

# 11, Schwache Wechselwirkung

## • Leptonen

el. Ladung	Familie / Generation		
	1.	2.	3.
0	$\nu_e$ (Elektron- neutrino) $L_e = +1$	$\nu_\mu$ $L_\mu = +1$	$\nu_\tau$ $L_\tau = +1$
-1	$e^-$ (Elektron) $L_e = +1$	$\mu^-$ (Myon) $L_\mu = +1$	$\tau^-$ (Tau) $L_\tau = +1$

- $m_\nu \approx 0$        $m_e \approx 0,511 \text{ MeV}/c^2$        $m_\mu = 105,7 \text{ MeV}/c^2$        $m_\tau = 1777 \text{ MeV}/c^2$   
 $\tau_\nu = \infty$        $\tau_e = \infty$        $\tau_\mu = 2,2 \mu\text{s}$        $\tau_\tau = 291 \text{ fs}$

• keine starke WW (keine Farbladung)

• Spin  $\frac{1}{2}$

• Leptonflavor (Quanten-) Zahlen  $L_e, L_\mu, L_\tau$

• Leptonzahl  $L = L_e + L_\mu + L_\tau$  erhalten

• Leptonflavourzahlen (fast) erhalten

z.B.  $\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$

einzigste Ausnahme: Neutrinooszillationen

• Quarkflavour-Quantenzahlen in schwacher WW nicht erh.

z.B.  $d \rightarrow u + e^- + \bar{\nu}_e$  ( $\mu^-$ -Zerfall)

$\bar{s} \rightarrow \bar{u} + \mu^+ + \nu_\mu$  ( $K^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$ )

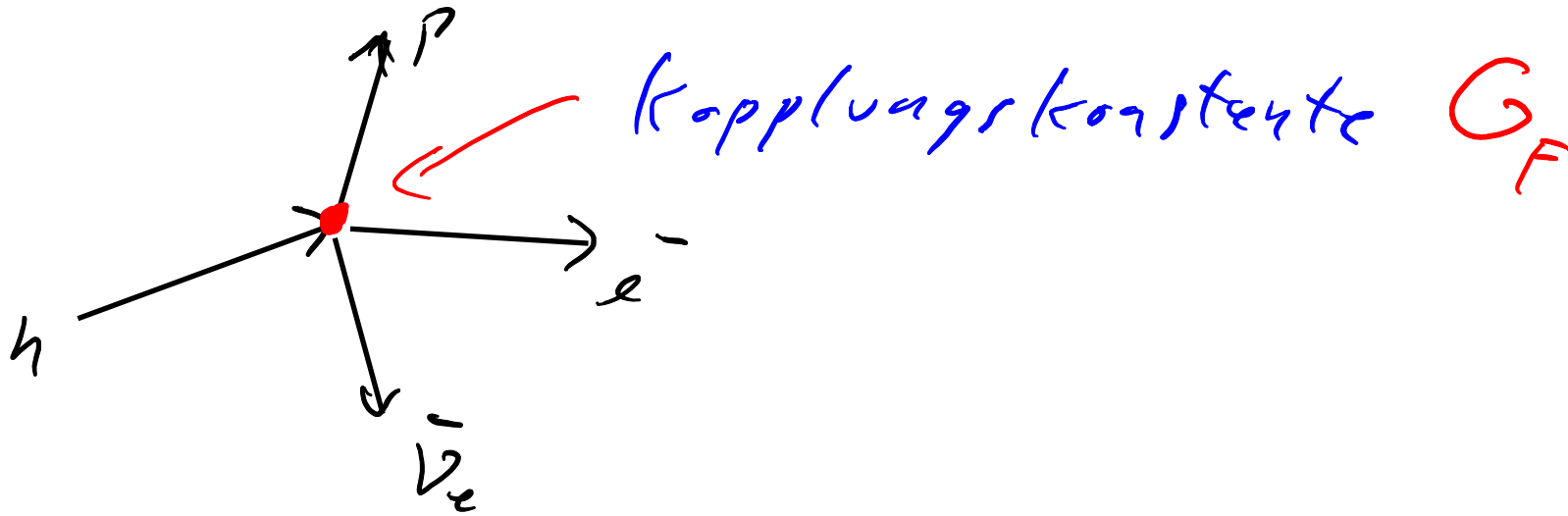
aber nicht

$s \rightarrow d + \nu_e + \bar{\nu}_e$

keine Flavour-Change  
Neutral Current (FCNC)

# 11.1 Fermi-Theorie des $\beta$ -Zerfalls

$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$  ( $d \rightarrow u + e^- + \bar{\nu}_e$ ) näherungsweise  
durch Punktwechselwirkung beschreiben:



Aus Fermis Goldener Regel folgt:

$$\frac{d\omega}{dE_e} = \frac{2\pi}{\hbar} G_F^2 \frac{|M_{fi}|^2}{V^2} \frac{d\mathcal{P}_f}{dE_e}$$

⇒ Lebensdauer des Neutrons  $\tau_n$ :

$$\Gamma_n = \frac{\hbar}{\tau_n} = \left( \frac{G_F}{(\hbar c)^3} \right)^2 \cdot \frac{|\mathcal{M}_{fi}|^2}{60 \pi^2} \cdot E_0^5$$

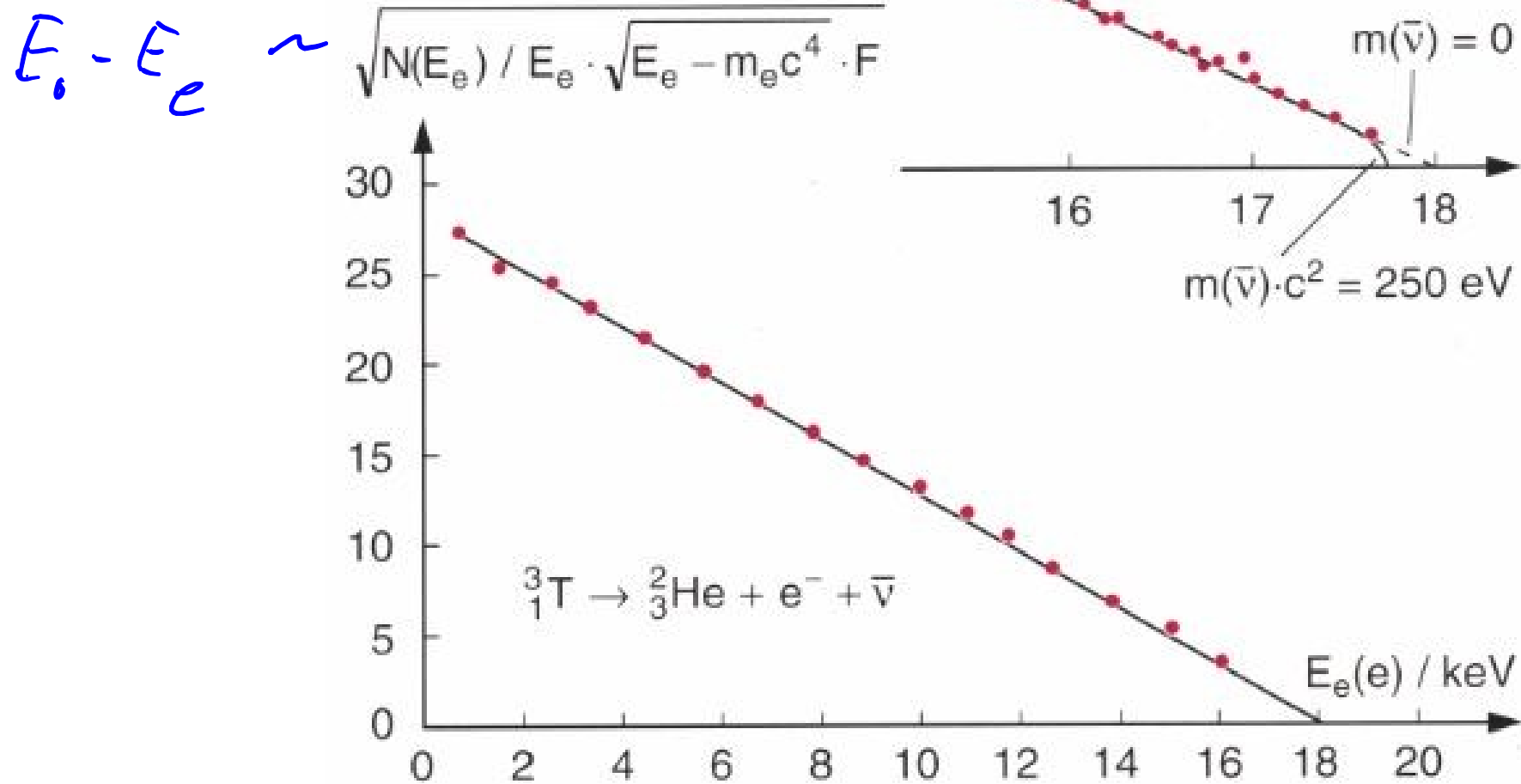
Sargent - Regel:

$$\tau \sim 1/E_0^5$$

- Fermi - Konstante experimentell aus  $\mu_{\text{yon}}$ -Zerfall bestimmbar

$$\frac{G_F}{(\hbar c)^3} = 1,166 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{GeV}^2}$$

$$\frac{dN}{dE_e} \sim G_F^2 |\mathcal{M}_{fi}| \cdot E_e \sqrt{E_e^2 - m_e^2 c^4} \cdot (E_0 - E_e)^2$$



**Abb. 3.26.** Fermi-Kurie-Diagramm für den  $\beta^-$ -Zerfall des Tritiums  ${}^3_1\text{T}$



KATRIN



## 11.2 Paritätsverletzung im schwachen Zerfall

- Bei Spin  $\frac{1}{2}$ -Teilchen kann
  - der Spin  $\uparrow$  in Flugrichtung  $\uparrow$
  - der Spin  $\downarrow$  entgegen Flugrichtung  $\uparrow$  gerichtet sein

- Messgröße: Helizität  $h = \frac{\vec{S} \cdot \vec{p}}{|\vec{S}| \cdot |\vec{p}|}$

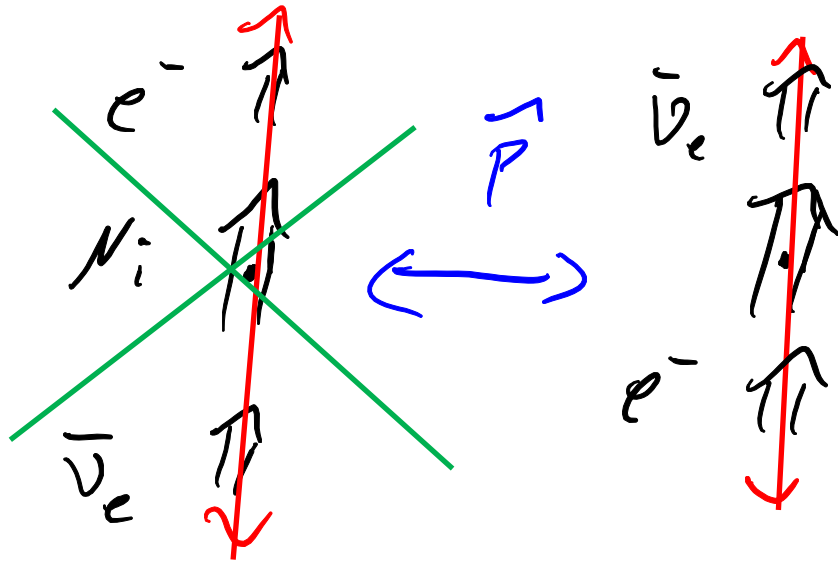
- $\hat{P}: \vec{S} \cdot \vec{p} \longrightarrow (+\vec{S}) \cdot (-\vec{p}) = -\vec{S} \cdot \vec{p}$

d.h.  $\hat{P}$  ändert Helizität

- Beobachtung der Paritätsverletzung im Wu-Experiment



Spin ausrichtung im Magnetfeld  $\vec{B}$



Beobachtung:  
 $e^-$  bevorzugt  
 antiparallel zu  $\vec{B}$

→ Schwache Wechselwirkung verletzt Parität

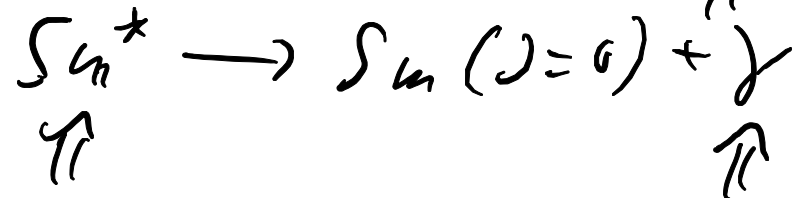
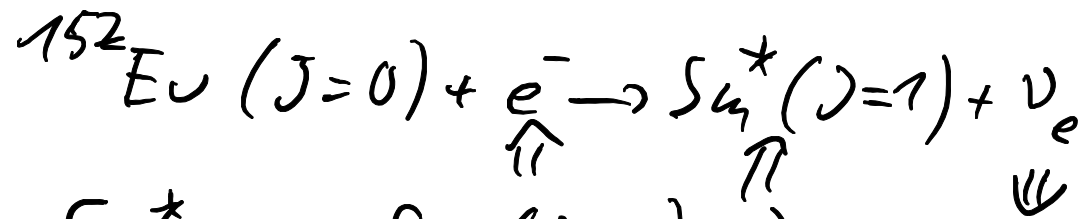
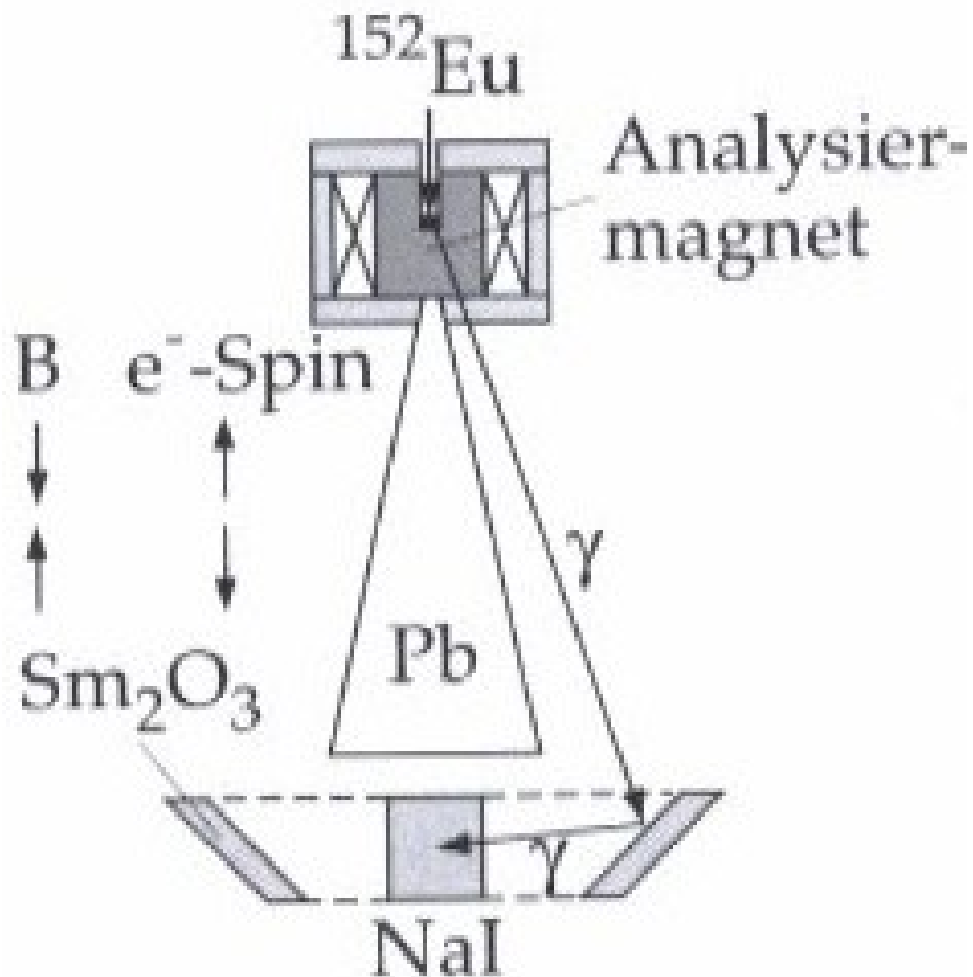
→ Schwache WW unterscheidet zw. links- u. rechtshändig

→ Kopplung nur an links-händige Teilchen ( $\langle h \rangle = -\frac{1}{2}$ )  
 und rechtshändige Antiteilchen ( $\langle h \rangle = +\frac{1}{2}$ )



# 11.2.1 Helizität des Neutrinos

## Goldhaber - Experiment



→  $\gamma$ -Spin antiparallel zu  $\nu_e$ -Spin

- Magnetisiertes Eisen

→ bevorzugte  $e^-$ -Spin-Richtung

→ bevorzugte Polarisation  
für Compton-Streuung

- $^{152}\text{Eu}^*$  Rückstoß

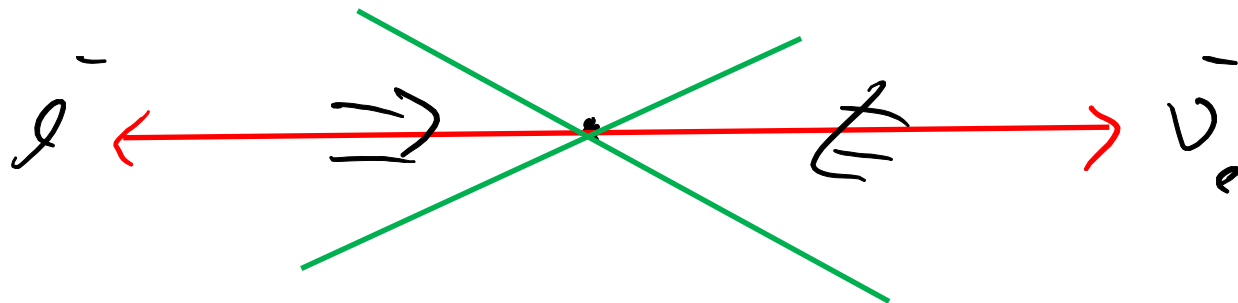
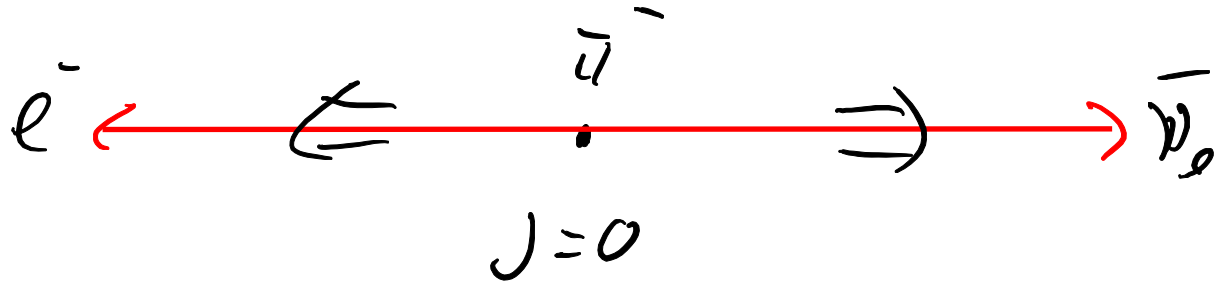
→ Er größtenteils wenn  $\gamma$   
entgegengesetzt zur  $\nu_e$ -Richtung

→ Resonanzstreuung an  $\text{Sm}_2\text{O}_3$

# 11.2.2 $\pi^-$ -Zerfall

\*

$$\pi^- \rightarrow l^- \bar{\nu}_l, \quad l = e, \mu$$



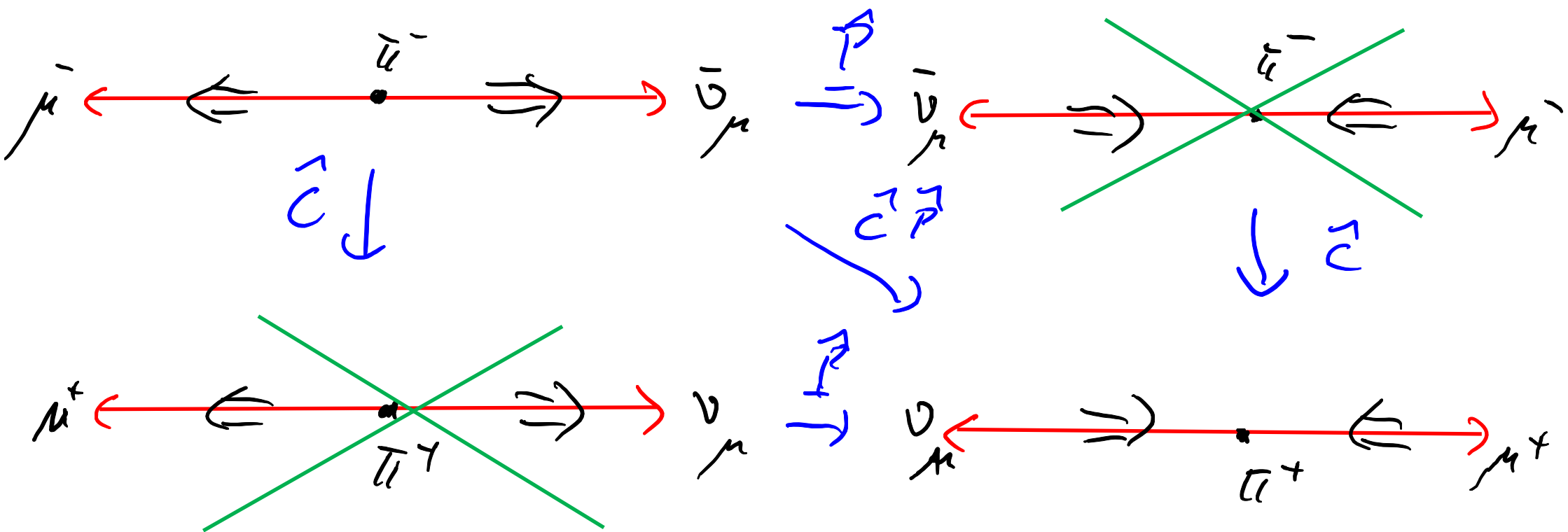
→  $\pi^-$ -Zerfall ist helizitätsunterdrückt

→ lange  $\pi^-$ -Lebensdauer

$$\rightarrow |M_{fi}|^2 \sim (1 - \langle \epsilon_e \rangle) (1 + \langle \epsilon_{\bar{\nu}} \rangle)$$

$$\rightarrow \Gamma(\pi^- \rightarrow \mu^- \bar{\nu}_\mu) \approx 10^9 \Gamma(\pi^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e), \quad \text{da } m_\mu \approx 200 \cdot m_e$$

# $C, P, CP$ - Symmetrie



Schwache WW

- verletzt  $P$ - und  $C$ -Symmetrie
- erhält  $CP$ -Symmetrie (fast)