

Experimentelle Evidenzen für Pentaquarks

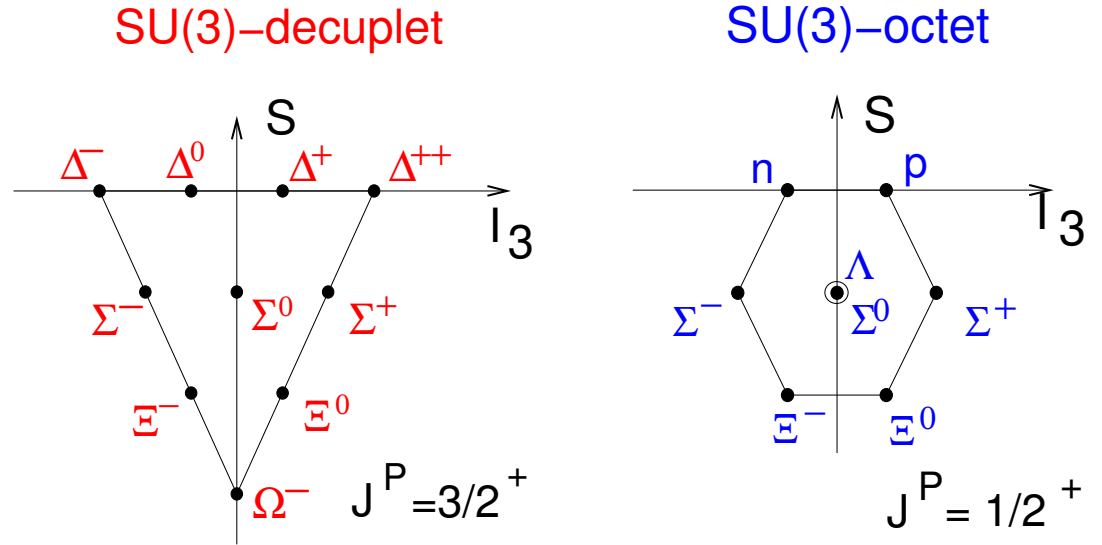
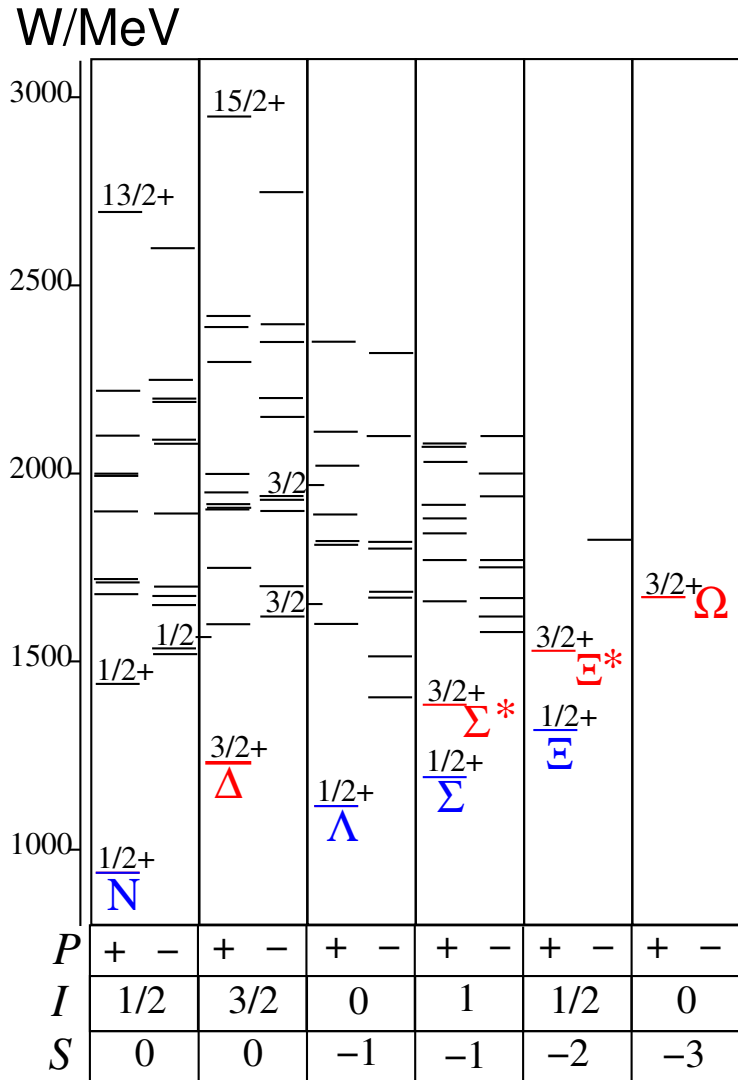
Michael Ostrick

Physikalisches Institut, Universität Bonn

Frühjahrstagung, 29.03.-01.04.2004, Mainz

- **Einführung**
- **Evidenzen für ein Baryon mit positiver Strangeness: $\Theta^+(1540)$**
- **Weitere Kandidaten**
- **Ausblick**

Ordnungsschema für leichte Baryonen



Klassifizierung nach $SU(3)_f$ -Multipletts

Nur Oktetts, Dekupletts und Singletts werden beobachtet.

→ Quarks-Hypothese
(Gell-Mann, Ne'eman, Zweig 1964)

Pentaquarks

- Quarkstruktur der Hadronen

$$|\text{Baryon}\rangle = |qqq\rangle + |qqq \bar{q}q\rangle + \dots$$

$$|\text{Meson}\rangle = |q\bar{q}\rangle + |q\bar{q} q\bar{q}\rangle + \dots$$

- Baryon mit positiver Strangeness (\bar{s} -quark!!) erfordert :

$$|\text{“Pentaquark”}\rangle = |qqqq\bar{q}\rangle + \dots$$

z.B. $|\Theta^+(1540)\rangle = |ddu\bar{u}\bar{s}\rangle$

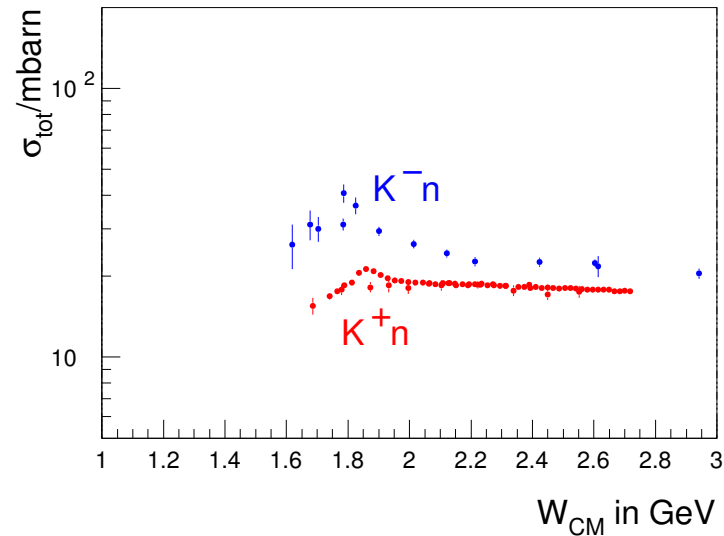
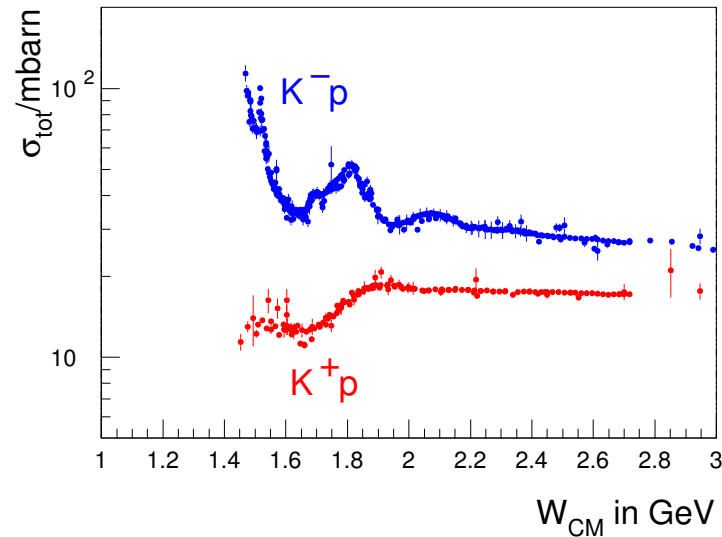
Zerfall in $|\text{Nukleon}\rangle + |\text{Meson}\rangle$

$$|ddu\bar{u}\bar{s}\rangle \rightarrow \begin{array}{ccc} |ddu\rangle & + & |u\bar{s}\rangle \\ n & + & K^+ \end{array}$$

\implies große Breite ??

Kaon–Nukleon – Streuung

totale Wirkungsquerschnitte



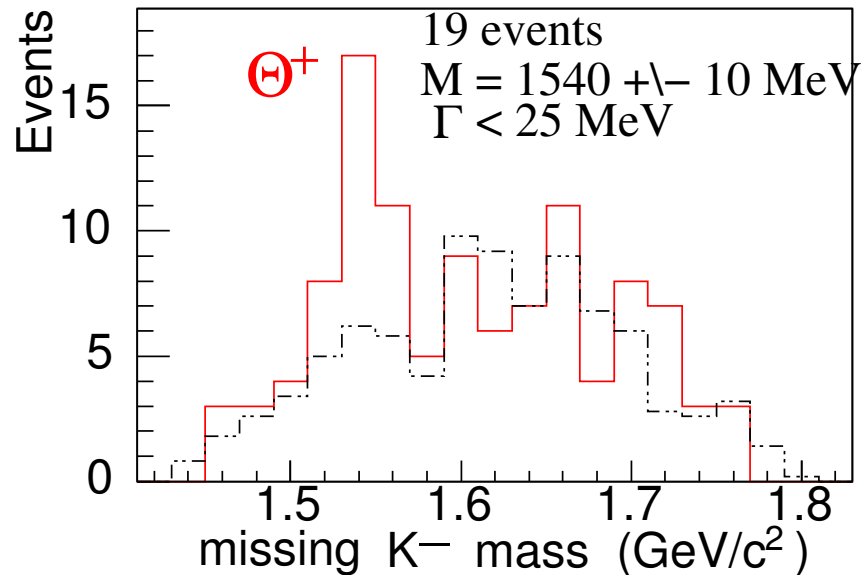
- Strukturen im Verlauf von K^+n und K^+p Wirkungsquerschnitten
→ inelastische Kanäle (z.B. ΔK or K^*N)
- Partialwellenanalysen
→ Obergrenze für die Breite einer K^+n -Resonanz $\Gamma < 1 - 6$ MeV

Schmale K^+n Resonanz: erste Hinweise

LEPS (Spring-8, Japan)



quasi frei, ^{12}C -Target

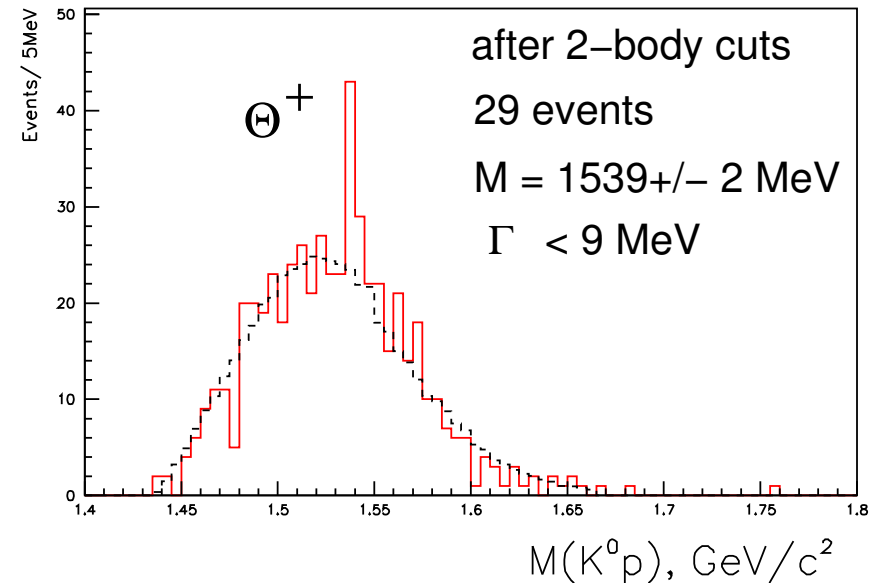


Korrektur der Fermi-Bewegung
essentiell !

DIANA (ITEP, Moskau)



quasi frei in Xe Blaskammer



kein Magnetfeld

Teilchen Identifikation \rightarrow
Ionisationsdichte und Reichweite

Zerfallsvertex $K_S^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$

Vorhersagen und Interpretationen

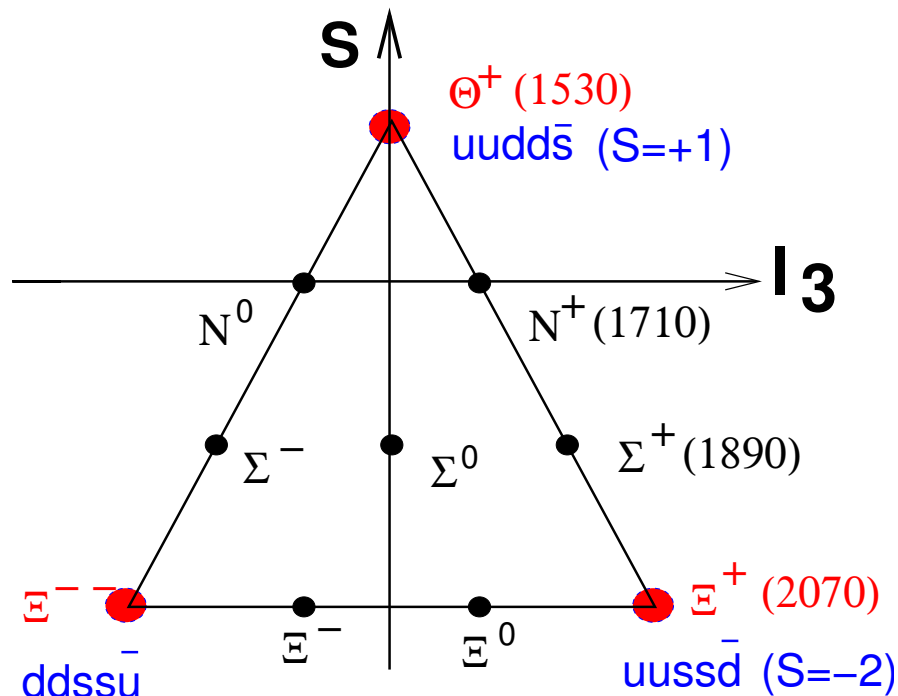
• Soliton Modelle

(Skyrme ('61),
Chemtob ('85), Praszalowicz ('87), Walliser ('92),
Diakonov, Petrov, Polyakov ('97))

– $SU(3)_f$ Antidekuplett ($J^P = 1/2^+$)

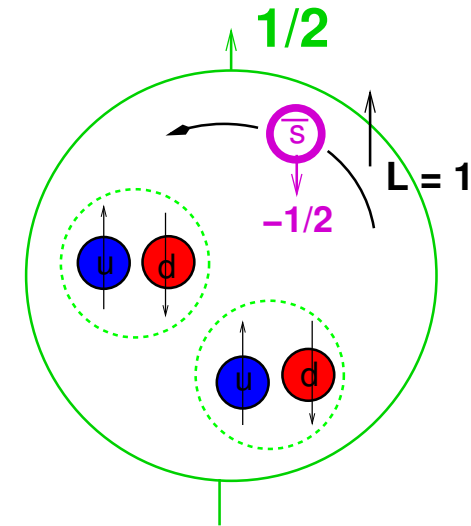
– leichtestes Mitglied:

$$\Theta^+(1530), \Gamma < 15 \text{ MeV}$$



• Quark-Korrelationen

(Jaffe, Wilczek, Karliner, Lipkin)

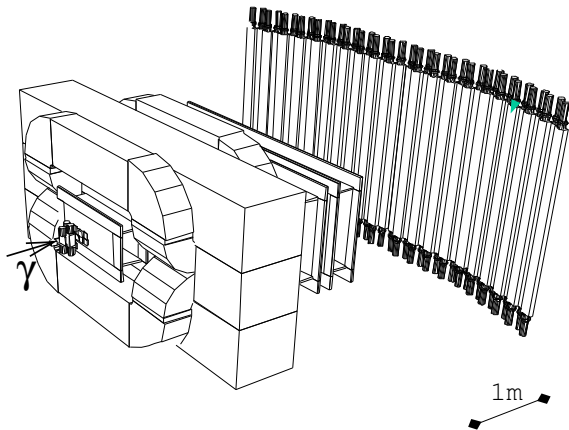


– Antidekuplett + Oktett
($J^P = 1/2^+$)

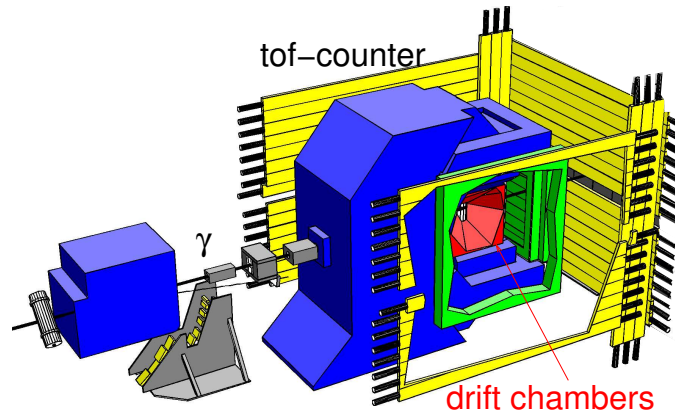
– Partner mit $J^P = 3/2^+$

Photoproduktion

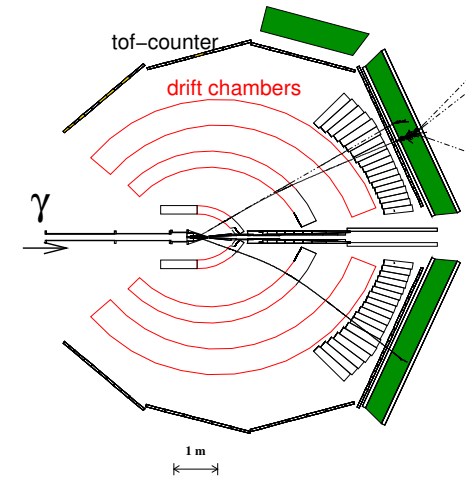
LEPS
Spring-8, Japan



SAPHIR
ELSA, Univ. Bonn



CLAS
Jefferson Lab



Dipolmagnet
Spurdetektoren
Aerogel Cherenkov Zähler
Flugzeit Messung
 $E_{\gamma}^{max} = 2.4 \text{ GeV}$
 $N_{\gamma} \sim 10^6 / \text{s}$

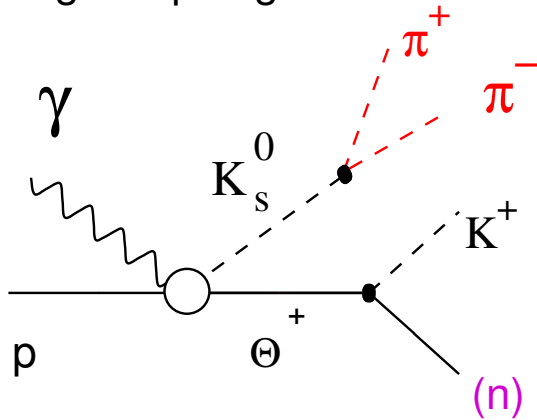
Dipolmagnet
Driftkammern
Flugzeit Messung
 $E_{\gamma}^{max} = 2.6 \text{ GeV}$
 $N_{\gamma} \sim 10^6 / \text{s}$

toroidales Magnetfeld
Driftkammern
Flugzeit Messung
 $E_{\gamma}^{max} = 6 \text{ GeV}$
 $N_{\gamma} \sim 10^7 / \text{s}$

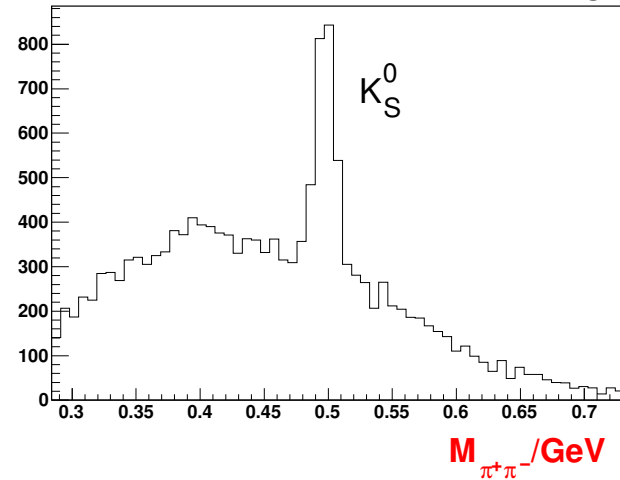
Teilchen Identifikation durch Impuls- und Flugzeitmessung

SAPHIR: $\gamma p \rightarrow K_s^0 K^+ n$

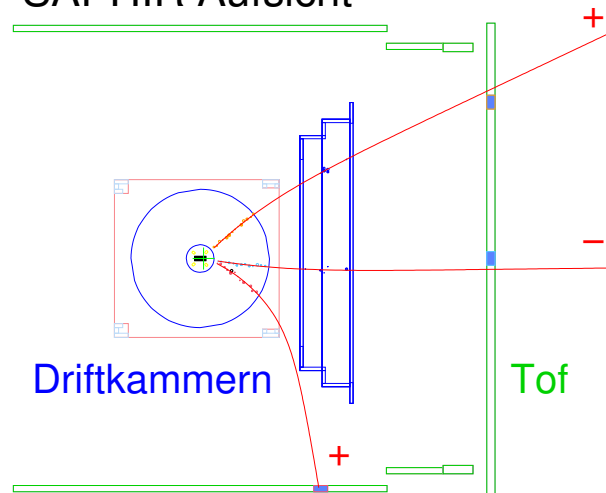
Ereignistopologie



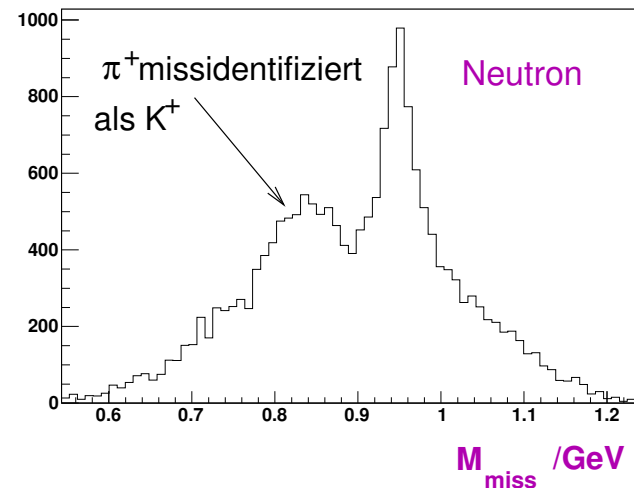
$\pi^+ \pi^-$ Massenverteilung



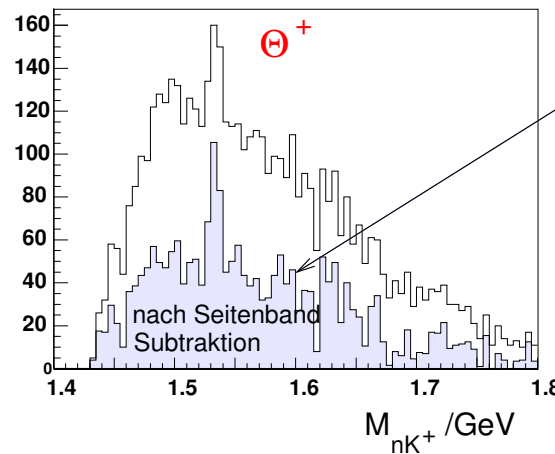
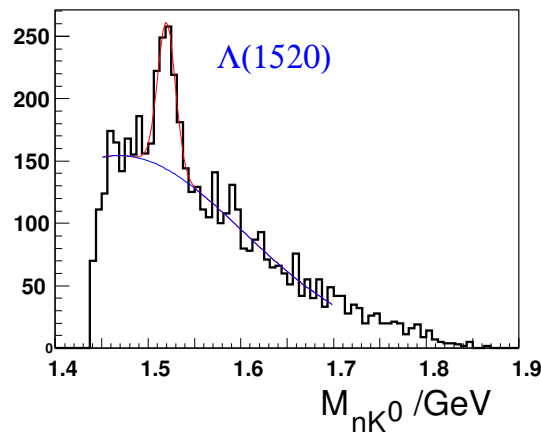
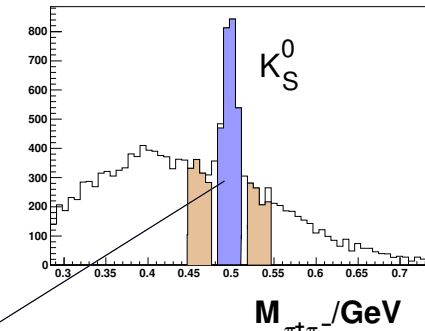
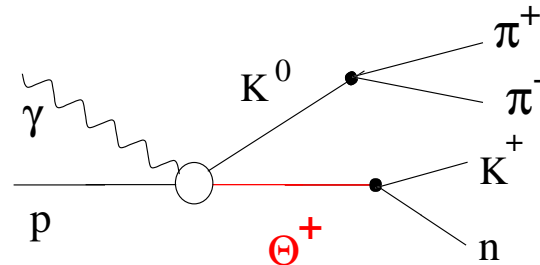
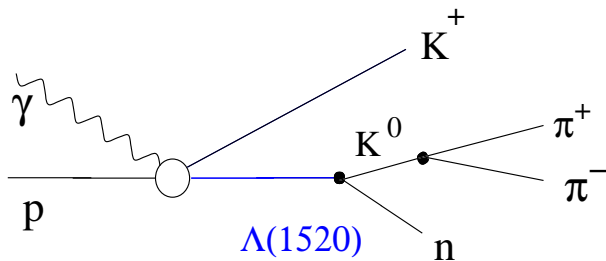
SAPHIR Aufsicht



"missing mass" Verteilung



SAPHIR: $\Lambda(1520)$ und Θ^+ Erzeugung

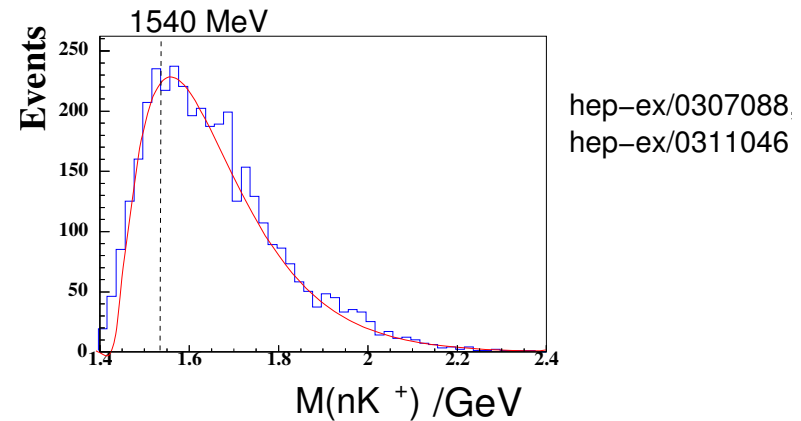
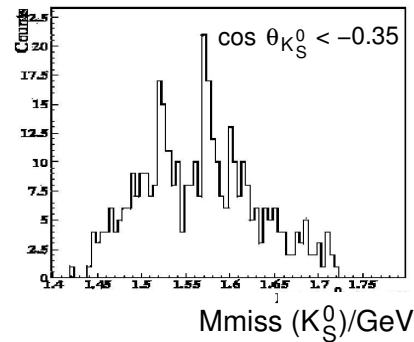
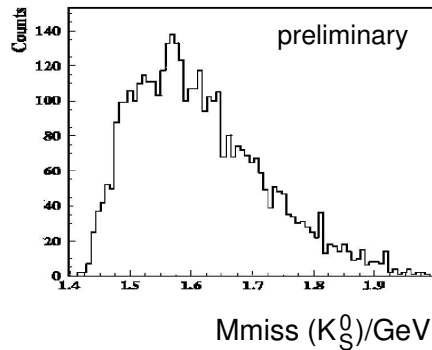
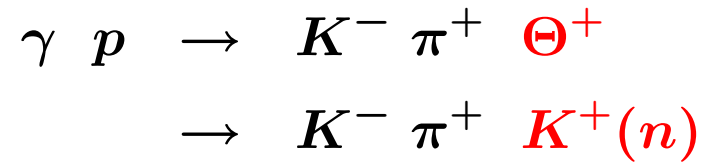


- $M = 1540 \pm 6 \text{ MeV}$
 $\Gamma < 25 \text{ MeV}$
- Wirkungsquerschnitt:
 $\sigma \sim 50 \text{ nb}$
- K_S^0 verstärkt
in Vorwärtsrichtung

Kein Hinweis auf Isopartner: $\Theta^{++} \rightarrow pK^+$

bislang kein Signal im Zerfallsmodus $\Theta^+ \rightarrow pK^0$!?

Photoproduktion am Proton: CLAS-Resultate



K_S^0 in Rückwärtsrichtung \rightarrow

$$M = 1523 \pm 5 \text{ MeV}$$

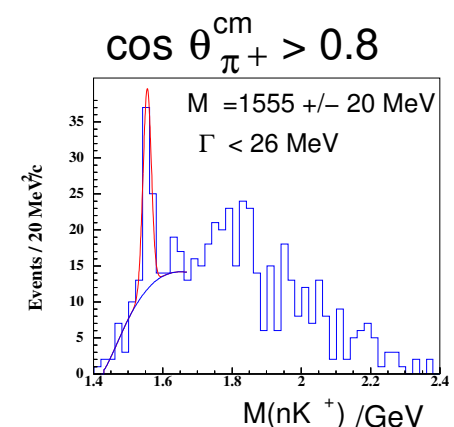
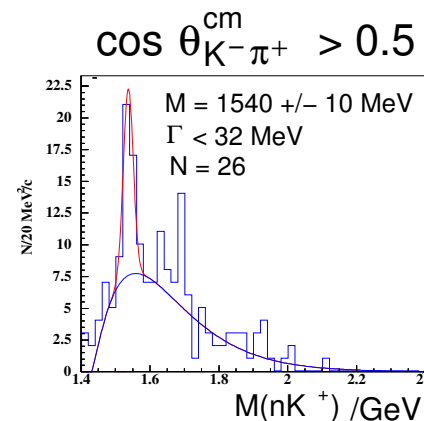
and

$$M = 1573 \pm 5 \text{ MeV}$$

$$\sigma \sim 10\text{--}25 \text{ nb}$$

\rightarrow dedizierte Datennahme im Mai

kein Signal ohne weitere Winkelschnitte

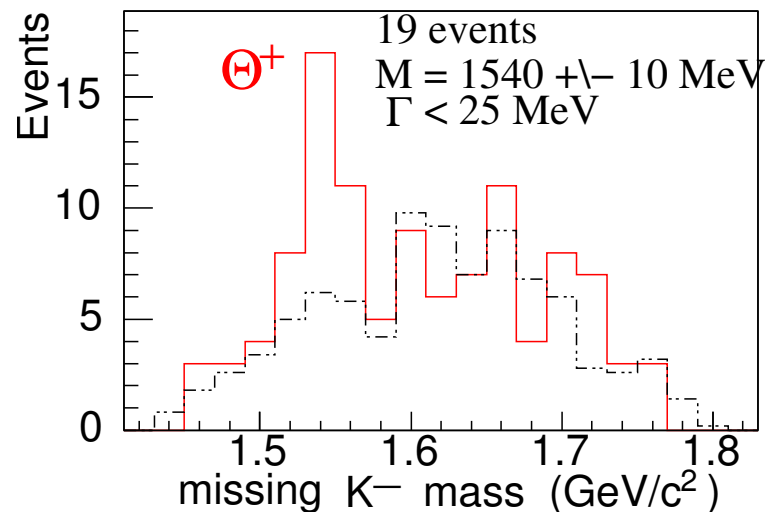


Photoproduktion am Neutron

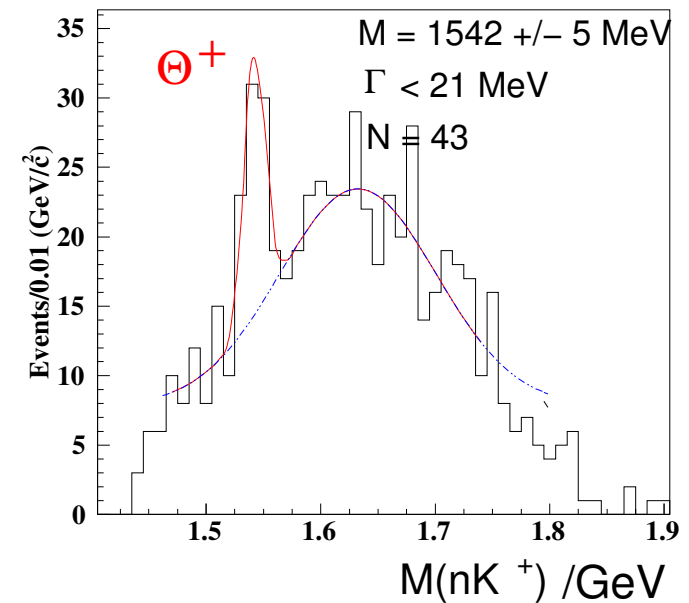
LEPS (hep-ex/0301020)



quasi frei, ^{12}C -Target



CLAS (hep-ex/0307018)



Korrektur der Fermi-Bewegung!!

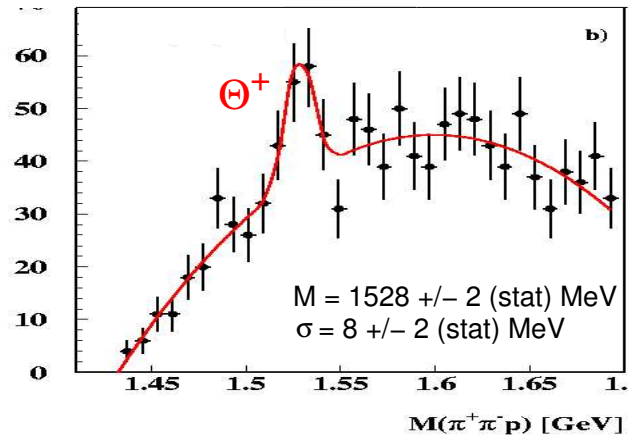
bestätigt durch
neue Daten mit D -target

$\sigma \sim 60 - 160 \text{ nb}$

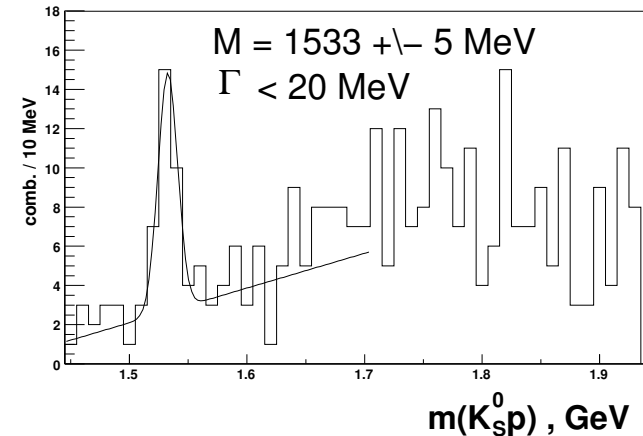
dedizierte Datennahme ab April

Evidenzen für den Zerfall $\Theta^+ \rightarrow pK_S^0$

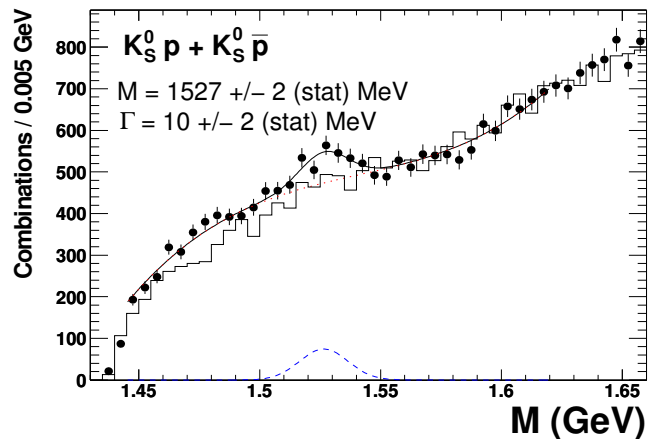
Hermes: $eD \rightarrow pK_S^0 + X$
(hep-ex/0312044)



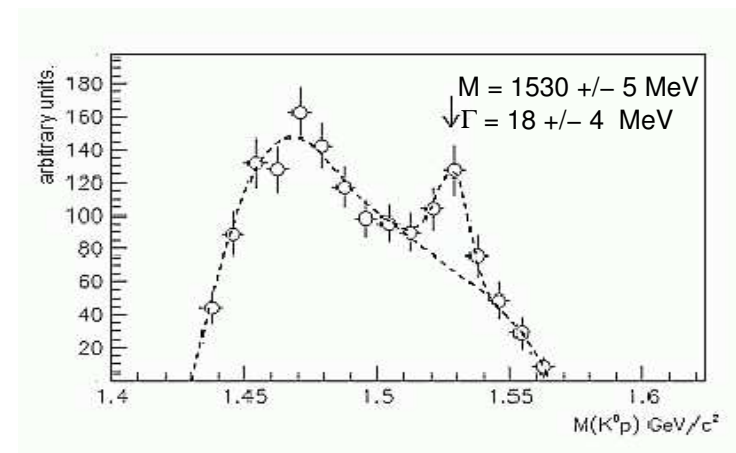
$\nu_\mu(\bar{\nu}_\mu)A \rightarrow \mu^-(\mu^+) pK_S^0 + X$
(hep-ex/0309042)



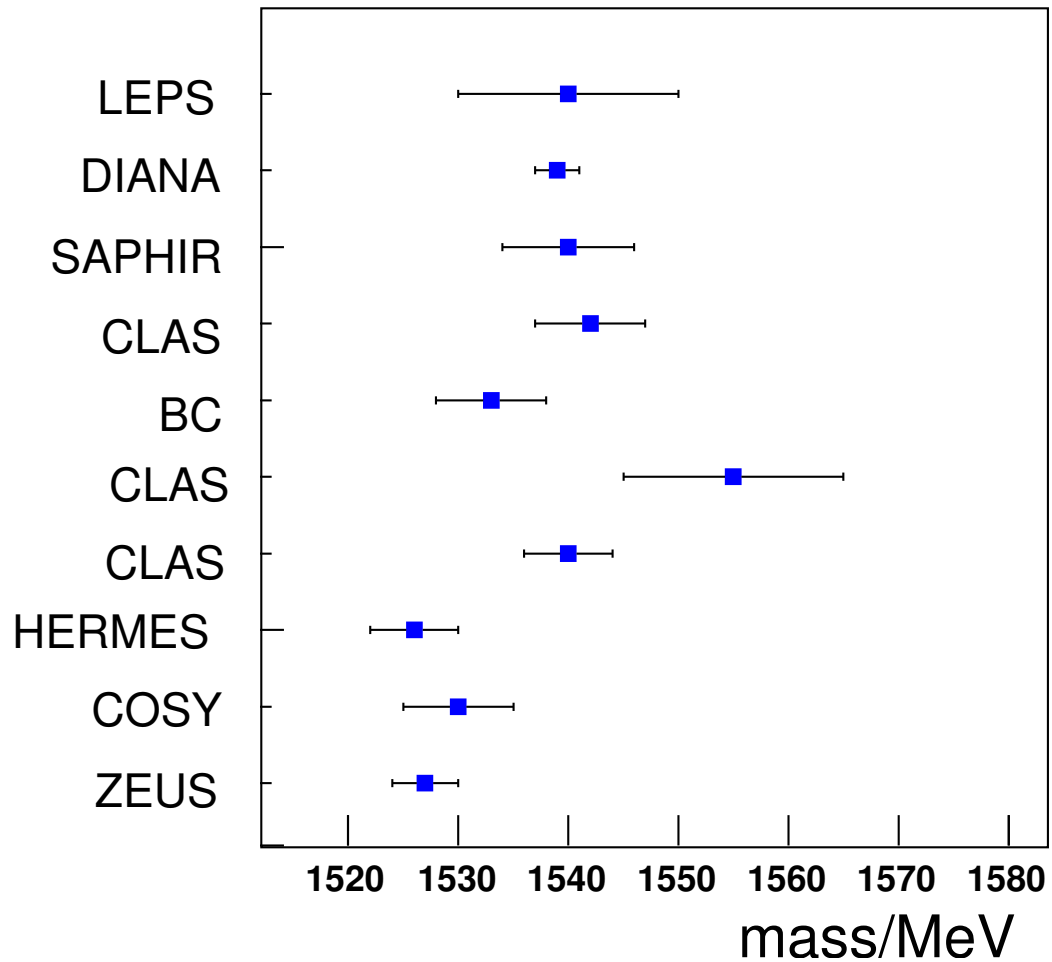
Zeus: $ep \rightarrow pK_S^0 + X$
(hep-ex/0403051)



COSY-TOF: $pp \rightarrow \Sigma^+ pK_S^0$
(hep-ex/040311)



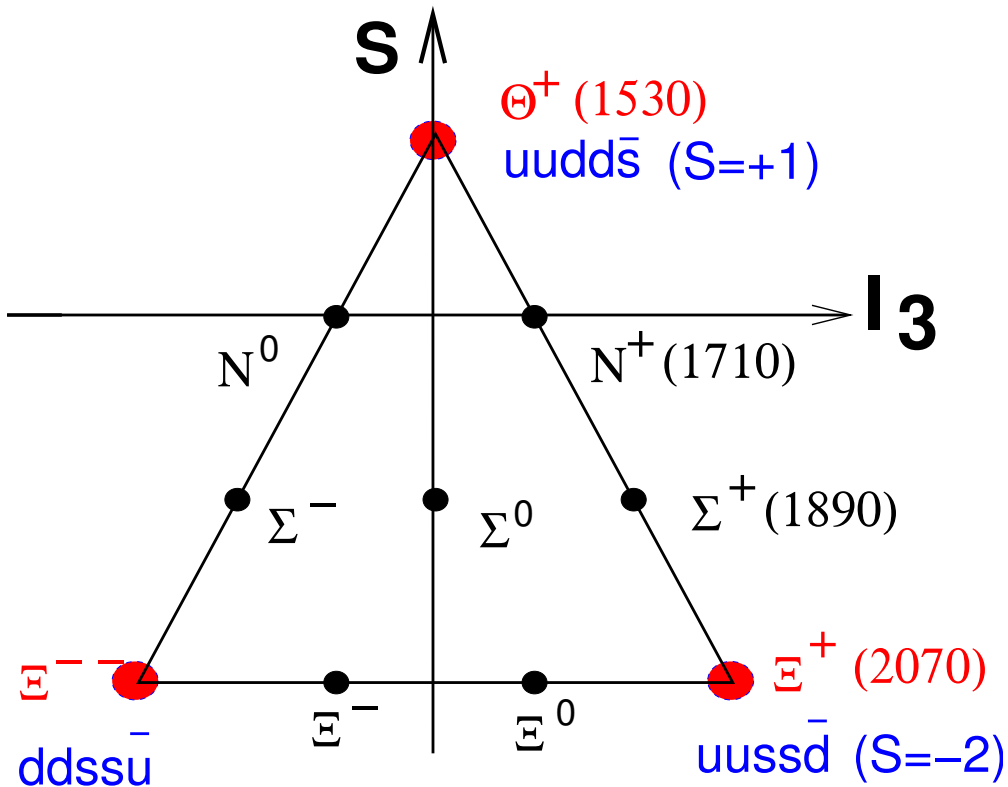
Evidenzen für die Existenz des Θ^+



Suche bei H1, Hera-B, STAR,
Compass, . . .
bislang erfolglos

Weitere Zustände ?

- $SU(3)_f$ Antidekuplett ?



- Quantenzahlen?
(Spin, Isospin, Parität)

- angeregte Zustände?

- Zustände mit schweren Quarks?

$$\Theta_c^0 = |uudd\bar{c}\rangle + \dots$$

$$\Theta_b^+ = |uudd\bar{b}\rangle + \dots$$

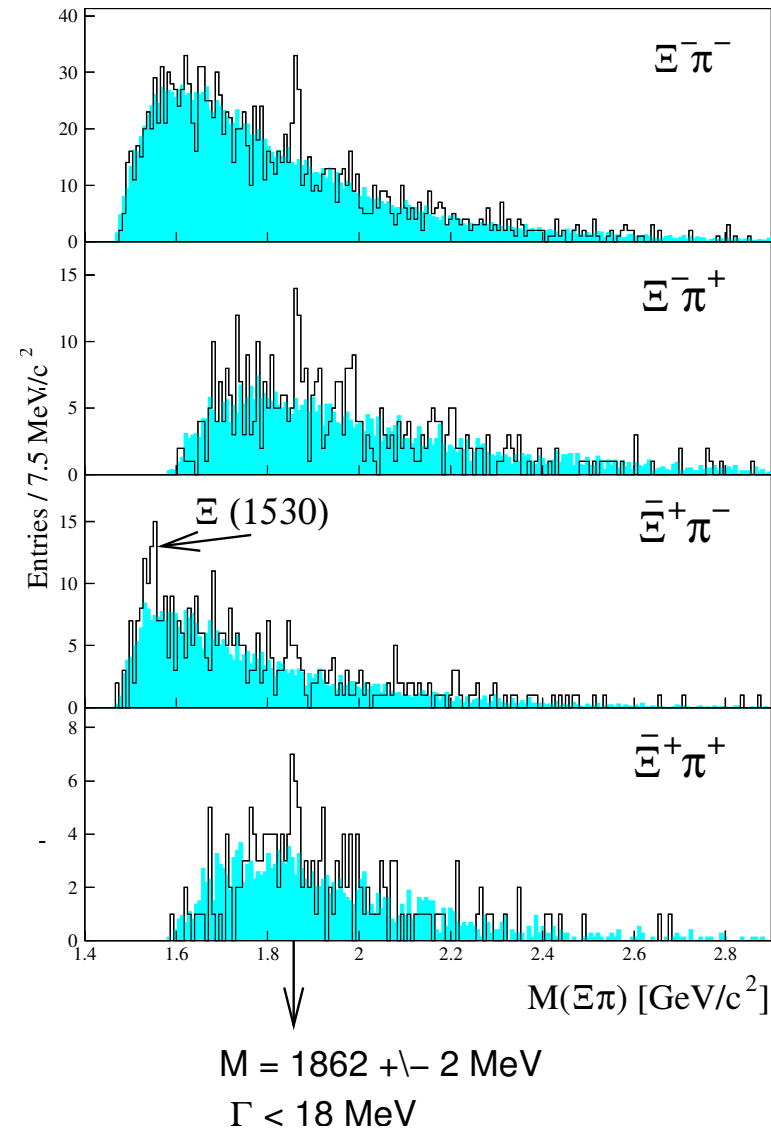
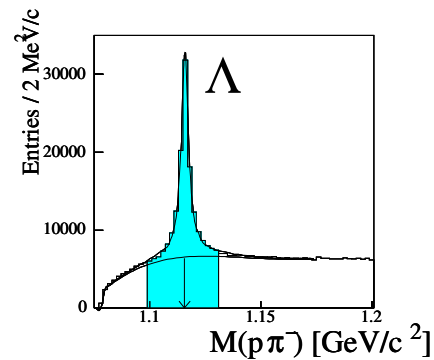
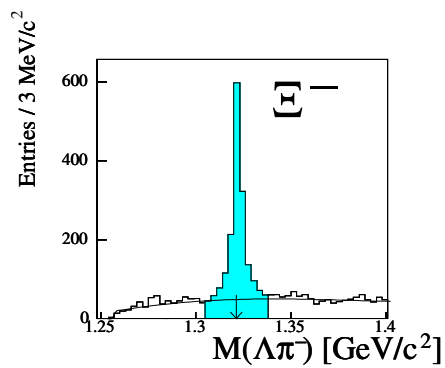
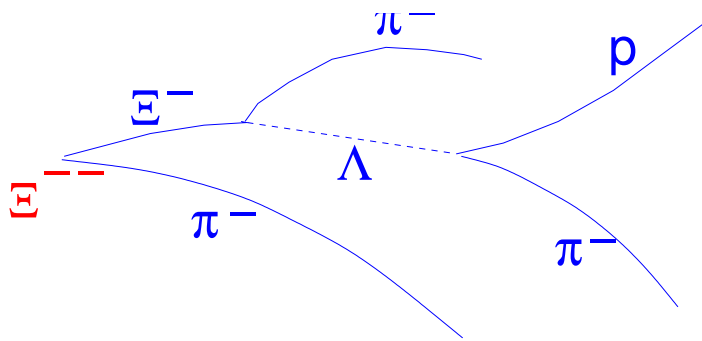
NA49: Indizien für Ξ^{--} Pentaquarks

3

pp Kollisionen am CERN-SPS
 $\sqrt{s} = 17.2 \text{ GeV}$

(hep-ex/0310014)

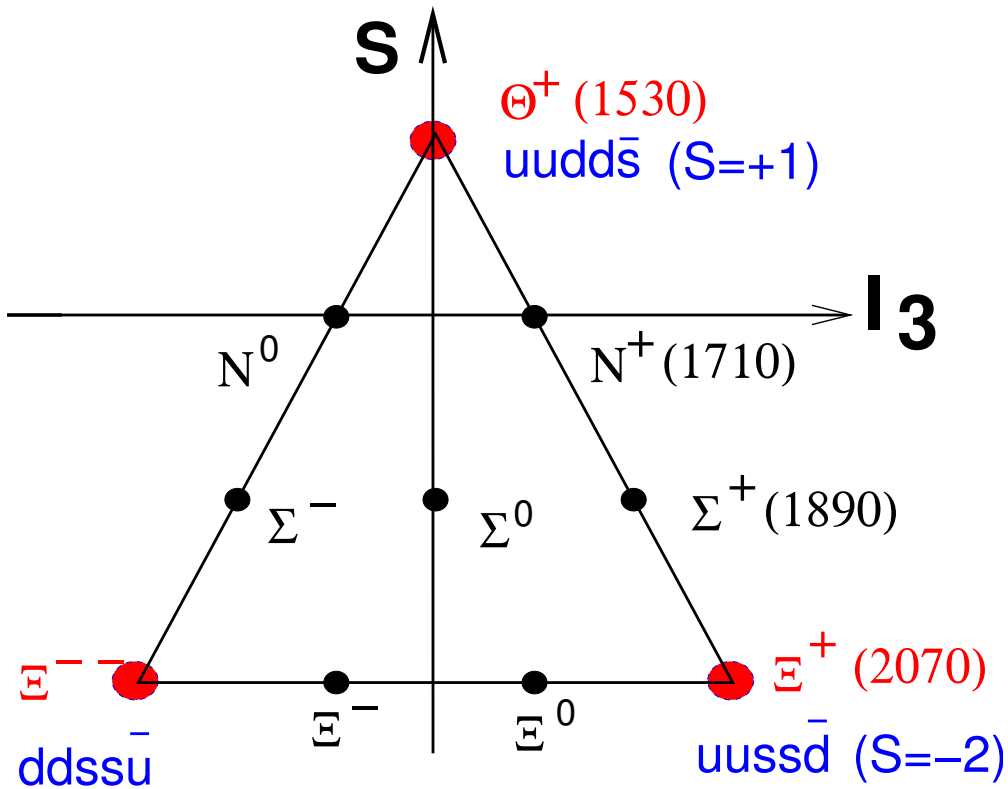
Ereignistopologie:



bislang nicht bestätigt durch STAR, Zeus, H1, Hera-B, Compass, WA89, . . . !!!

Weitere Zustände ?

- $SU(3)_f$ Antidekuplett ?



- Quantenzahlen?
(Spin, Isospin, Parität)

- angeregte Zustände?

- Zustände mit schweren Quarks?

$$\Theta_c^0 = |uudd\bar{c}\rangle + \dots$$

$$\Theta_b^+ = |uudd\bar{b}\rangle + \dots$$

H1 an HERA: Indizien für ein Θ_c^0

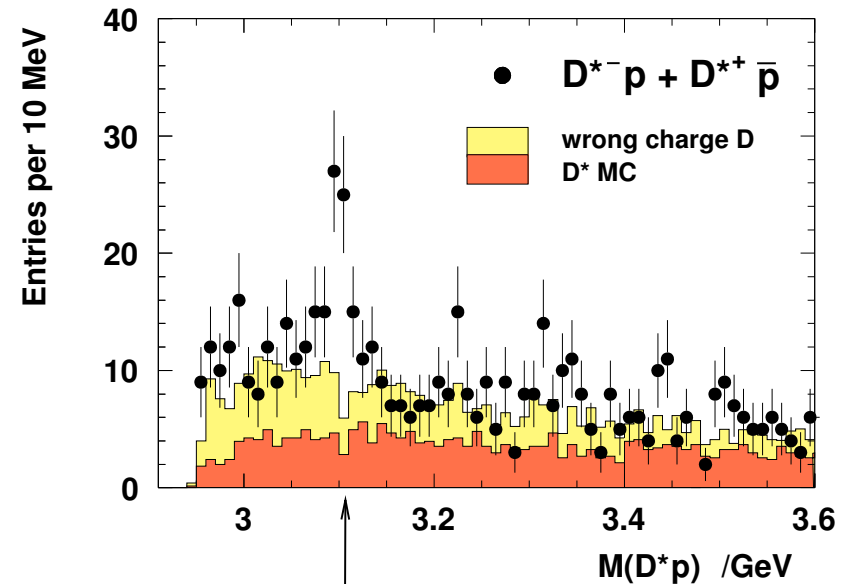
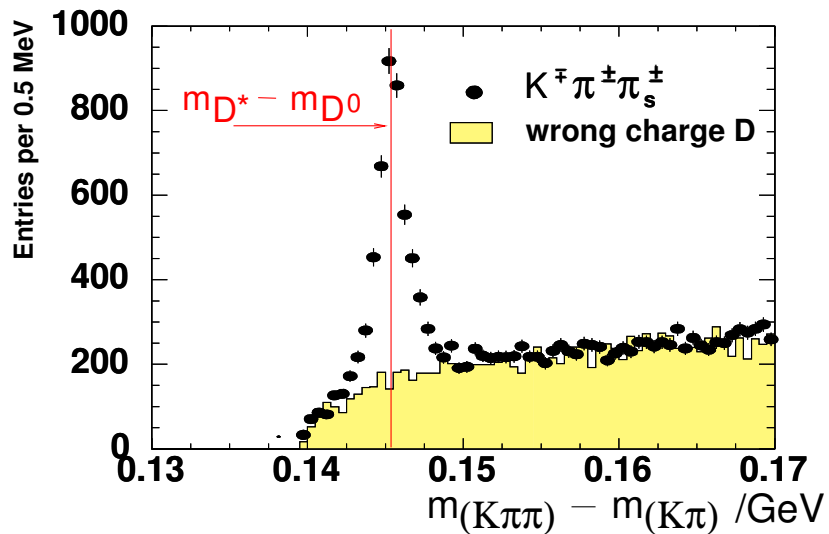
ep Kollisionen $\sqrt{s} = 300 \text{ GeV}$ (hep-ex/0403017)

$$\Theta_c^0 \rightarrow D^{*-} p$$

$$|uudd\bar{c}\rangle \rightarrow |d\bar{c}\rangle + |uud\rangle$$

Signatur:

$$\Theta_c^0 \rightarrow p D^{*-} \rightarrow \pi^- \bar{D}^0 \rightarrow K^+ \pi^-$$



$$M = 3099 \pm 7 \text{ MeV}$$

$$\Gamma \sim 12 \text{ MeV}$$

\Rightarrow Suche im Gange am
CERN, DESY, RHIC, ...

Zusammenfassung und Ausblick

Hinweise auf die Existenz von Pentaquarks mehren sich.
Dennoch: Klärungsbedarf in vielen Punkten!

• $\Theta^+(1540)$

- Übereinstimmung mehrerer Experimente, Diskrepanzen im Detail
→ dedizierte Datennahmen im April/Mai geplant
- Quantenzahlen
kein Hinweis auf Isopartner: $\Theta^{++} \rightarrow pK^+$
Spin, Parität → Winkelverteilungen, Polarisationsobservable ($\vec{\gamma}\vec{N}$, $\vec{p}\vec{p}$)

• Ξ^{--}

- NA49 Resultat bislang nicht bestätigt
- neue Daten (γN und pN) ?!

• Θ_c^0

- H1-Signal bislang einziges Indiz