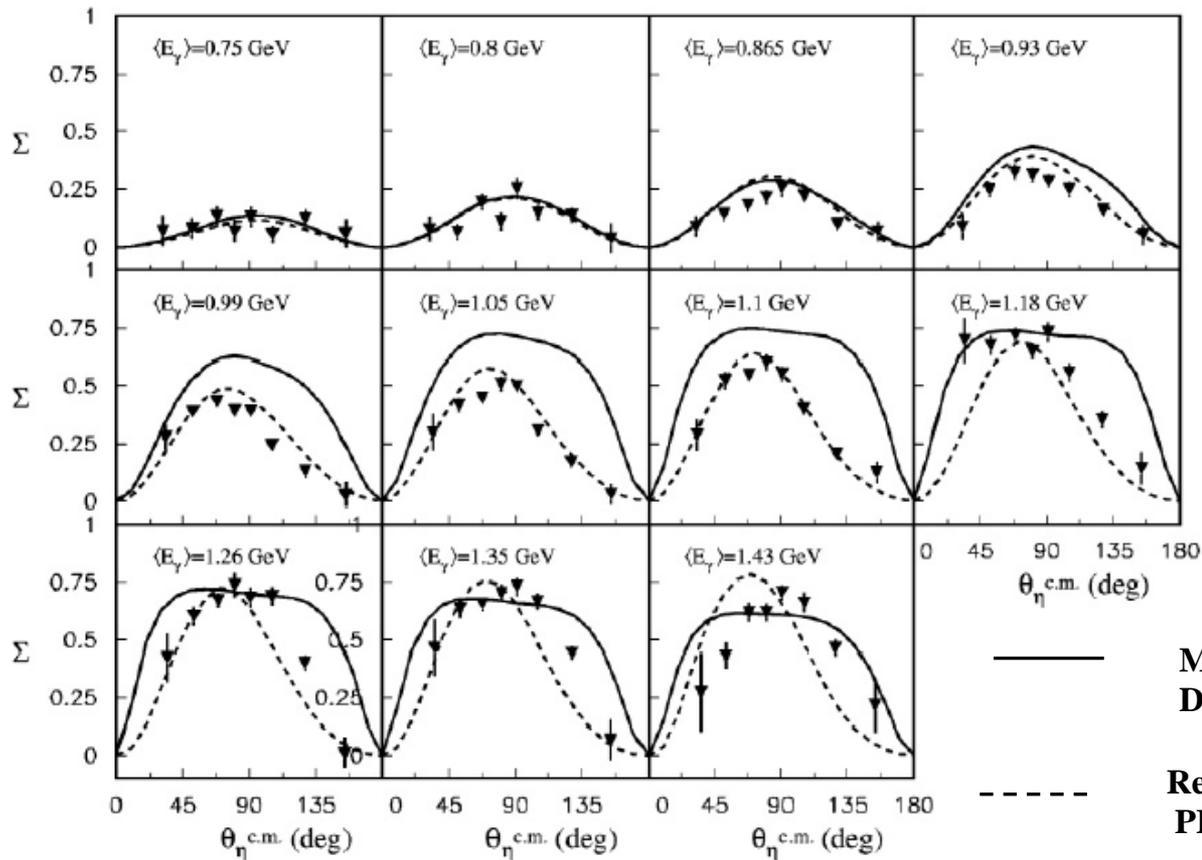
\*Eur.Phys. J. A 32, 311 (2007)

\*Phys. Lett. B650, 172 (2007)

⇒ Including a narrow resonance  $P_{11}(1670)$  resonance into a traditional isobar model\*

⇒ Interference  $S_{11}(1650)$ - $P_{11}(1710)$  (Giessen model)\*\*

# $\gamma n(p) \rightarrow \eta n(p)$ Beam Asymmetry



PRC 78 , 015203 (2008)

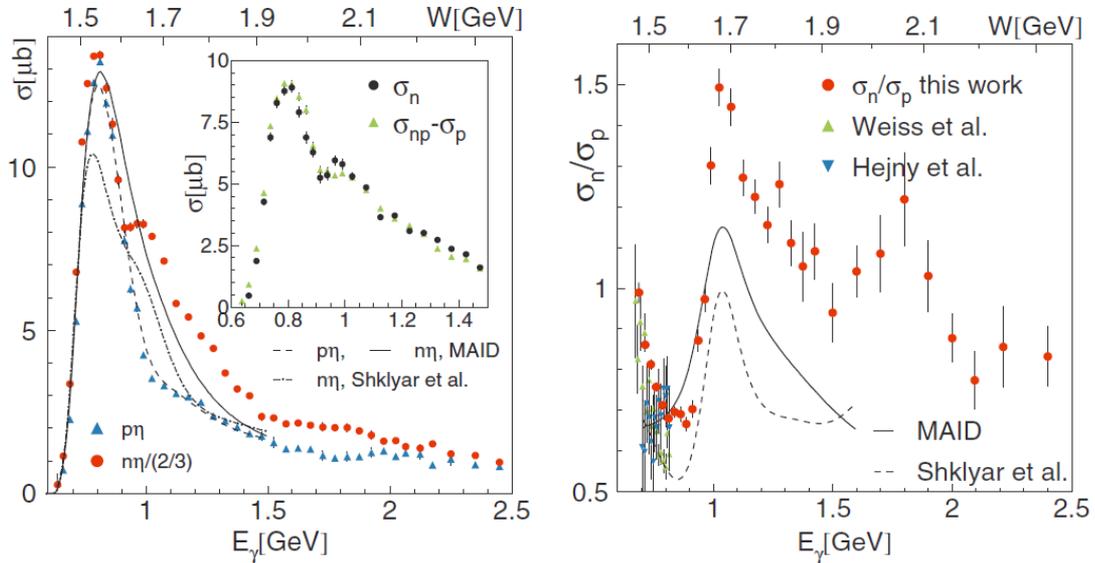
MAID2001 Nucl. Phys A700, 429 (2002)  
 **$D_{15}(1675)$  included**

Reggeized MAID model  
 PRC 68, 045202 (2003)

I due modelli che prevedono un comportamento simile nella sezione d'urto e nell'asimmetria nel caso di fotoproduzione di eta su protone, predicono invece comportamenti differenti nel caso di fotoproduzione su neutrone.

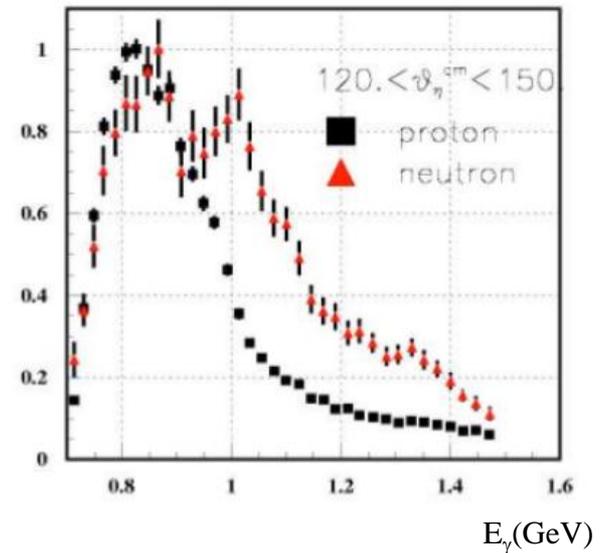
In entrambi i modelli è stata aggiunta una risonanza stretta  $P_{11}(1670)$ , membro di un'ipotetico multipletto di pentaquark.

# $\gamma N \rightarrow X \rightarrow \eta N$ Cross section and Yield in the energy region around 1600 MeV $\eta$ -N invariant mass



Sezioni d'urto di fotoproduzione di  $\eta$  su protone e su neutrone e loro rapporto  
PRL 100, 252002 (2008)

“Yield” di fotoproduzione di eta su neutrone quasi-libero (triangoli rossi) e su protone quasi-libero (quadrati neri) per uno specifico intervallo di angolo polare nel c.d.m(120-150), in funzione dell'energia del fotone incidente



## $\eta$ photoproduction: proposed experiments

Asimmetria di fascio  $\Sigma$  per la reazione  $\vec{\gamma} p \rightarrow \eta p$ :

- $E_\gamma = 0.7 \div 1.5 \text{ GeV}$  Confronto con esperimenti precedenti  $\Rightarrow$  APPROVATO
- $E_\gamma = 1.5 \div 1.8 \text{ GeV}$  Nuove misure (fattibili solo ad ELSA)  $\Rightarrow$  APPROVATO fino a 1.6 GeV

Asimmetria di fascio  $\Sigma$  per la reazione  $\vec{\gamma} n \rightarrow \eta n$ :

- $E_\gamma = 0.7 \div 1.5 \text{ GeV}$  Confronto con esperimenti precedenti  $\Rightarrow$  APPROVATO
- $E_\gamma = 1.5 \div 1.8 \text{ GeV}$  Nuove misure (fattibili solo ad ELSA)  $\Rightarrow$  APPROVATO fino a 1.6 GeV

$d\sigma/d\Omega$  for the reaction

$\gamma n \rightarrow \eta n$ :

- $E_\gamma$  around 1.0 GeV Per studiare più a fondo la presenza della struttura stretta nella sezione d'urto totale ad energie nel c.d.m intorno a 1680 MeV  $\Rightarrow$  NON APPROVATO

# η photoproduction: proposed experiments

$$\vec{\gamma} p \rightarrow \eta p$$

$2\gamma$	$\Gamma = 39\%$	}	neutral η decay channels
$3\pi^0 \rightarrow 6\gamma$	$\Gamma = 32\%$		
$\pi^+\pi^-\pi^0 \rightarrow 2\gamma\pi^+\pi^-$	$\Gamma = 23\%$		

Possibile solo con il setup di BGO-OD

$$\vec{\gamma} n \rightarrow \eta n$$

$$(\gamma n \rightarrow \eta n)$$

$2\gamma$	$\Gamma = 39\%$	→ Possibile solo con il setup di BGO-OD
-----------	-----------------	---

(not escluded)  $\pi^+\pi^-\pi^0 \rightarrow 2\gamma\pi^+\pi^-$        $\Gamma = 23\%$



Stati finali con molte particelle cariche e/o molti fotoni

# Condizioni sperimentali necessarie per realizzare una misura esclusiva di asimmetria di fotoproduzione di $\eta$ su nucleone

- Fascio di fotoni polarizzato linealmente
- Bersaglio di LH2/LD2
- Rivelatore a grande angolo solido
- Rivelazione ed identificazione di particelle cariche e neutre

Il canale dell'  $\eta$  può essere identificato senza ambiguità mediante:

- La misura dell'energia e degli angoli del nucleone

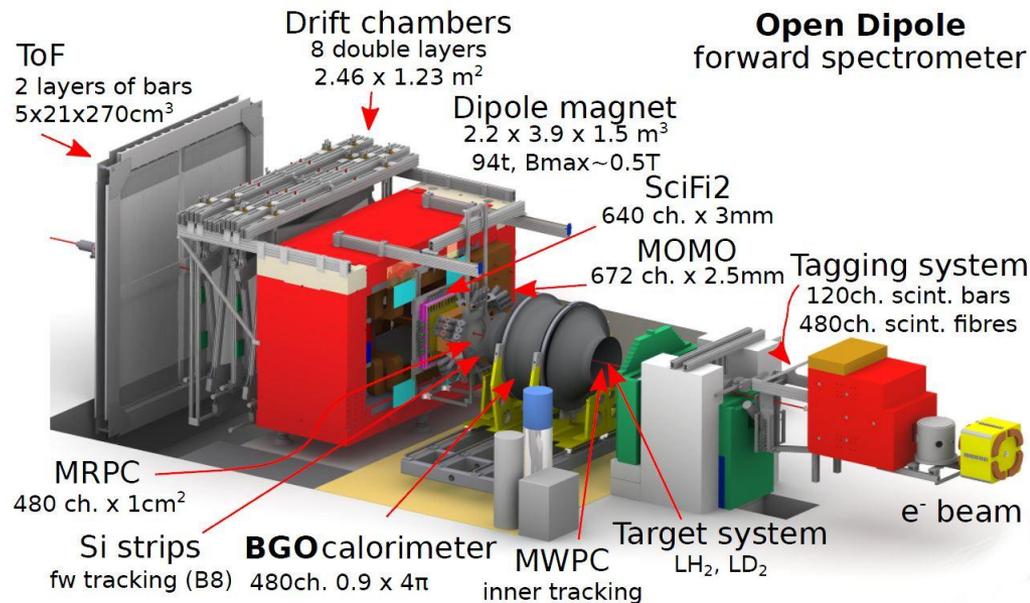
$E_\gamma, \theta_N, \phi_N, E_N \Rightarrow$  **RICOSTRUZIONE DI UNA MASSA MANCANTE COMPATIBILE CON LA MASSA DELL'  $\eta$**

- La ricostruzione dell'  $\eta$  (energie ed angoli) a partire dalla misura dei suoi prodotti di decadimento

$E_\gamma, \theta_\eta, \phi_\eta, E_\eta \Rightarrow$  **RICOSTRUZIONE DI UNA MASSA MANCANTE COMPATIBILE CON LA MASSE DEL NUCLEONE DI RINCULO**

- L'utilizzo di entrambe le informazioni  $\Rightarrow$  **SELEZIONE DI EVENTI MOLTO STRINGENTE E UNA QUASI TOTALE RIMOZIONE DEL FONDO**

# Misure di Fotoproduzione di $\eta$ con BGO-OD (1)



- ▣ **Regione centrale: (25°-155°): BGO + barrel + MWPC**
  - ✓ Rivelazione di fotoni =>  $E, \theta, \phi$
  - ✓ Ricostruzione delle tracce delle particelle cariche (discriminazione protone-pione)  
=>  $\theta, \phi$  per pioni carichi e  $\theta, \phi, E$  per i protoni
  - ✓ Rivelazione di neutroni( BGO calorimeter) =>  $\theta, \phi$
- ▣ **Regione in avanti: Spectrometro +MRPC (2°-25°)**
  - ✓ Rivelazione e discriminazione delle particelle cariche (discriminazione protone-pione)
  - ✓ Tracciamento e ricostruzione dell'impulso
  - ✓ Rivelazione di neutroni nel muro di TOF ( 2+1)

# Misure di Fotoproduzione di $\eta$ con BGO-OD (2)

Part	Acceptance	angular resolution	time resolution	$p/E$ resolution
BGO Ball	$25^\circ < \Theta < 155^\circ$	$\Delta\Theta < 6^\circ, \Delta\Phi < 7^\circ$	$< 3$ ns	$\approx 3\%$ for 1 GeV photons
MWPC	$18^\circ < \Theta < 163^\circ$	$\Delta\Theta \approx 1^\circ, \Delta\Phi = 2^\circ$	n.a.	n.a.
MRPC	$8^\circ < \Theta < 25^\circ$	$< 1^\circ$	50 ps	n.a.
forward spec.	$\Theta_{vert} < 8^\circ$ $\Theta_{hor} < 12^\circ$	$\Delta\Theta_{\Theta < 4^\circ} < 0.2^\circ$ $\Delta\Theta_{\Theta < 10^\circ} < 0.3^\circ$	n.a.	$< 3\%$ for $p < 1.5$ GeV $< 6\%$ for $p < 3$ GeV
ToF	$\Theta_{vert} < 8^\circ, \Theta_{hor} < 12^\circ$		500 ps	n.a.
Tagger	n.a.	n.a.	275 ps	10 MeV to 40 MeV

Le particelle finali saranno rivelate nel seguente modo:

- $\gamma$  **nella BGO** (come studio preliminare si richiederà la presenza di tutti i fotoni) => informazioni angolari ed energetiche;
- $\pi^\pm$ 
  - **Nella BGO in coincidenza con barrel di scintillatori e MWPC** => discriminazione mediante  $dE/dx$  vs.  $E$  informazioni angolari;
  - **Nello spettrometro in avanti** => Tracciamento ed informazioni energia/impulso;
  - **Nel rivelatore MRPC** => informazione angolare;
- $p$ 
  - **Nella BGO in coincidenza con barrel e MWPC** => discriminazione mediante  $dE/dx$  vs.  $E$  informazioni angolari;
  - **Nello spettrometro in avanti** => Tracciamento ed informazioni energia/impulso;
  - **Nel rivelatore MRPC** => Informazioni angolari ed in energia (per mezzo di misure di TOF)
- $n$ 
  - **Nella BGO** => Informazioni angolari;
  - **Nel rivelatore di TOF in avanti** => Informazioni angolari ed in energia (per mezzo di misure di TOF)

# Misure di Fotoproduzione di $\eta$ con BGO-OD (3)

## Specifiche acceleratore, fascio, bersaglio

- **Fascio di  $e^-$  :** 3.2 GeV non polarizzato;
- **Fascio di fotoni polarizzato ed etichettato:**
  - Intensità del fascio:  $10^7$   $\gamma/s$  nel range di energie: 0.32-2.8 GeV
  - Polarizzazione: Polarizzazione lineare (picco di polarizzazione a 1.0, 1.2, 1.6 GeV)
- **Bersaglio:  $LH_2/LD_2$  => 6 cm lunghezza**  
 $\rho_{LH_2} = 0.07$  g/cm<sup>3</sup> (at 20K)     $\rho_{LD_2} = 0.169$  g/cm<sup>3</sup> (at 20K)
- **Trigger: Coincidenza Tagger e BGO** ( soglia sull'energia geositata nella BGO)

Queste richieste sono analoghe a quelle  
di altri proposal



Prese dati in comune per  
più tipi di esperimenti

# Stima dell'efficienza

Abbiamo stimato l'accettanza angolare e l'efficienza di ricostruzione di tutti i possibili stati finali partendo da studi cinematici e da simulazioni.

➤ **Photons:** L'efficienza di ricostruzione è stata stimata prendendo in considerazione la probabilità di avere due fotoni sovrapposti in uno stesso cristallo di BGO => l'efficienza cambia in funzione del numero di fotoni nello stato finale.

➤ **Proton:** 0.7 Efficienza di ricostruzione su tutto l'apparato

➤  $\pi^\pm$ : 0.7 efficienza di ricostruzione su tutto l'apparato

➤ **Neutron:** 0.4 efficienza di ricostruzione nella regione centrale (BGO)  
0.15 efficienza di ricostruzione I nella regione in avanti.

Queste efficienze, pesate per l'accettanza geometrica (stimata dalla simulazione) nelle due regioni angolari fornisce un'efficienza di ricostruzione totale per il neutrone di circa il 35%.

## Efficienze effettive per i vari canali di decadimento dell' $\eta$

Target	$\eta$ channel decay	$\epsilon_{geom}$	$\epsilon_{rec}$	$\epsilon_{eff} = \epsilon_{rec} \cdot \epsilon_{geom}$
Proton	$\gamma p \rightarrow p\eta \rightarrow p\gamma\gamma$	$\sim 0.7$	$\sim 0.7$	$\sim 0.5$
Proton	$\gamma p \rightarrow p\eta \rightarrow p\pi^0\pi^0\pi^0 \rightarrow p 6\gamma$	$\sim 0.3$	$\sim 0.5$	$\sim 0.15$
Proton	$\gamma p \rightarrow p\eta \rightarrow p\pi^+\pi^-\pi^0 \rightarrow p\pi^+\pi^-2\gamma$	$\sim 0.5$	$\sim 0.35$	$\sim 0.2$
Neutron	$\gamma n \rightarrow n\eta \rightarrow n\gamma\gamma$	$\sim 0.3$	$\sim 0.35$	$\sim 0.1$

# Stima del tempo per effettuare le misure di asimmetria di fascio(1)

Il tempo necessario per le misure è stato calcolato utilizzando la seguente formula:

$$T_{tot} = \frac{N(\theta) \cdot N(E)}{(\Delta\Sigma)^2} \cdot \frac{1}{\dot{N}_\eta}$$

$\dot{N}_\eta$  : numero di  $\eta$  rivelate in un'ora;

$\Delta\Sigma$  : incertezza statistica;

$N(E)$  : numero di bin in energia del  $\gamma$  ;

$N(\theta)$  : numero di bin in theta nel centro di massa;

Il numero di  $\eta$  rivelate in un'ora può essere calcolato a partire dalla formula:

$$\dot{N}_\eta = \dot{N}_\gamma \cdot P_\gamma \cdot \delta_{target} \cdot \Delta\sigma \cdot \varepsilon_{eff} \cdot \varepsilon_{acq} \cdot \Gamma$$

# Stima del tempo per effettuare le misure di asimmetria di fascio(1)

$$\dot{N}_\eta = \dot{N}_\gamma \cdot P_\gamma \cdot \delta_{target} \cdot \Delta\sigma \cdot \varepsilon_{eff} \cdot \varepsilon_{acq} \cdot \Gamma$$

$\dot{N}_\gamma$  : Flusso di fotoni nel range di energie dove  $P_\gamma > 30\%$ ;

$P_\gamma$  : Grado di polarizzazione minimo che può avere il fascio ( abbiamo assunto che tale valore minimo sia 30% per tutti i bin di energia )

$\delta_{target}$  : Numero di centri scatteratori per  $\text{cm}^2$ ,

$\Delta\sigma$  : Valore minimo della sezione d'urto nel bin di energia in studio;

$\varepsilon_{eff}$  : Efficienza di rivelazione e ricostruzione;

$\varepsilon_{daq}$  : Efficienza associata all'acquisizione (duty cycle macroscopico dell'acceleratore, tempi dell'acquisizione , tempi di inattività, ed un margine di sicurezza per eventuali problemi) ;

$\Gamma$  : Branching Ratio del tipo di decadimento studiato.

# Stima del tempo per effettuare le misure di asimmetria di fascio(1)

$E_\gamma$ at polarization peak (GeV) if $\dot{N}_\gamma^{\text{tagged}} = 10^7 \gamma/s$ (0.32 ÷ 2.8 GeV)	$\dot{N}_\gamma (10^6 \gamma/s)$	$P_\gamma$	$\bar{\sigma}_{tot} (barn)$	$\delta_p (barn^{-1})$	$\delta_n (barn^{-1})$	$\epsilon_{daq}$
1.	1.59	0.3	$3 \cdot 10^{-6}$	0.252	0.305	0.5
1.2	1.16	//	$3 \cdot 10^{-6}$	//	//	//
1.6	0.52	//	$2 \cdot 10^{-6}$	//	//	//
1.7	0.38	//	$1.5 \cdot 10^{-6}$	//	//	//
1.8	0.25	//	$1.5 \cdot 10^{-6}$	//	//	//
Unpolarized beam 0.9-1.1 (GeV)	0.90	-	$3 \cdot 10^{-6}$	-	//	//

Target	$\eta$ channel decay	$\epsilon_{geom}$	$\epsilon_{rec}$	$\epsilon_{eff} = \epsilon_{rec} \cdot \epsilon_{geom}$
Proton	$\gamma p \rightarrow p\eta \rightarrow p\gamma\gamma$	$\sim 0.7$	$\sim 0.7$	$\sim 0.5$
Proton	$\gamma p \rightarrow p\eta \rightarrow p\pi^0\pi^0\pi^0 \rightarrow p 6\gamma$	$\sim 0.3$	$\sim 0.5$	$\sim 0.15$
Proton	$\gamma p \rightarrow p\eta \rightarrow p\pi^+\pi^-\pi^0 \rightarrow p\pi^+\pi^-2\gamma$	$\sim 0.5$	$\sim 0.35$	$\sim 0.2$
Neutron	$\gamma n \rightarrow n\eta \rightarrow n\gamma\gamma$	$\sim 0.3$	$\sim 0.35$	$\sim 0.1$

# Stima del tempo

$$\vec{\gamma} p \rightarrow \eta p$$

$\Delta\Sigma = 0.05$  (correspondig to 400  $\eta$  for E and  $\theta$  bin)

$E_\gamma$ at polarization peak(GeV)	$\dot{N}_\gamma(10^6\gamma/s)$	$\dot{N}_\eta(\eta/h)$	$N(E)$	$N(\theta)$	Time Request (h)
1.	1.59	180	10	6	~130
1.2	1.16	140	9	6	~150
1.6	0.52	30	7	6	~550
<del>1.7</del>	<del>0.38</del>	<del>25</del>	<del>6</del>	<del>6</del>	<del>~570</del>
<del>1.8</del>	<del>0.25</del>	<del>15</del>	<del>4</del>	<del>6</del>	<del>~650</del>
					TOT~2050

$$\vec{\gamma} n \rightarrow \eta n$$

$\Delta\Sigma = 0.1$

$E_\gamma$ at polarization peak(GeV)	$\dot{N}_\gamma(10^6\gamma/s)$	$\dot{N}_\eta(\eta/h)$	$N(E)$	$N(\theta)$	Time Request (h)
1.	1.59	29	10	6	~200
1.2	1.16	21	9	6	~250
1.6	0.52	5	6	6	~700
<del>1.8</del>	<del>0.25</del>	<del>2.5</del>	<del>4</del>	<del>5</del>	<del>~800</del>
					TOT~1150

~

# Conclusions

## Beamtime request

LH <sub>2</sub> target:	polarised at 1.0 GeV	130 h
LH <sub>2</sub> target:	polarised at 1.2 GeV	150 h
LH <sub>2</sub> target:	polarised at 1.6 GeV	550 h
LH <sub>2</sub> target:	polarised at 1.7 GeV	570 h
LH <sub>2</sub> target:	polarised at 1.8 GeV	650 h
LD <sub>2</sub> target:	unpolarised	1000 h
LD <sub>2</sub> target:	polarised at 1.0 GeV	200 h
LD <sub>2</sub> target:	polarised at 1.2 GeV	250 h
LD <sub>2</sub> target:	polarised at 1.6 GeV	700 h
LD <sub>2</sub> target:	polarised at 1.8 GeV	800 h

### For a Global Request of:

- 2050 hours of linearly polarized beam and LH2 target
- 1950 hours of linearly polarized beam and LD2 target
- 1000 hours of unpolarized beam and LD2 target





# $\eta$ Kinematics

