

Starke Wechselwirkung

Die starke WW wirkt auf alle Teilchen die Farbladung tragen.

Quarks kommen in 3 Farben vor: r, g, b

Antiquarks entsprechend in 3 Antifarben: $\bar{r}, \bar{g}, \bar{b}$

Gluonen tragen die Kombination aus einer Farbe und einer Antifarbe $3 \otimes \bar{3}$.

Colour-Oktett: $r\bar{g}, r\bar{b}, g\bar{b}, g\bar{r}, b\bar{r}, b\bar{g}, \frac{1}{\sqrt{2}}(r\bar{r} - g\bar{g}), \frac{1}{\sqrt{6}}(r\bar{r} + g\bar{g} - 2b\bar{b})$

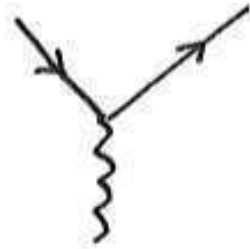
farbneutrales Colour-Singulett: $\frac{1}{\sqrt{3}}(r\bar{r} + g\bar{g} + b\bar{b})$

farbneutral \equiv invariant unter Rotation im Farbraum

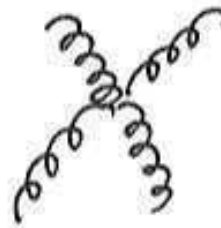
Es nehmen nur die 8 Gluonen aus dem Colour-Oktett an der starken Wechselwirkung teil.

Erlaubte Vertices

EM WW



Starke WW

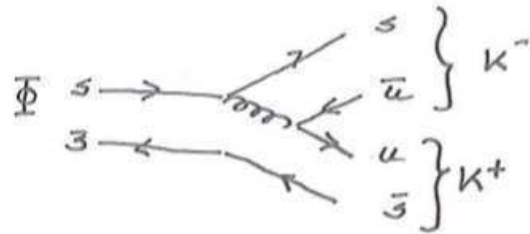


Gluonen tragen selbst Farbladung, d.h. es gibt 3- und 4-Gluonen-Vertices.

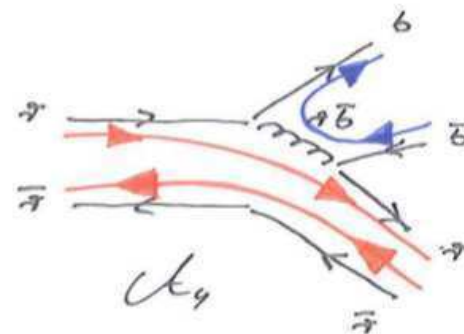
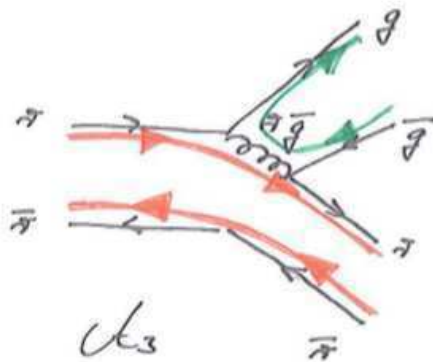
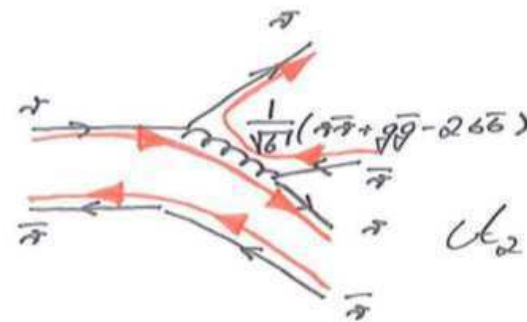
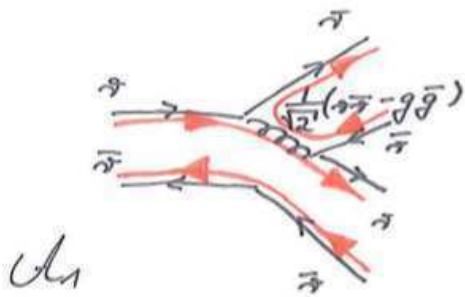
Viele der Unterschiede zwischen EM und starker WW hängen mit der

Gluonenselbstwechselwirkung zusammen.

Farbfluss



$$\mathcal{A} = \mathcal{U}_1 + \mathcal{U}_2 + \mathcal{U}_3 + \mathcal{U}_4$$



Die beobachtete Amplitude ist die Summe aller möglicher Farbkombinationen.

Hinweis auf Farbe

Δ^{++} besteht aus drei u-Quarks $|uuu\rangle$, hat Spin=3/2 ($|\uparrow\uparrow\uparrow\rangle$) und ist im Grundzustand (L=0).

Die Gesamtwellenfunktion, setzt sich aus den Wellenfunktionen aller Freiheitsgrade zusammen:

$$\Psi(\Delta^{++}) = \Psi_{Ort} \cdot \chi_{Spin} \cdot \Phi_{Flavour}$$

Das Δ^{++} ist ein System aus Fermionen. **Nach Pauli gilt, dass die Wellenfunktion antisymmetrisch unter Vertauschung von zwei Fermionen sein muss.**

Die Parität der Ortswellenfunktion ist gegeben durch $(-1)^{L=0} = +1$, d.h. die Ortswellenfunktion ändert nicht ihr Vorzeichen unter Austausch zweier Quarks. Sowohl die Spinwellenfunktion und die Flavourwellenfunktion sind vollständig symmetrisch, d.h. die Gesamtwellenfunktion ist symmetrisch.

→ **Widerspruch zu Pauli**

Lösung: es wird ein weiterer Freiheitsgrad "Farbe" eingeführt, der ein antisymmetrische Wellenfunktion besitzt.

$$\xi_{Farbe} = \frac{1}{\sqrt{6}} (|rgb\rangle - |grb\rangle - |rbg\rangle + |gbr\rangle + |brg\rangle - |bgr\rangle)$$

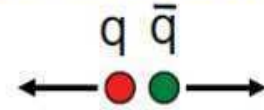
Die Gesamtwellenfunktion ist dann

$$\Psi(\Delta^{++}) = \Psi_{Ort} \cdot \chi_{Spin} \cdot \Phi_{Flavour} \cdot \xi_{Farbe}$$

Hadronisierung, Bildung von Jets

★ Consider a quark and anti-quark produced in electron positron annihilation

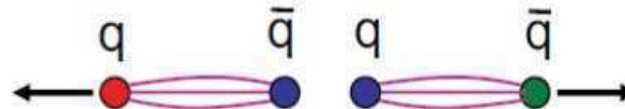
i) Initially Quarks separate at high velocity



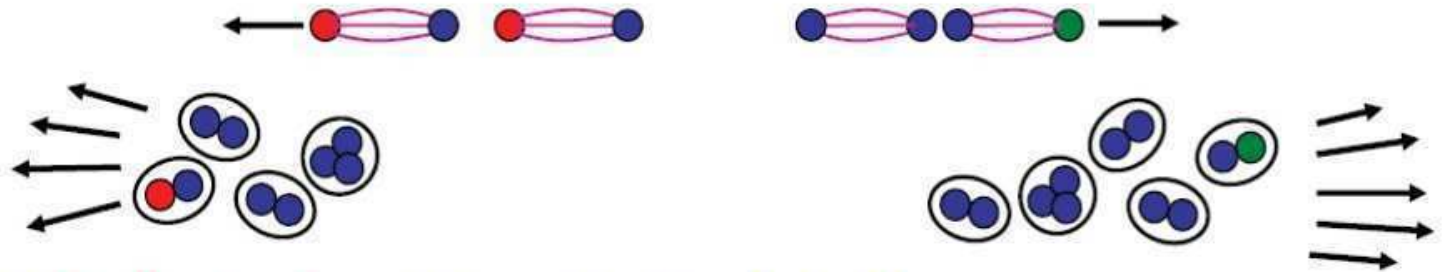
ii) Colour flux tube forms between quarks



iii) Energy stored in the flux tube sufficient to produce $q\bar{q}$ pairs

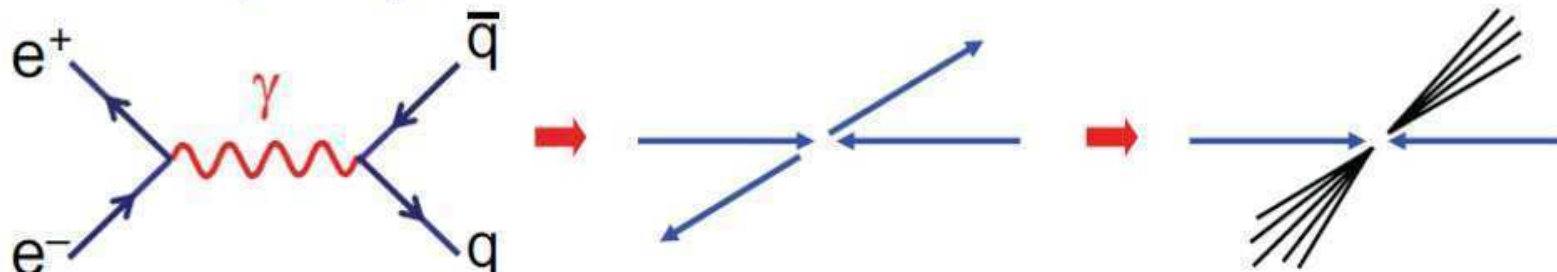


iv) Process continues until quarks pair up into jets of colourless hadrons



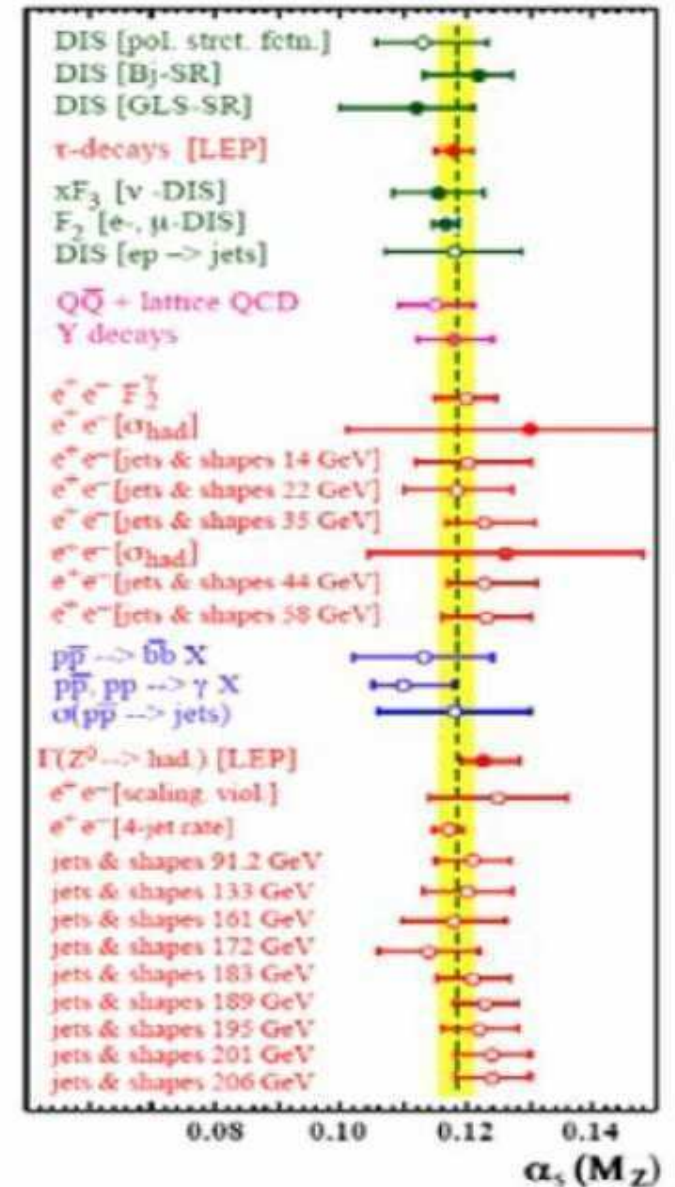
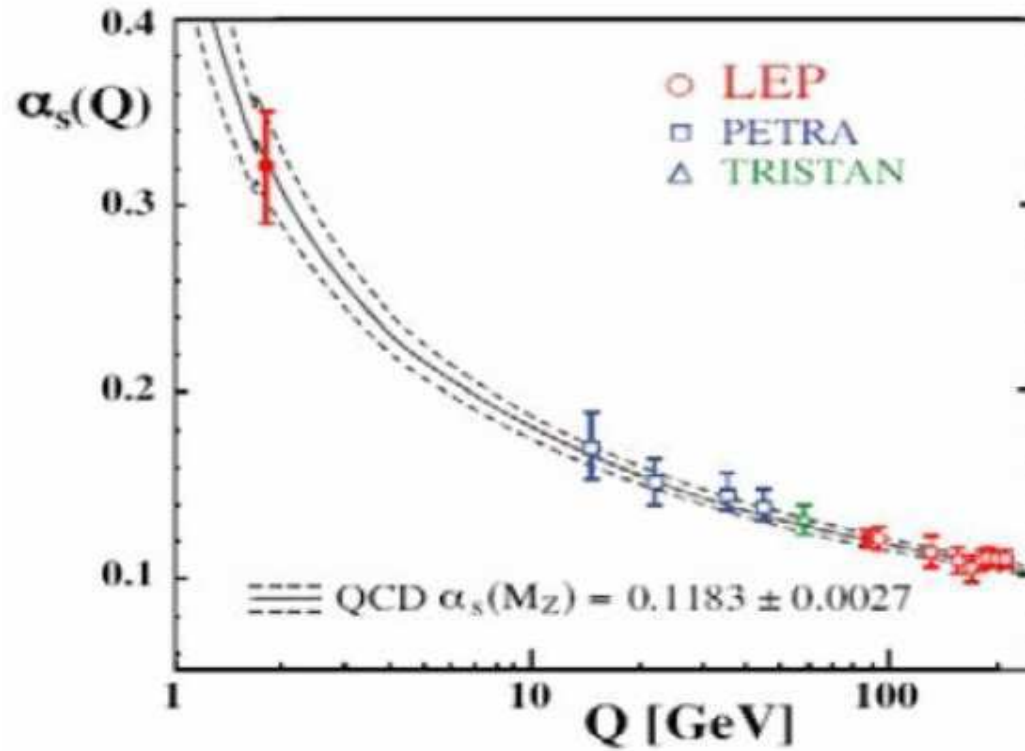
★ This process is called **hadronisation**. It is not (yet) calculable.

★ The main consequence is that at collider experiments quarks **and** gluons observed as jets of particles

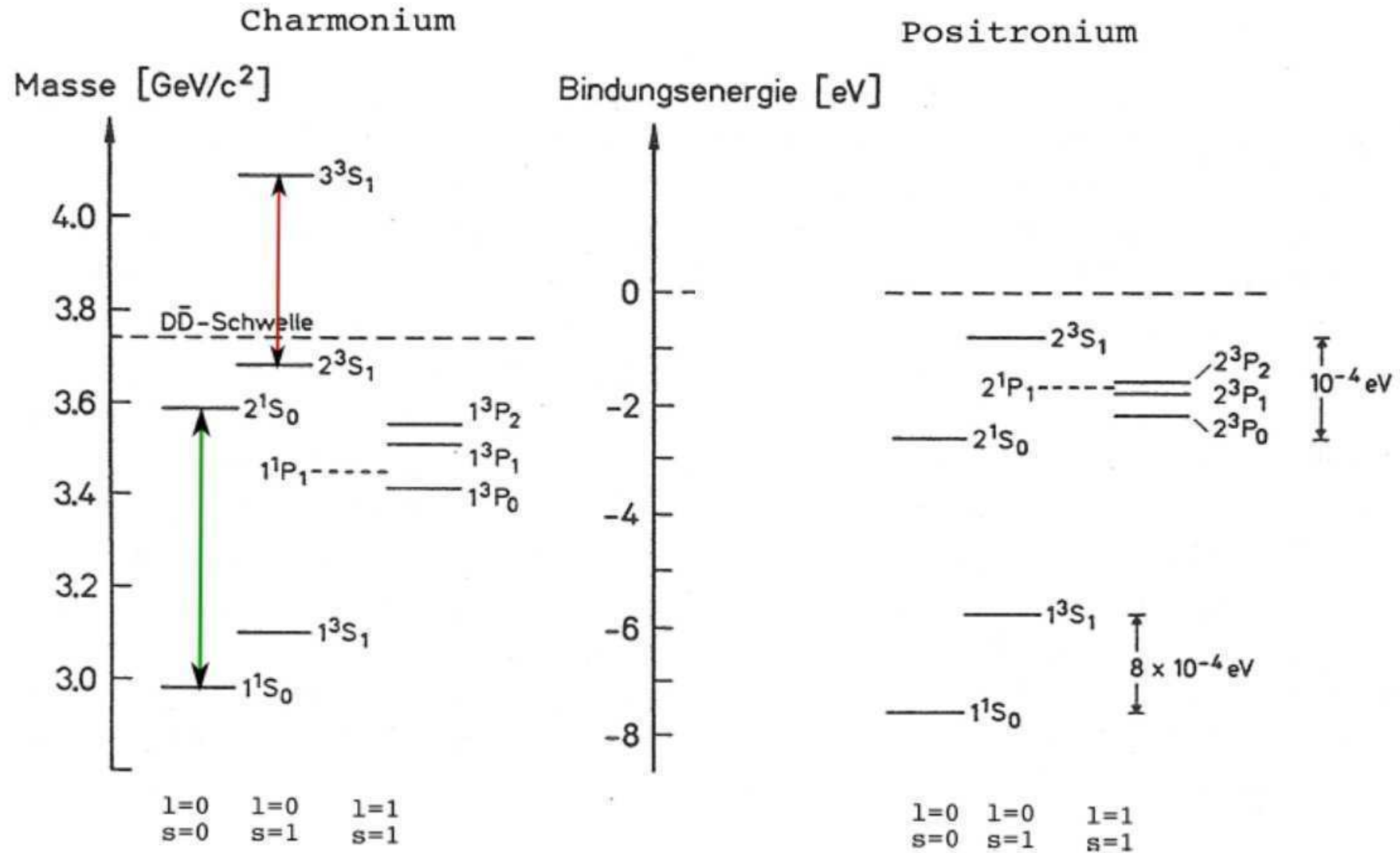


Laufende Kopplungskonstante der starken WW

$$\alpha_s(Q^2) = \frac{1}{\beta_0 \log(Q^2 / \Lambda_{QCD}^2)}$$



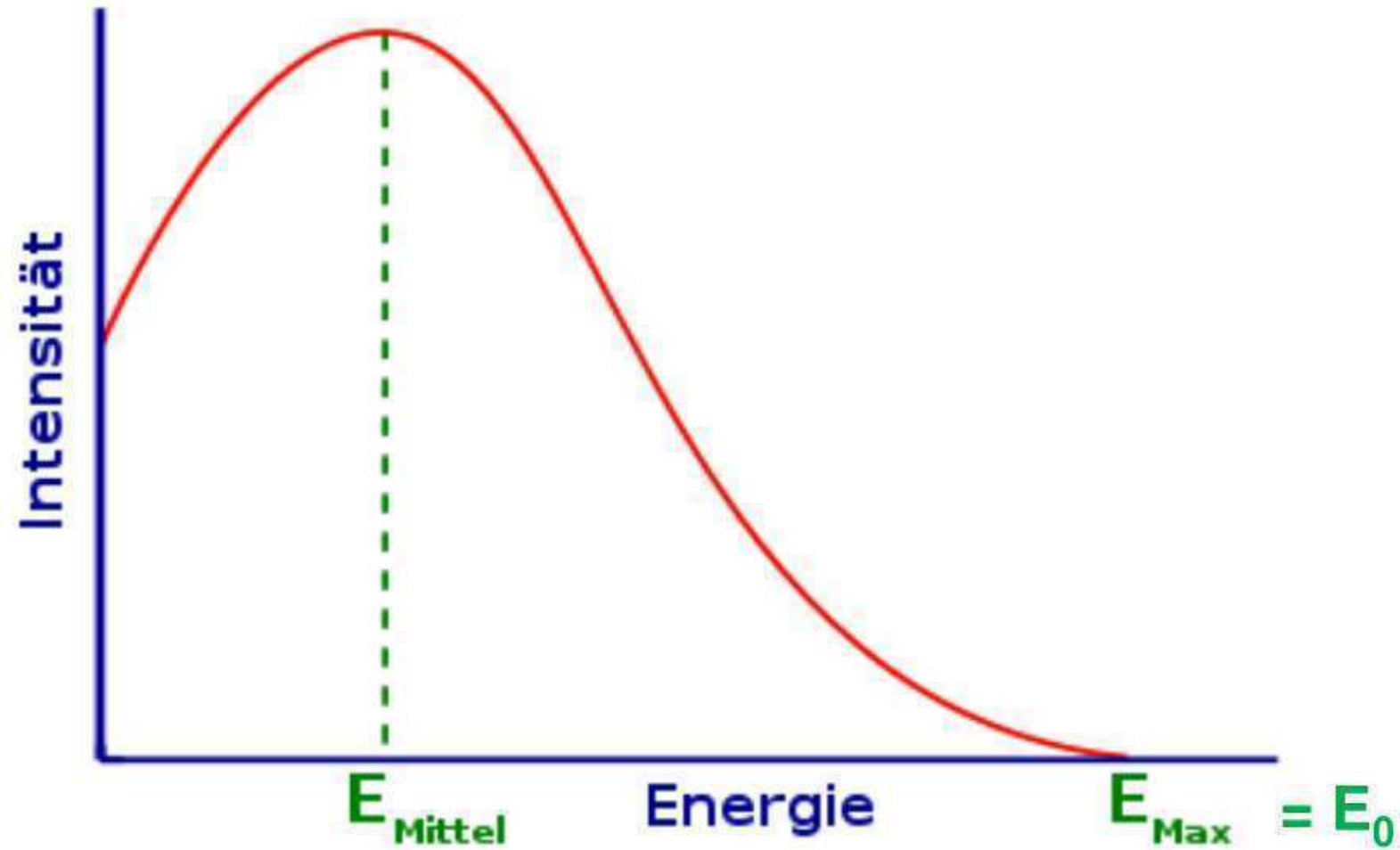
Vergleich Charmonium + Positronium Potential



Vergleich Charmonium + Bottomium

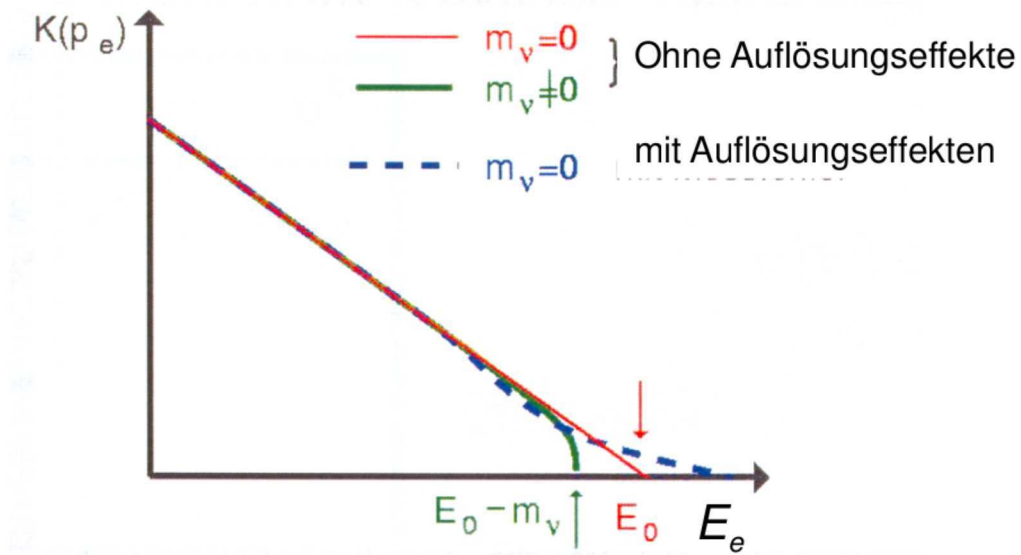
Unterschied zwischen Energieniveaus sehr ähnlich → starke WW ist flavour-blind!

Energieverteilung des Elektrons (Positron) im β Zerfall



Kurie-Plot und Neutrino-Masse

$$\left(\frac{d\Gamma}{p_e^2 dp_e} \right)^{1/2} = C \cdot \sqrt{|A_{fi}|^2} \cdot \sqrt{E_0 - E_e}$$



Vermessung des Tritium-Endpunktes:

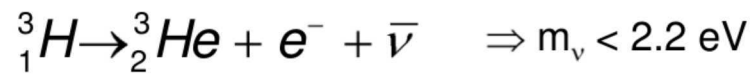


Fig-TP-6.2

KATRIN = Karlsruhe Tritium Neutrino Experiment

Neues Experiment zur Vermessung von Tritium

Neutrinomassen-Sensitivität: 0.2 eV

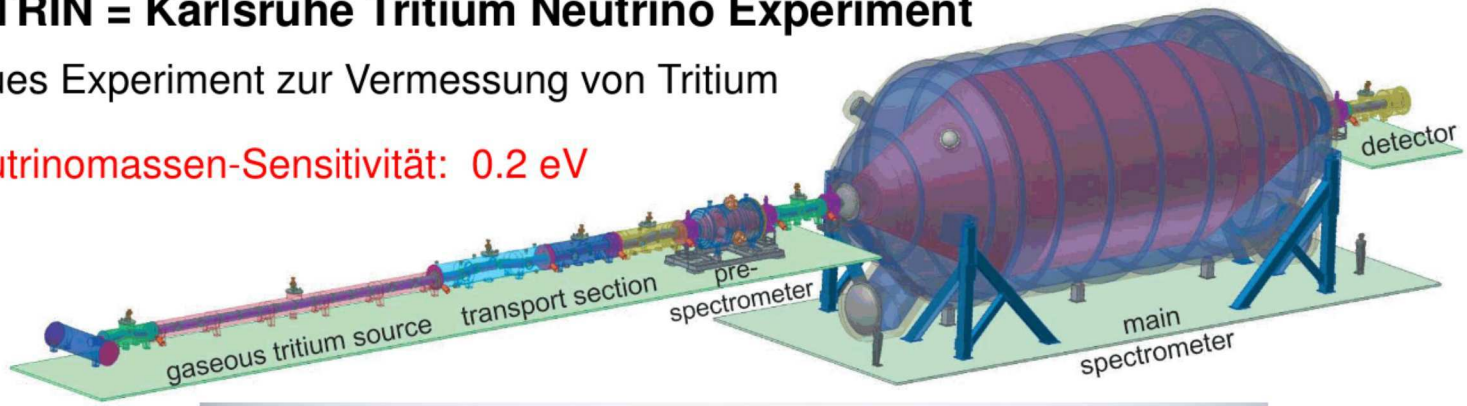
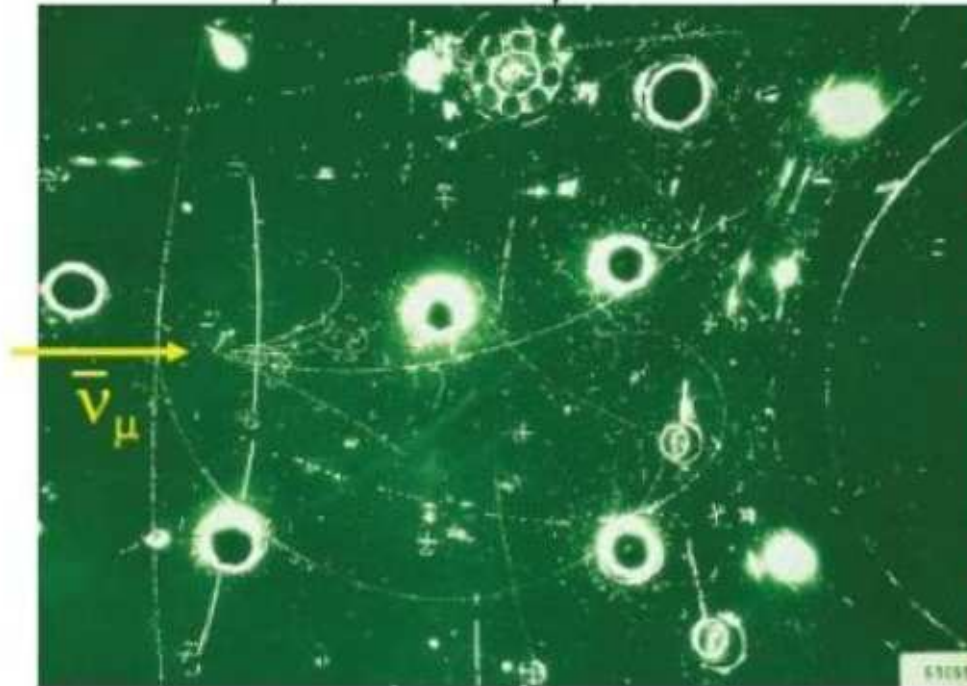


Fig-TP-6.2a

Nachweis des Z^0

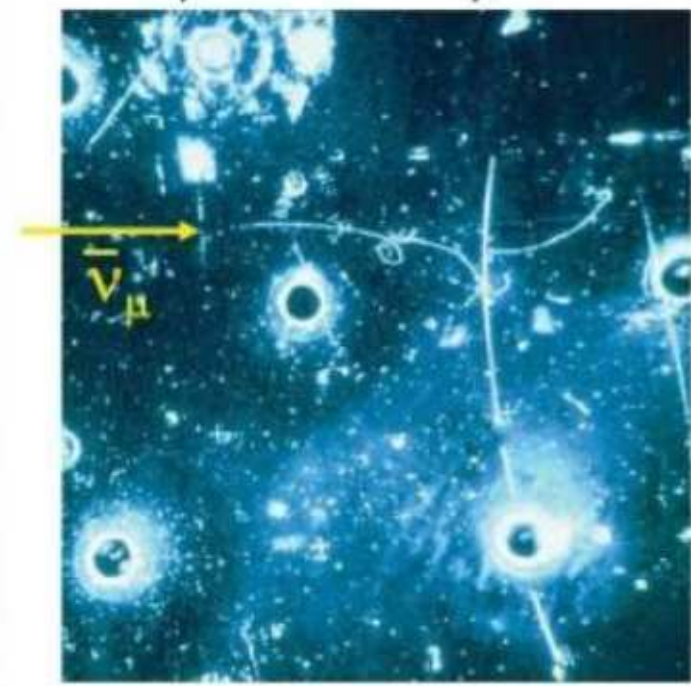
Weak Neutral currents observed in Gargamelle bubble chamber in 1973:

$$\bar{\nu}_\mu + N \rightarrow \bar{\nu}_\mu + \text{hadrons}$$



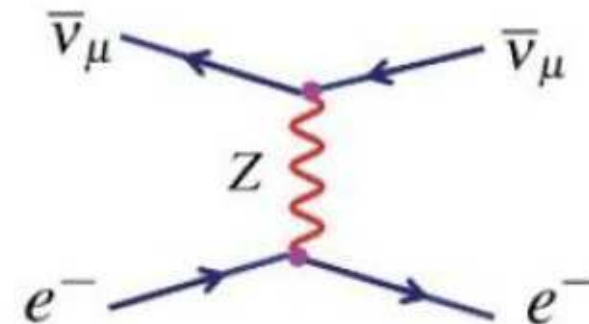
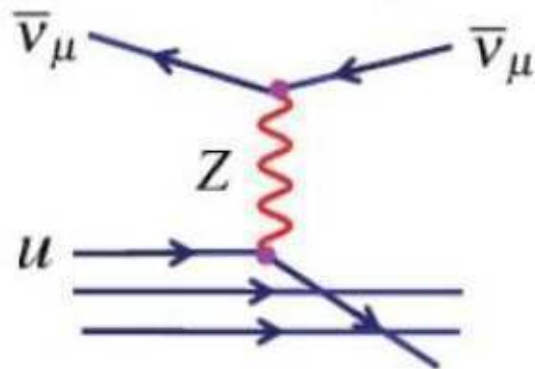
F.J. Hasert et al., Phys. Lett. 46B (1973) 138

$$\bar{\nu}_\mu + e^- \rightarrow \bar{\nu}_\mu + e^-$$



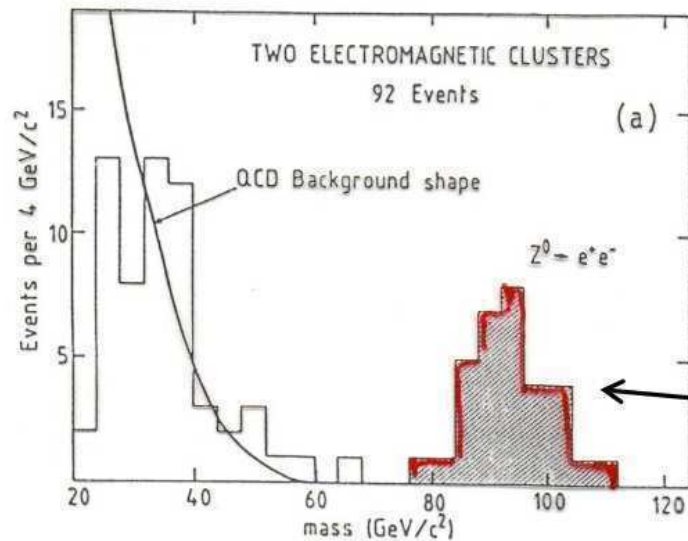
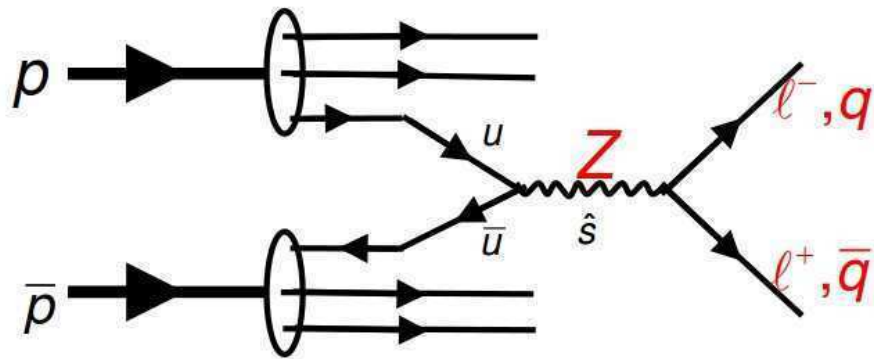
F.J. Hasert et al., Phys. Lett. 46B (1973) 121

No muon in the final state, thus cannot be a CC interaction!

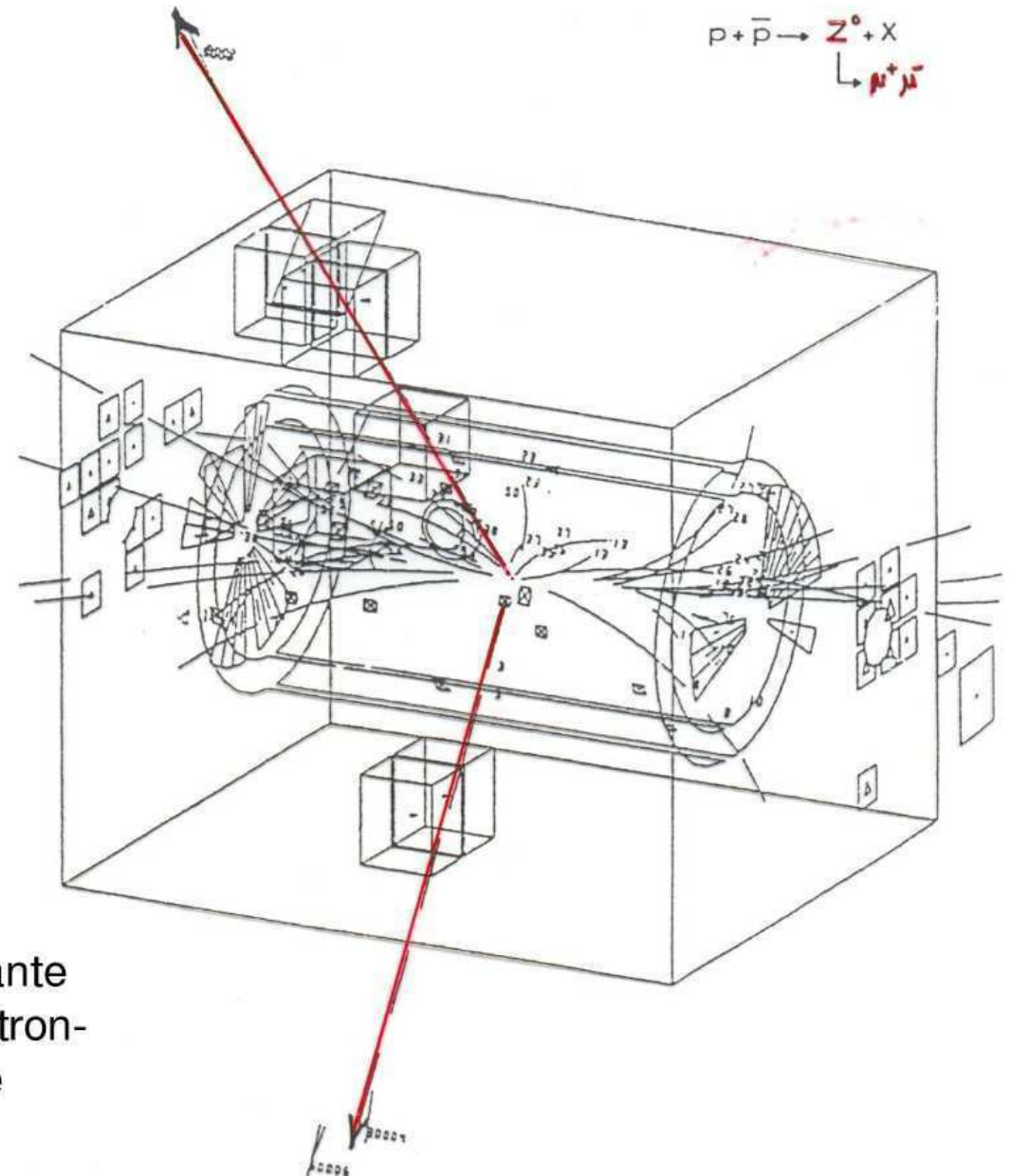


Entdeckung des Z^0

$$p\bar{p} \rightarrow Z \rightarrow f\bar{f} + X$$

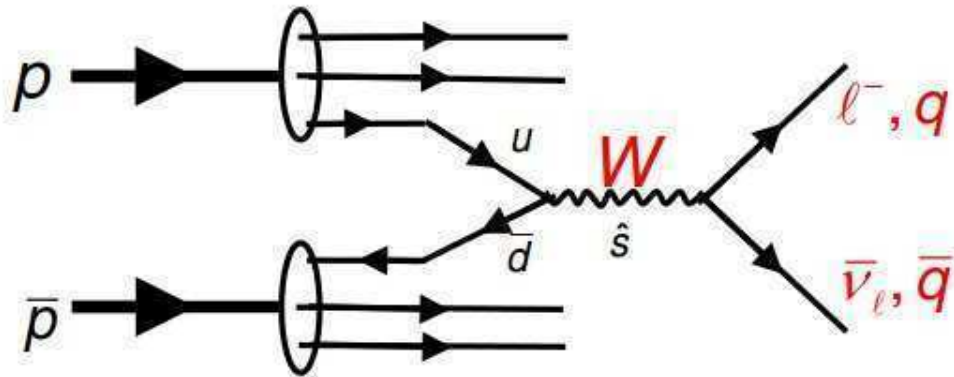


Invariante
Dielektron-
Masse

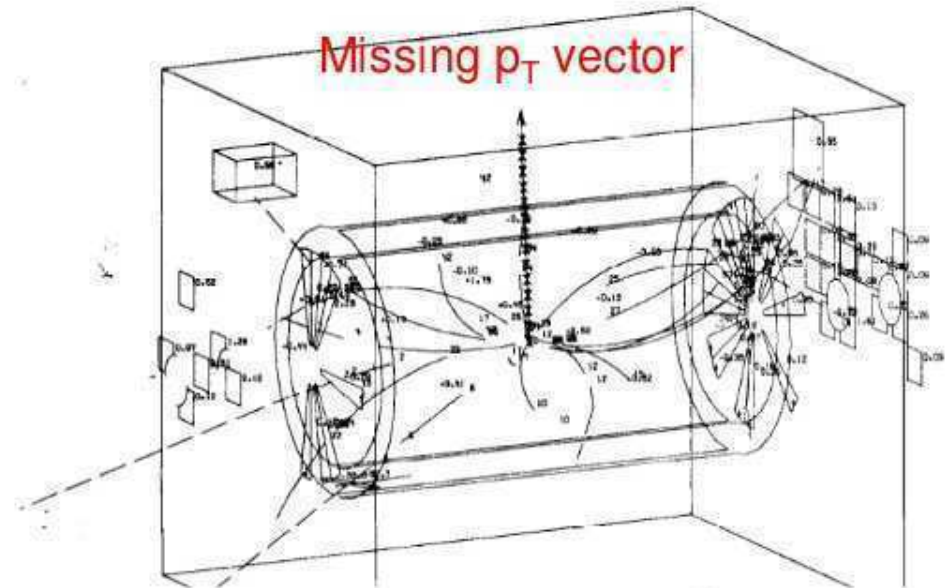


Entdeckung des W^0

$$p\bar{p} \rightarrow W \rightarrow l\bar{\nu}_l + X$$

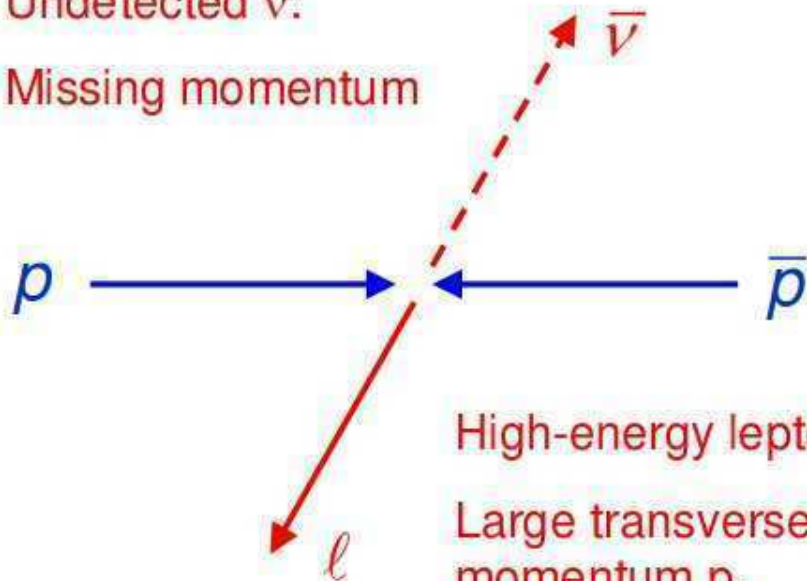


$$W^- \rightarrow e\bar{\nu}$$



Undetected ν :

Missing momentum



High-energy lepton:

Large transverse momentum p_T

$p_T > 1 \text{ GeV}/c$

