

Schwache Wechselwirkung

Erscheinungsformen:

A

rein leptonische Zerfälle (Reaktionen)

Beispiel:

1

$$\mu^+ \longrightarrow e^+ \nu_e \bar{\nu}_\mu \quad 100\% \quad -\varepsilon$$

$$\mu^- \longrightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\mu \quad 100\% \quad -\varepsilon$$

$$\tau^+ \longrightarrow \mu^+ \nu_\mu \bar{\nu}_\tau \quad 17,5\%$$

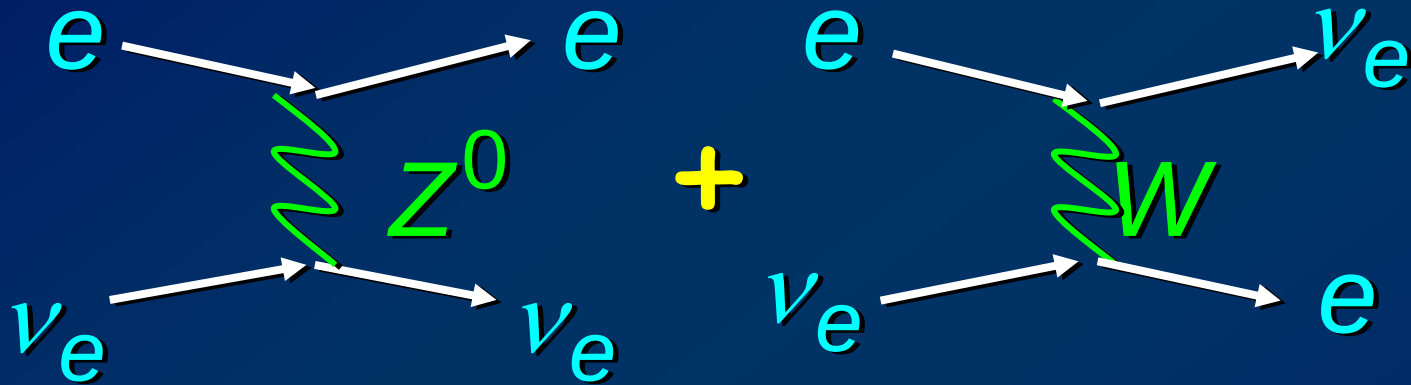
$$\tau^+ \longrightarrow e^+ \nu_e \bar{\nu}_\tau \quad 17,9\%$$

$$\tau^- \longrightarrow \mu^- \bar{\nu}_\mu \nu_\tau \quad 17,5\%$$

$$\tau^- \longrightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\tau \quad 17,9\%$$

2

$$\nu_e + e \longrightarrow \nu_e + e$$



neutraler Strom

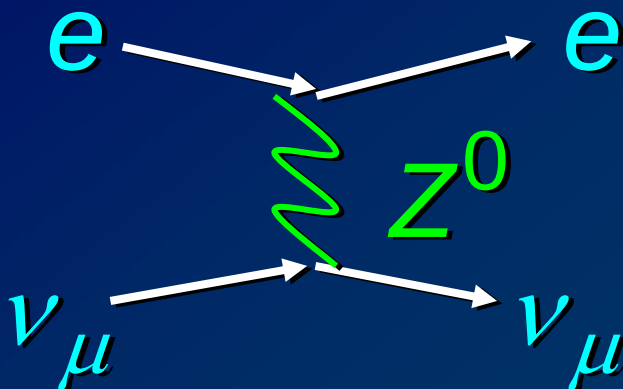
geladener Strom (Fermi !!)

!

$$\sigma(\nu_e + e) = \sigma(NC) + \sigma(CC) - \text{Interferenz}$$

↑
SM !!

3

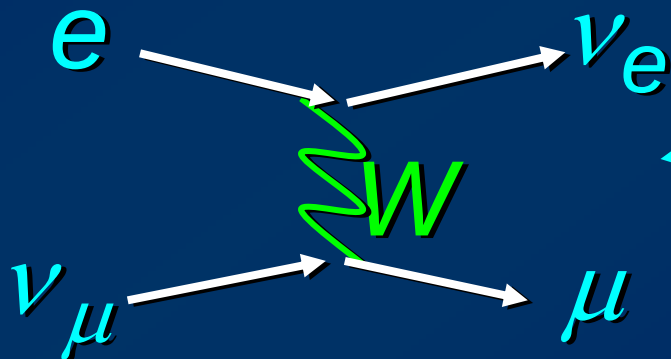


„rein“ neutraler Strom

$$(WQ: \sim 10^{-45} \text{ cm}^2 / \text{MeV})$$

4

inverser μ -Zerfall



$$\sigma_{\text{exp}} = (16,9 \pm 1,0) E_\nu \cdot 10^{-42} \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{\text{theo}} = (17,2 \pm 0,3) E_\nu \cdot 10^{-42} \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{\text{theo}} [(V+A)\text{-Kopplung}] = (5,7 \pm 0,5) E_\nu \cdot 10^{-42} \text{ cm}^2$$

E_ν in GeV

5

$$e^+ + e^- \xrightarrow{Z^0} \mu^+ + \mu^-$$

$$\quad \quad \quad (\tau^+ + \tau^-)$$

$(f + \bar{f}) \leftarrow \text{Fermion} + \text{A-Fermion}$



e.m. Beitrag dominierend

6

$$e^+ + e^- \xrightarrow{Z^0} \nu_i \bar{\nu}_i \quad (i = 1, 3)$$

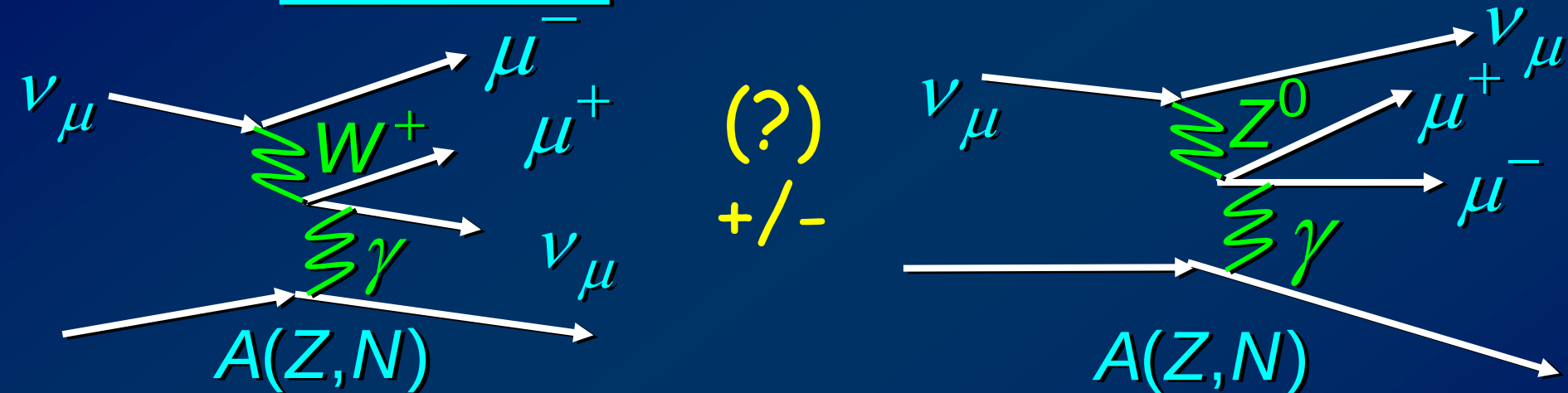
dominierender Prozess der ν -Produktion in
Super-Nova (II)-Explosionen

6

Neutrino Trident - Produktion

$$\nu_\mu + A(Z, N) \longrightarrow \nu_\mu + \mu^+ + \mu^- + A(Z, N)$$

Katalysator



Vorhersage des S.M.:

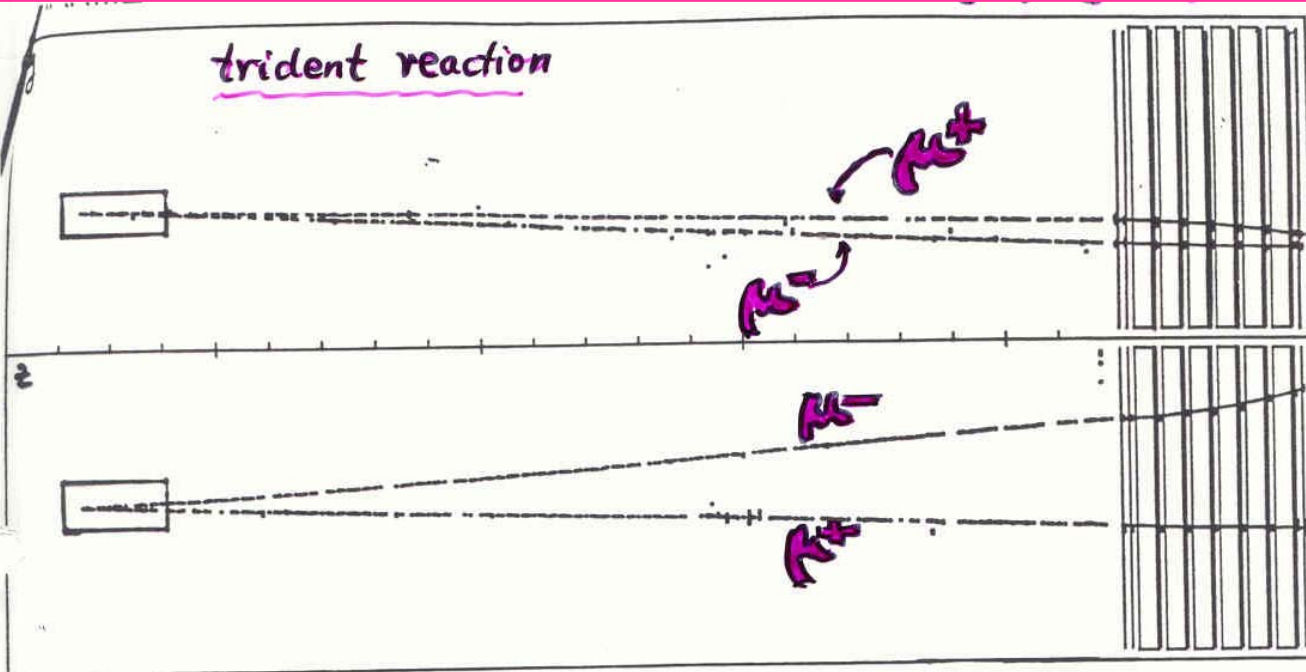
destruktive Interferenz !!

$$\sigma_{\text{exp}} = (3,0 \pm 0,9 \pm 0,5) \cdot 10^{-41} \text{cm}^2$$

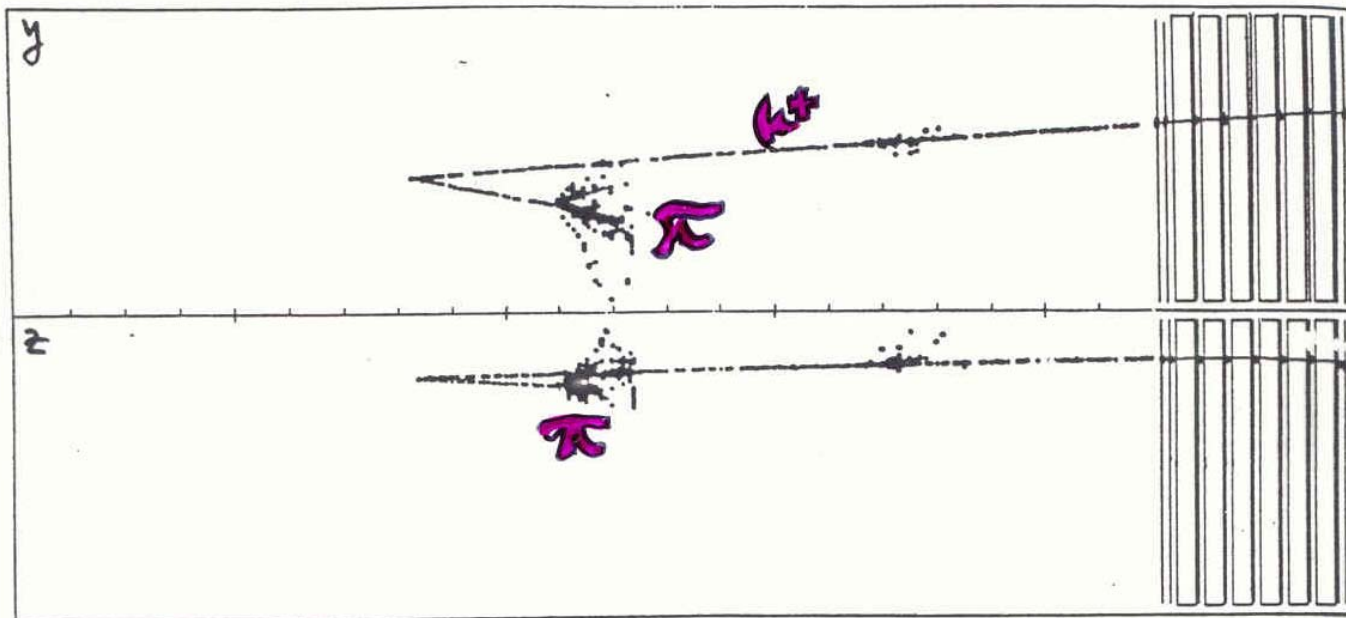
$$\sigma_{\text{theo}} = (1,9 \pm 0,4) \cdot 10^{-41} \text{cm}^2 \quad (Z^0 - W)$$

$$\sigma_{\text{theo}} = (3,6 \pm 0,4) \cdot 10^{-41} \text{cm}^2 \quad (Z^0 + W)$$

trident reaction



ca. 25 m



CHARM-
expmt

B semi-leptonische Prozesse (ladungsverändernd)

Ⓘ „flavour“ - erhaltend ($\Delta S = \Delta C = \Delta B = 0$)

allgemeine Form:

$$q_1 \bar{q}_2 \rightarrow \ell \bar{\nu}_\ell \quad (Q(\ell) = -1)$$

oder:

$$d \rightarrow u e^- \bar{\nu}_e$$

$$u \rightarrow d e^+ \nu_e$$

$$e^- u \rightarrow d \nu_e$$

$$\bar{\nu}_e u \rightarrow e^+ d$$

$$d \bar{u} \rightarrow e^- \bar{\nu}_e$$

entsprechend
für

$$\mu^\pm, \tau^\pm$$

$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}$ Übergänge
in
vertikaler
Richtung

Beispiel:

1

nuklearer β -Zerfall

$$n \longrightarrow p + e^{-} + \bar{\nu}_e$$

$$p \longrightarrow n + e^{+} + \nu_e$$

beachte
 ΔL -Auswahlregeln

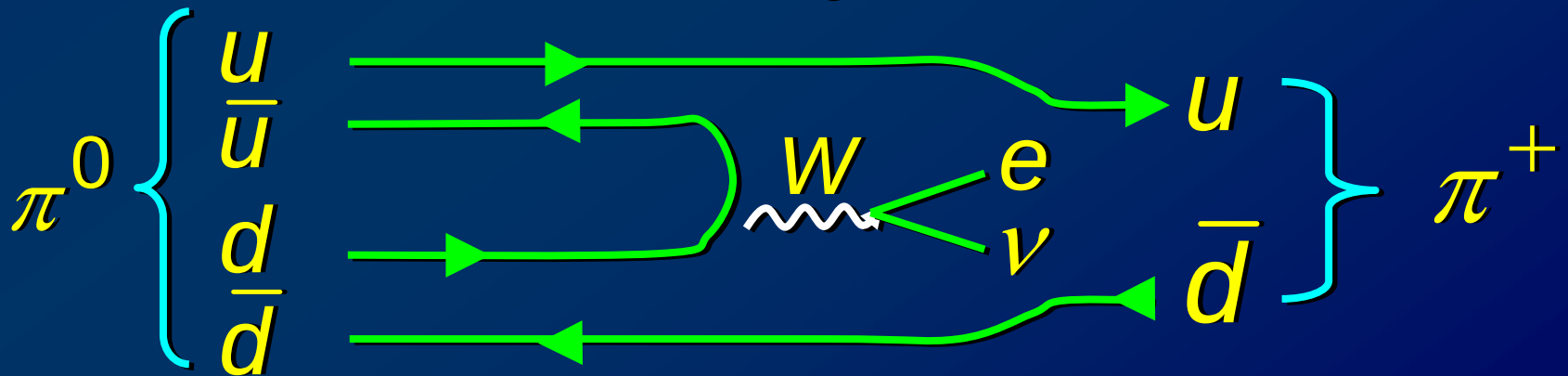
2

π -Zerfall

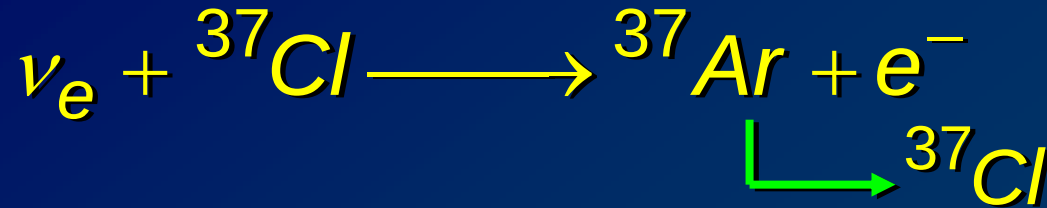
$$\pi^{\pm} \longrightarrow \mu^{\pm} + \nu_{\mu} \quad \sim 100\%$$

$$\pi^{\pm} \longrightarrow \pi^0 + e^{\pm} + \nu_e = 1,228 \cdot 10^{-4} \%$$

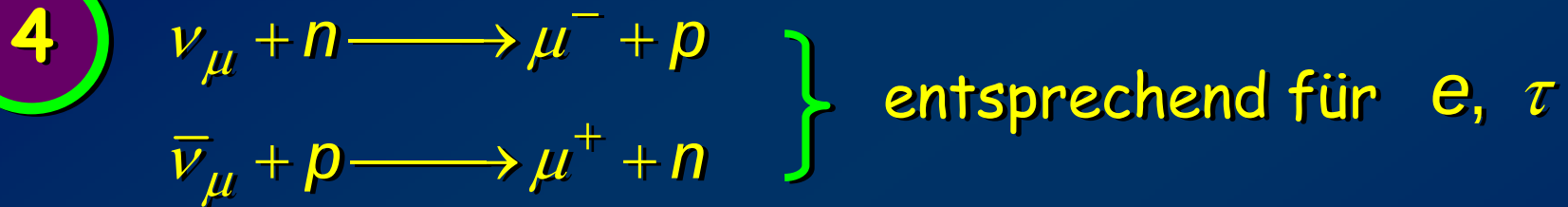
$$\pi^{\pm} \longrightarrow e^{\pm} + \nu_e \quad \sim 1,0 \cdot 10^{-8} \%$$



3 inverser β -Zerfall (Nachweisinstrument für ν_e)



$EC(T_{1/2} = 35d)$



$$\sigma(\bar{\nu}_\ell + p \longrightarrow \ell^+ + n) = \frac{1}{3} \sigma(\nu_\ell + n \longrightarrow \ell^- + p)$$



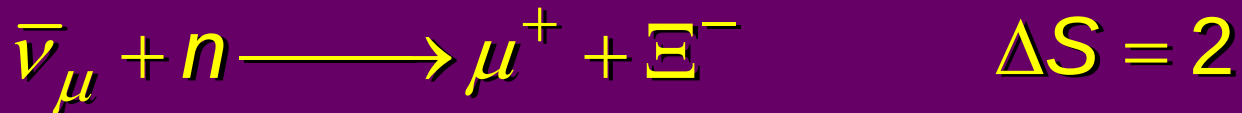
$$\approx 0,8 \cdot 10^{-38} \text{ cm}^2 / \text{GeV} \quad (E_\nu \geq 1 \text{ GeV})$$

Die ν -Hadron - Streuung hat unter allen ν -induzierten Reaktionen den größten W.Q.

II „flavour“-ändernde Zerfälle (Reaktionen)
(hier nur: $\Delta S = \pm 1$)

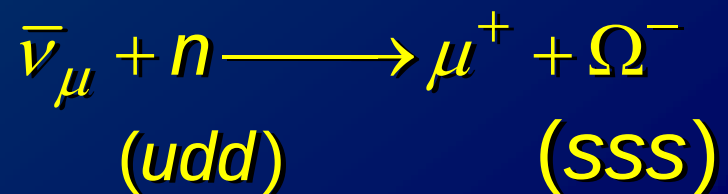
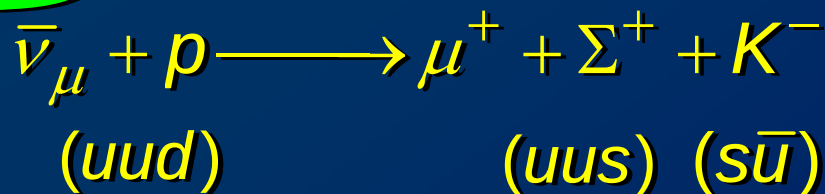
1. Beobachtung: $\Delta S = \pm 1$ (oder $\Delta S = 0$)

Keine $\Delta S > 1$ Reaktionen



Ist auf dem Quark-Level leicht verständlich,
aber nicht notwendig ausgeschlossen.

Beispiel:

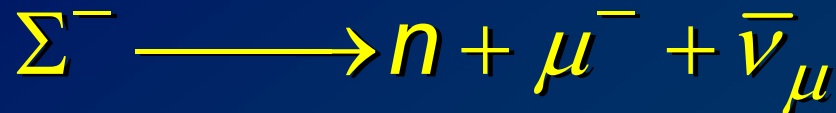


2. Beobachtung:

$$\Delta S = \Delta Q$$

(für Hadronen)

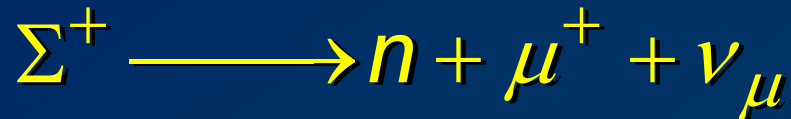
Beispiel:



$$\Delta S(-1 \rightarrow 0) = +1$$

$$\Delta Q(-1 \rightarrow 0) = +1$$

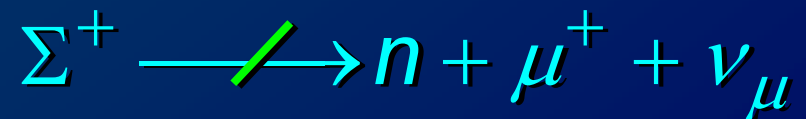
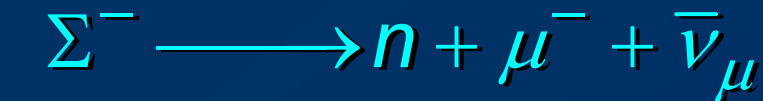
! aber nicht !



$$\Delta S(-1 \rightarrow 0) = +1$$

$$\Delta Q(+1 \rightarrow 0) = -1$$

wird auf dem Quark-Level ebenfalls leicht verständlich



weitere Beispiele:

$$\Delta S = \Delta Q$$

$$\bar{\nu}_\mu + n \longrightarrow \mu^+ + \Sigma^-$$

$$\bar{\nu}_\mu + n \longrightarrow \mu^+ + \Lambda^0 + \pi^-$$

$$\bar{\nu}_\mu + p \longrightarrow \mu^+ + \Sigma^+ + \pi^-$$

$$\bar{\nu}_\mu + p \longrightarrow \mu^+ + \Xi^- + K^+$$

$$\nu + n \longrightarrow \mu^- + \Delta^0 + K^+$$

$$\begin{matrix} \downarrow \\ \left\{ \begin{array}{l} n + \pi^0 \\ p + \pi^- \end{array} \right. \end{matrix}$$

Schlüsselreaktion:

$$\begin{aligned} \nu_\mu + n &\longrightarrow \mu^- + p + K^0 & \Delta S = \Delta Q \\ &\longrightarrow \mu^- + p + \bar{K}^0 & \Delta S = -\Delta Q \end{aligned}$$

(Hier Messung der Amplitude)

$$\Delta S = -\Delta Q$$

$$\longrightarrow \mu^- + \Sigma^+$$

$$\longrightarrow \mu^- + \Lambda^0 + \pi^+$$

$$\longrightarrow \mu^- + \Sigma^+ + \pi^+$$

$$\longrightarrow \mu^- + \Xi^0 + K^+$$

$$\longrightarrow \mu^- + \Delta^{++} + K^-$$

$$\begin{matrix} \downarrow \\ p + \pi^+ \end{matrix}$$

Da K^0 und $\bar{K}^0$ über die schwache WW mischen, ist eine Änderung des Mischungsverhältnis (K_S/K_L) ein Indiz für eine $\Delta S = -\Delta Q$ -Amplitude.

3. Beobachtung

$$\Delta I = \frac{1}{2} \text{ für } \Delta S = \pm 1 \quad \Delta I = 1 \text{ für } \Delta S = 0$$

klingt zunächst trivial da

$$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix} \leftarrow \begin{pmatrix} \dots \\ s \end{pmatrix}$$

Übergang immer verbunden
mit I-Spin-Änderung

allgemein: $Q = I_Z + \frac{1}{2}S + \frac{1}{2}B$ für Systeme mit nur u, d, s

da $\Delta B = 0$ immer

damit ist

$$\begin{aligned} \triangleright \Delta I_Z &= (\Delta Q - \Delta S) + \frac{1}{2}\Delta S \\ \Delta Q &= \Delta S \\ \triangleright \Delta I_Z &= \frac{1}{2}\Delta S \end{aligned}$$

$$\Delta I_Z = \begin{cases} \pm \frac{1}{2} & \text{mit } \Delta I = \frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \dots \\ & \Delta S = \pm 1 \\ \pm 1 & \text{mit } \Delta I = 1, 2, \dots \\ & \Delta S = 0 \end{cases}$$

Die ΔI_Z - Regel ist Folge der $\Delta S = \Delta Q$ - Regel, aber in schwachen Prozessen mit $\Delta I_Z = 1/2$ ist $\Delta I = 1/2$ stark bevorzugt. Grund ist weitgehend unbekannt.



nicht-leptonische Zerfälle (& WW)

(Reaktionen dieser Art sind nicht induzierbar, da WQ zu klein !!)

unterliegender Prozess:

$$q_1, \bar{q}_2 \longrightarrow q_3, \bar{q}_4$$

Ladung $(q_1, q_2) = \text{Ladung}(q_3, q_4)$,

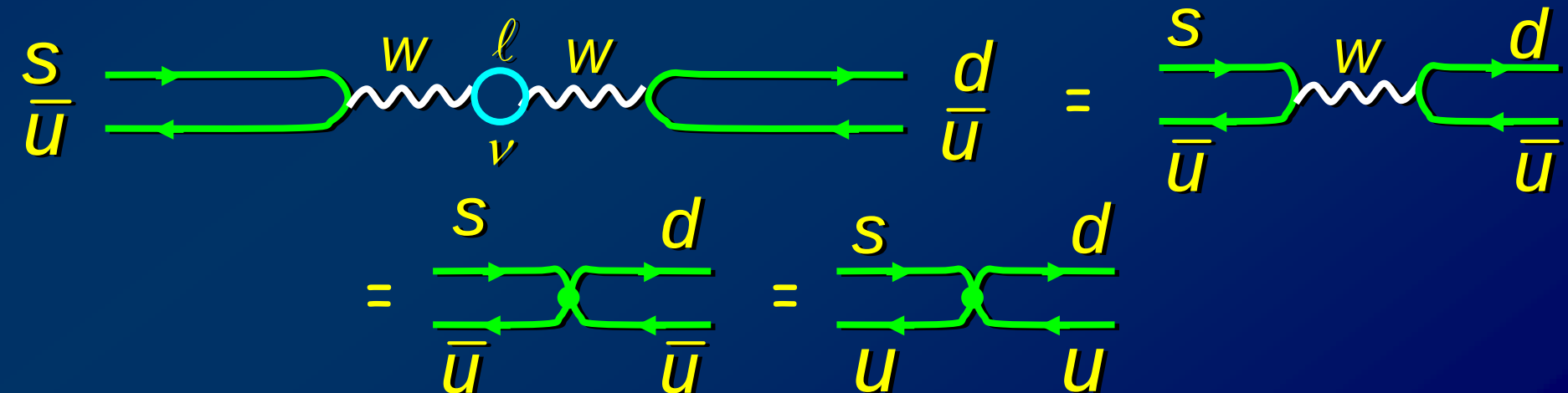
trotzdem „geladene Strom“-Reaktion da:

$$q_1, \bar{q}_2 \xrightarrow{\text{C.C.}} \ell \bar{\nu} \xrightarrow{\text{C.C.}} q_3, \bar{q}_4$$

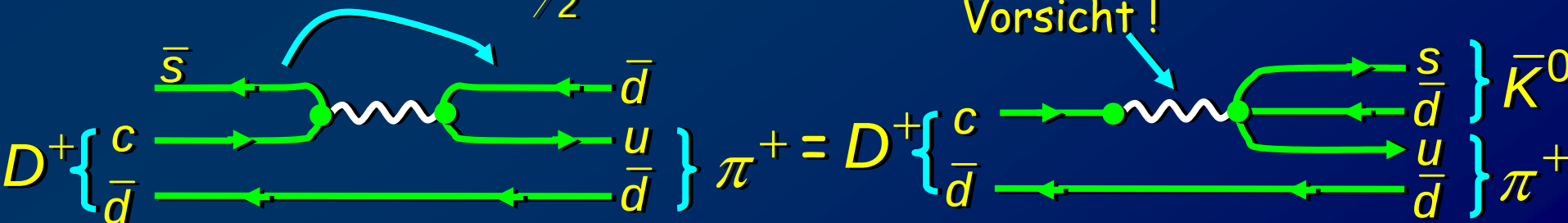
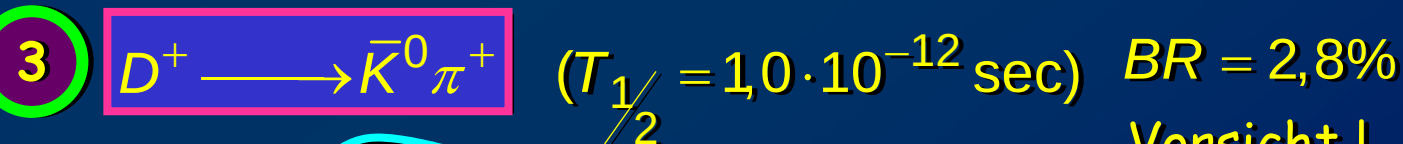
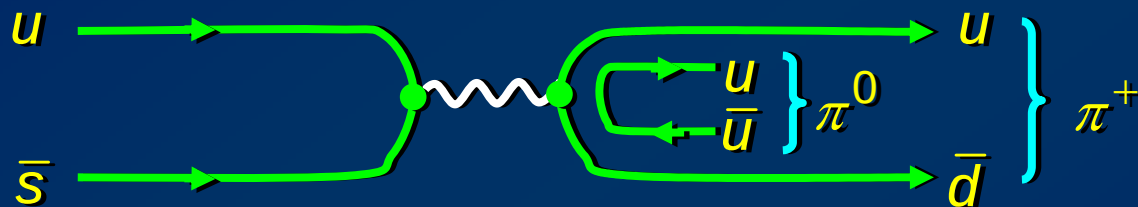
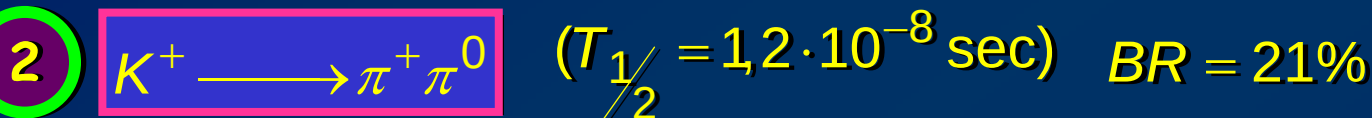
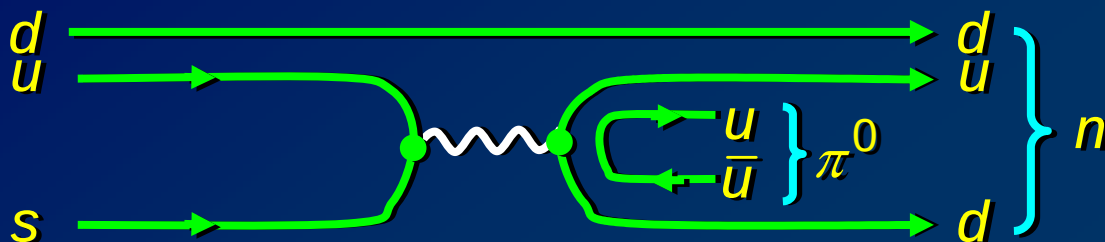
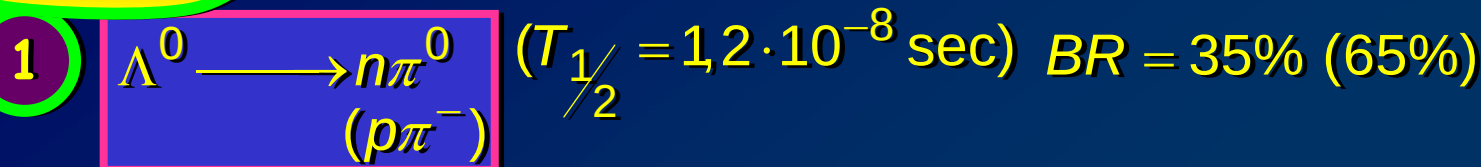
Beispiel:

$$s\bar{u} \longrightarrow \ell \bar{\nu} \longrightarrow d\bar{u} \quad (\text{charged current})$$

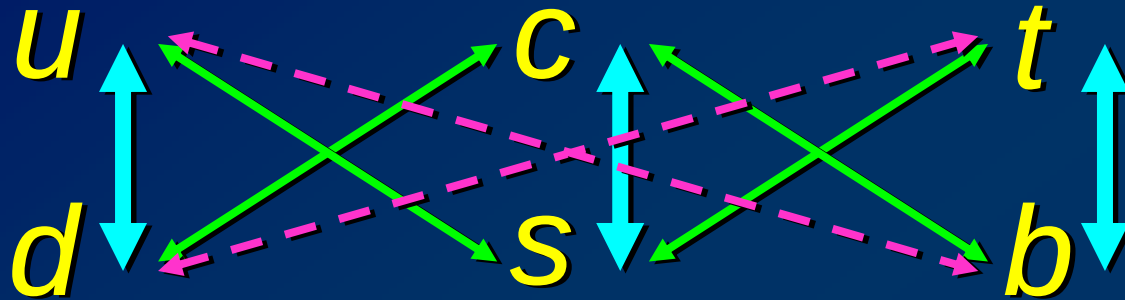
identisch zu: $s\bar{u} \longrightarrow d\bar{u} \quad s \longrightarrow u d\bar{u} \quad su \longrightarrow du$



Beispiel:



Aus allen Beobachtungen ergibt sich folgendes Schema



keine parallelen Übergänge

(keine „flavour-ändernden“ neutralen Ströme)
no flavour changing neutral currents

No FCNC

Bitte beschäftigen Sie sich mit folgenden Aspekten aus dem Gebiet „Schwache Wechselwirkung“:

- 1) Erzeugung von Myonen
- 2) Wechselwirkung von Myonen mit Materie
(hier insbes. Unterschied zwischen μ^+ und μ^-)
- 3) Myonische und pionische Atome
- 4) Mesonen mit „strangeness“ und mit „charm“
- 5) Eigenschaften (Masse, Zerfall, Spin, Parität, Ladung)
von: μ , π , K
- 6) charmonium J/ψ :
Breite (warum?),
Erzeugung über e^+e^- (warum?)