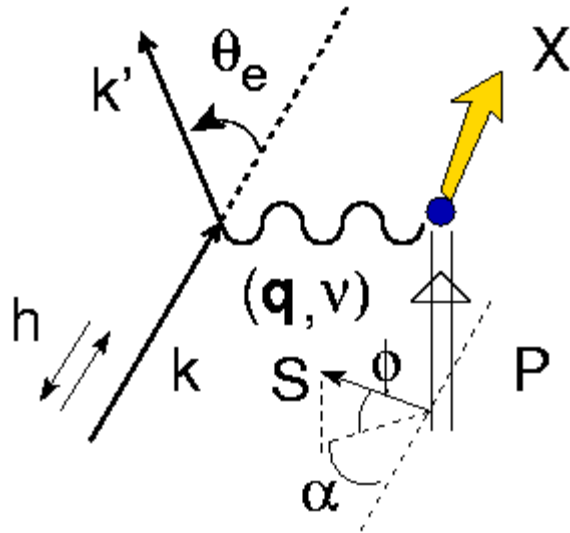


# Riassunto della lezione precedente

- $e^+e^-$  semi-inclusiva in due adroni; sez. d'urto di jet;  
jet = fascio di adroni che portano frazione  $1 \geq z \geq 0$  dell'energia  
del partone che frammenta;  
direzione dell'asse del jet identifica direzione del partone;  
direzione determinata dal processo elementare di QED
- Drell-Yan : cinematica, formule generali, QPM picture  $\rightarrow$  test di  $N_c$
- test sperimentali del QPM :  
scaling di varie forme della sez. d'urto  
rapporto di carica su nuclei isoscalari  $\rightarrow$  test meccanismo elementare  
distribuzione angolare della coppia leptonica
- discrepanze : K factor, distribuzione angolare e di momento diversa da  
QPM vicino alle risonanze mesoniche vettoriali  $\neq \gamma^*$

# DIS inclusivo polarizzato



se  $S=0 \rightarrow$  violazione della parita`  
processo debole  $\rightarrow$  corrente V-A  $\rightarrow W^{\mu\nu}_A$

se  $S \neq 0 \rightarrow$  2 4-vettori  $P, q$  e 1  
4-pseudovettore  $S$  indipendenti  
struttura del tensore adronico piu` ricca

si sceglie  $S^\mu$  tale che  $S^2 = -1$  e  $S \cdot P = 0$

$$S^\mu = \frac{S \cdot q}{P \cdot q} \left( P^\mu - \frac{M^2}{P \cdot q} q^\mu \right) + S^\mu_\perp = \frac{\lambda}{M} \left( P^\mu - \frac{M^2}{P \cdot q} q^\mu \right) + S^\mu_\perp$$

elicitita`

$$\lambda = M \frac{S \cdot q}{P \cdot q}$$

$$S_\perp \cdot P \rightarrow S^\mu_\perp = (0, \mathbf{S}_\perp) \Rightarrow S \cdot P = 0$$

$$S^2 \sim -(\lambda^2 + \mathbf{S}_\perp^2) = -1$$



# Tensore adronico

$S = \frac{1}{2} \rightarrow W^{\mu\nu}$  è al più lineare in  $S$ , perché è matrice  $2 \times 2$  in spazio di spin

$\Rightarrow$  espansione sulla base delle matrici  $\sigma$  di Dirac

$$W^{\mu\nu} = \sum_{\alpha\alpha'} W_{\alpha\alpha'}^{\mu\nu} \rho_{\alpha\alpha'} = \frac{1}{2} \sum_{\alpha\alpha'} W_{\alpha\alpha'}^{\mu\nu} (1 + \mathbf{P} \cdot \boldsymbol{\sigma})_{\alpha\alpha'}$$

matrice densità di spin del target

vettore di polarizzazione

$$P_i = \frac{N_+ - N_-}{N_+ + N_-} = \langle \sigma_i \rangle = \text{Tr}(\rho \sigma_i)$$



- $S^\mu$  coplanare con piano di scattering  $\rightarrow \phi = 0$
- hermiticity del tensore
- invarianza per trasformazioni di parità
- invarianza per trasformazioni di time-reversal
- conservazione della corrente

# Tensore adronico (continua)

$$W^{\mu\nu} = W^{\mu\nu}_S + W^{\mu\nu}_A$$

$$W_S^{\mu\nu} = \left( -g^{\mu\nu} + \frac{q^\mu q^\nu}{q^2} \right) W_1 + \frac{\tilde{P}^\mu \tilde{P}^\nu}{M^2} W_2$$

$$\tilde{P}^\mu = P^\mu - \frac{P \cdot q}{q^2} q^\mu$$

$$W_A^{\mu\nu} = i\epsilon^{\mu\nu\rho\sigma} q_\rho [A_1 S_\sigma + A_2 P_\sigma]$$

scalare
pseudoscalare

$$W_A^{\mu\nu} = i\epsilon^{\mu\nu\rho\sigma} q_\rho S_\sigma \left[ \underline{MG_1(\nu, Q^2)} + \frac{P \cdot q}{M} \underline{G_2(\nu, Q^2)} \right]$$

$$- i\epsilon^{\mu\nu\rho\sigma} q_\rho P_\sigma \frac{S \cdot q}{M} G_2(\nu, Q^2)$$

$$= i\epsilon^{\mu\nu\rho\sigma} q_\rho P_\sigma \lambda G_1(\nu, Q^2)$$

$$+ i\epsilon^{\mu\nu\rho\sigma} q_\rho S_{\perp\sigma} \left( MG_1(\nu, Q^2) + \frac{P \cdot q}{M} G_2(\nu, Q^2) \right)$$



# Ampiezza di scattering

leptone polarizzato con elicità  $h = \pm$

$\downarrow$   
 tensore leptonico :  $L_{\mu\nu} = L_{\mu\nu}^S \pm L_{\mu\nu}^A$

$$\begin{aligned}
 L_{\mu\nu}^S &= 2k_\mu k'_\nu + 2k_\nu k'_\mu - 2k \cdot k' g_{\mu\nu} \\
 L_{\mu\nu}^A &= 2i\epsilon_{\mu\nu\rho\sigma} k^\rho k'^\sigma
 \end{aligned}$$

$$L_{\mu\nu}^S W^{\mu\nu}_S \rightarrow \frac{d\sigma^0}{dE' d\Omega} = \frac{4\alpha^2}{Q^4} E'^2 \left( 2 \sin^2 \frac{\theta_e}{2} W_1 + \cos^2 \frac{\theta_e}{2} W_2 \right)$$

$$\begin{aligned}
 L_{\mu\nu}^A W^{\mu\nu}_A &\rightarrow L_{\mu\nu}^A i\epsilon^{\mu\nu\rho\sigma} q_\rho S_\sigma \stackrel{\text{TRF}}{=} 8EE' \sin^2 \frac{\theta_e}{2} S \cdot (k + k') \\
 L_{\mu\nu}^A (-i)\epsilon^{\mu\nu\rho\sigma} q_\rho P_\sigma &\stackrel{\text{TRF}}{=} -8EE' \sin^2 \frac{\theta_e}{2} P \cdot (k + k')
 \end{aligned}$$



$$L_{\mu\nu}^A W_A^{\mu\nu} = 8EE' \sin^2 \frac{\theta_e}{2} \left[ \left( MG_1 + \frac{P \cdot q}{M} G_2 \right) S \cdot (k + k') - \frac{G_2}{M} S \cdot q P \cdot (k + k') \right]$$

## Sezione d'urto

$$\begin{cases} k = (E, 0, 0, E) \\ k' = (E', E' \sin \theta_e, 0, E' \cos \theta_e) \\ \hat{S} = (0, \sin \alpha \cos \phi, \sin \alpha \sin \phi, \cos \alpha) \end{cases} \quad \text{coplanar} \rightarrow \phi = 0$$

$$S \cdot (k + k') = -E' (\cos \theta_e \cos \alpha + \sin \theta_e \sin \alpha) - E \cos \alpha$$

$$P \cdot (k + k') = M (E + E')$$

$$S \cdot q = E' (\cos \theta_e \cos \alpha + \sin \theta_e \sin \alpha) - E \cos \alpha$$



$$\begin{aligned} \frac{d\Delta\sigma^h}{dE'd\Omega} = & -h \frac{2\alpha^2}{Q^2} \frac{E'}{E} \left\{ \underline{\cos \alpha} \left[ (E + E' \cos \theta_e) M G_1 - Q^2 G_2 \right] \right. \\ & \left. + E' \sin \theta_e \underline{\sin \alpha} (M G_1 + 2E G_2) \right\} \end{aligned}$$



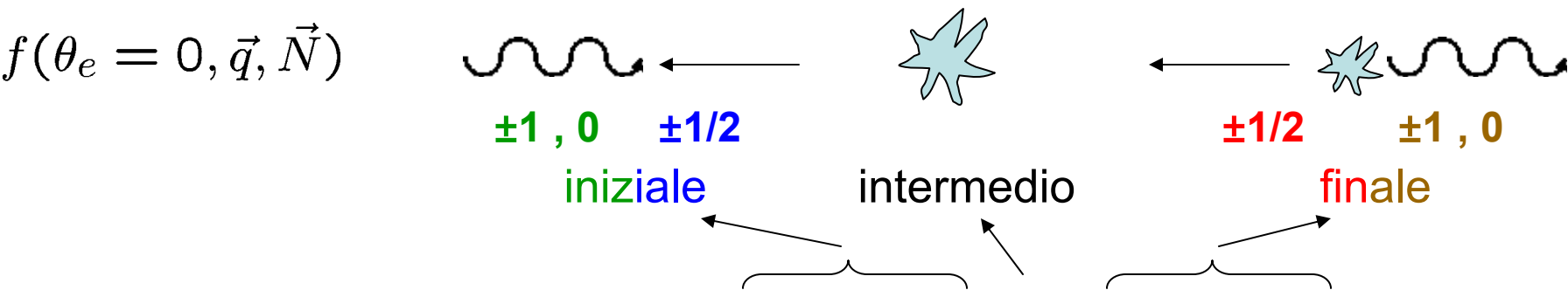
$$\alpha = 0 \leftrightarrow S \parallel k \qquad \alpha = \pi / 2 \leftrightarrow S \perp k$$

# Sezione d'urto (continua)

$$\frac{d\sigma^o}{dE' d\Omega} \, , \, \frac{d\Delta\sigma^{h=\pm}}{dE' d\Omega} \Rightarrow F_1 \, , \, F_2 \, , \, G_1 \, , \, G_2$$

Perche` 4 funzioni di struttura  $F_1, F_2, G_1, G_2$  ?

sezione d'urto totale per assorbimento di  $\gamma^*$  :  $\sigma_{\text{tot}} (\gamma^* N)$   
 teorema ottico :  $\sigma_{\text{tot}} (\gamma^* N) \propto \text{Im} [ f(\theta_e=0) \text{ Compton } ]$



1	+1	+1/2	+3/2	+1	+1/2
2	+1	-1/2	+1/2	+1	-1/2
3	+1	-1/2	+1/2	0	+1/2
4	0	+1/2	+1/2	+1	-1/2
5	0	+1/2	+1/2	0	+1/2

legati da time-reversal  
 → 4 strutture indipendenti

# Asimmetrie di elicità`

riarrangiamento delle 4 combinazioni indipendenti



$$\begin{aligned}
 \left[ \left(1, \frac{1}{2}\right) \rightarrow \left(1, \frac{1}{2}\right) \right] + \left[ \left(1, -\frac{1}{2}\right) \rightarrow \left(1, -\frac{1}{2}\right) \right] &\equiv W_T = W_1 = \sigma_{3/2}^T + \sigma_{1/2}^T \\
 \left(0, \frac{1}{2}\right) \rightarrow \left(0, \frac{1}{2}\right) &\equiv W_L = \left(1 + \frac{\nu^2}{Q^2}\right) W_2 - W_1 = \sigma_{1/2}^L \\
 \left[ \left(1, \frac{1}{2}\right) \rightarrow \left(1, \frac{1}{2}\right) \right] - \left[ \left(1, -\frac{1}{2}\right) \rightarrow \left(1, -\frac{1}{2}\right) \right] &\equiv W_{TT} = -\nu M G_1 + Q^2 G_2 = \sigma_{3/2}^T - \sigma_{1/2}^T \\
 \left(1, -\frac{1}{2}\right) \rightarrow \left(0, \frac{1}{2}\right) &\equiv W_{LT} = Q (M G_1 + \nu G_2) = \sigma_{1/2}^{LT}
 \end{aligned}$$

elicità` di  $\gamma^*$   $\rightarrow \sigma_{J_z}^{\lambda_{\gamma^*}}$   
intermedio  $\rightarrow$

asimmetrie di elicità`

$$\begin{aligned}
 A_1 &= \frac{\sigma_{1/2}^T - \sigma_{3/2}^T}{\sigma_{1/2}^T + \sigma_{3/2}^T} = -\frac{W_{TT}}{W_T} = \frac{\nu M G_1 - Q^2 G_2}{W_1} & 1 \geq |A_1| \\
 A_2 &= \frac{W_{LT}}{W_T} = \frac{Q (M G_1 + \nu G_2)}{W_1} & R = \frac{\sigma_L}{\sigma_T} \geq |A_2| = \frac{\sigma_{LT}}{\sigma_T}
 \end{aligned}$$



# Accesso sperimentale alle asimmetrie

$$S \parallel k \rightarrow \alpha = 0$$

misura sperimentale accede a

$$A_{\parallel} = \frac{d\sigma^{\uparrow\downarrow} - d\sigma^{\uparrow\uparrow}}{d\sigma^{\uparrow\downarrow} + d\sigma^{\uparrow\uparrow}} = \frac{E - E'\epsilon}{E(1 + \epsilon R)} A_1 + \frac{\epsilon Q}{E(1 + \epsilon R)} A_2$$



$$A_{\perp} = \frac{d\sigma^{\uparrow\leftarrow} - d\sigma^{\uparrow\rightarrow}}{d\sigma^{\uparrow\leftarrow} + d\sigma^{\uparrow\rightarrow}} = \frac{E - E'\epsilon}{E(1 + \epsilon R)} \sqrt{2\epsilon(1 + \epsilon)} A_2 - \frac{\epsilon Q}{E(1 + \epsilon R)} \sqrt{\frac{(1 + \epsilon)^3}{2\epsilon}} A_1$$

$$S \perp k \rightarrow \alpha = \pi/2$$

polarizz. lineare trasversa di  $\gamma^*$   $\epsilon = \left[ 1 + 2 \frac{q^2}{Q^2} \tan^2 \frac{\theta_e}{2} \right]^{-1}$

$$R = \frac{W_L}{W_T} = \left( 1 + \frac{\nu^2}{Q^2} \right) \frac{W_2}{W_1} - 1$$

inversione



$$A_1 = \frac{2(E - E'\epsilon) E (1 + \epsilon R)}{2(E - E'\epsilon)^2 + \epsilon(1 + \epsilon) Q^2} A_{\parallel} - \sqrt{\frac{2}{\epsilon(1 + \epsilon)}} \frac{\epsilon Q E (1 + \epsilon R)}{2(E - E'\epsilon)^2 + \epsilon(1 + \epsilon) Q^2} A_{\perp}$$

$$A_2 = \frac{E(1 + \epsilon R)(1 + \epsilon) Q}{2(E - E'\epsilon)^2 + \epsilon(1 + \epsilon) Q^2} A_{\parallel} + \sqrt{\frac{2}{\epsilon(1 + \epsilon)}} \frac{(E - E'\epsilon) E (1 + \epsilon R)}{2(E - E'\epsilon)^2 + \epsilon(1 + \epsilon) Q^2} A_{\perp}$$

misura di  $Q^2, \epsilon, R, A_{\parallel}, A_{\perp} \rightarrow A_1, A_2$