

verboten! $\text{BR} \lesssim 10^{-11}$ (Wj. Familien-leptonzahlerhaltung) ①

L_μ	+1	0	0
L_e	0	+1	0

Verletzung der Familienleptonzahl

Folie: MEG-Experiment

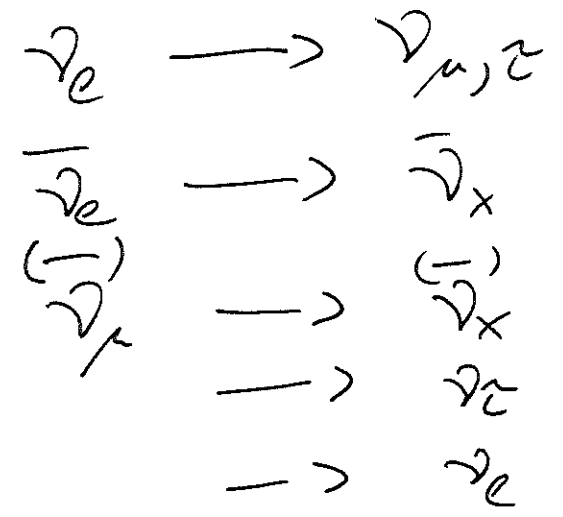
$0 \nu \beta\beta$ - Zerfall

Folie: GERDA-Experiment

Zisher keine Hinweis für $\Delta L \neq 0$!!

Familienleptonzahl ist verletzt in sogu. ν -Oszillationsexperimenten

z. Bsp in Sonnenneutrino exp.



Disapp. Experimente: Reaktor $\bar{\nu}_e$

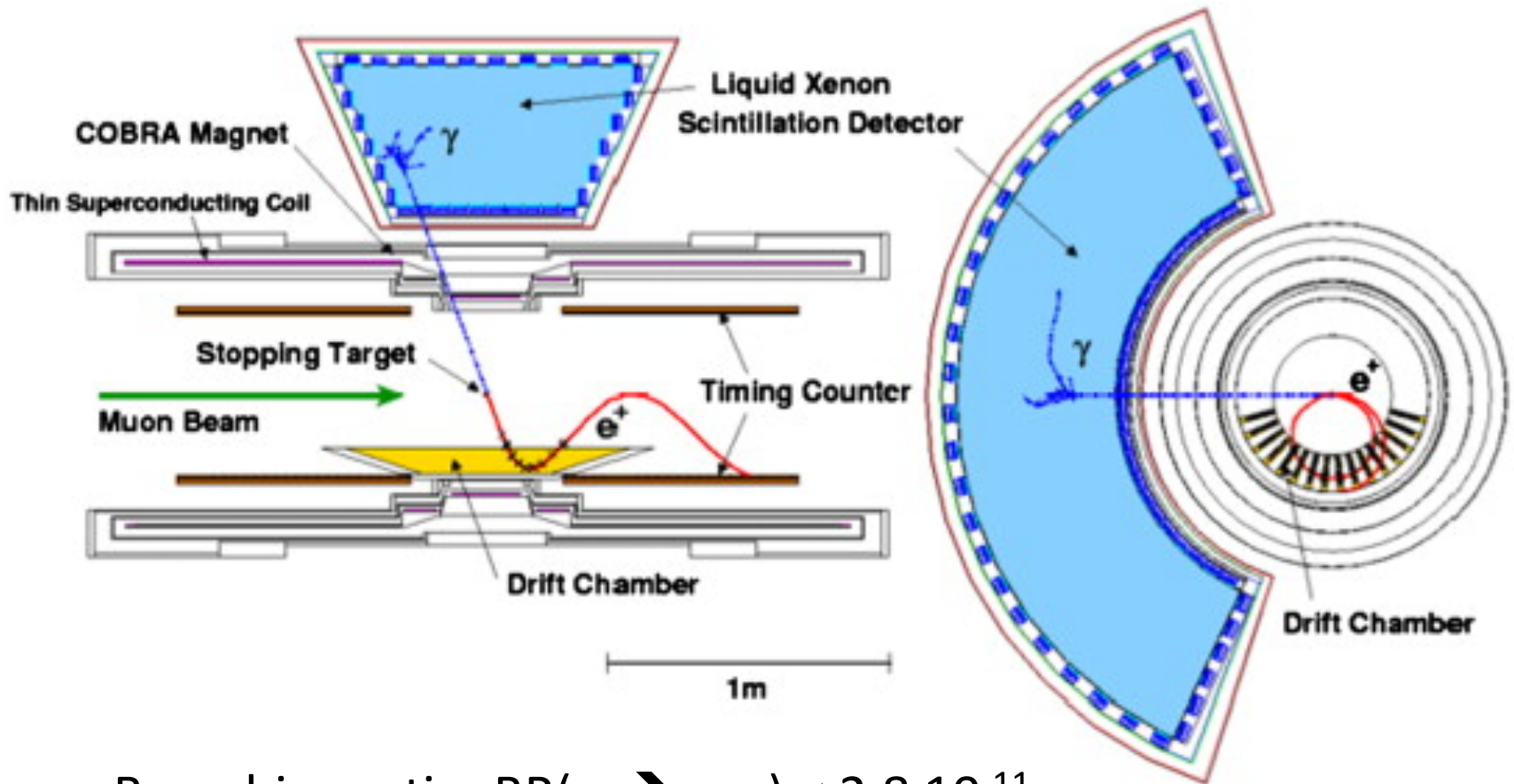
Opera GS
T2K

\Rightarrow Familienleptonzahl ist verletzt aus ν -Osz. Exp.

$\Rightarrow \Delta m^2 \neq 0$

d.h.: Massendifferenzen sind ungleich Null

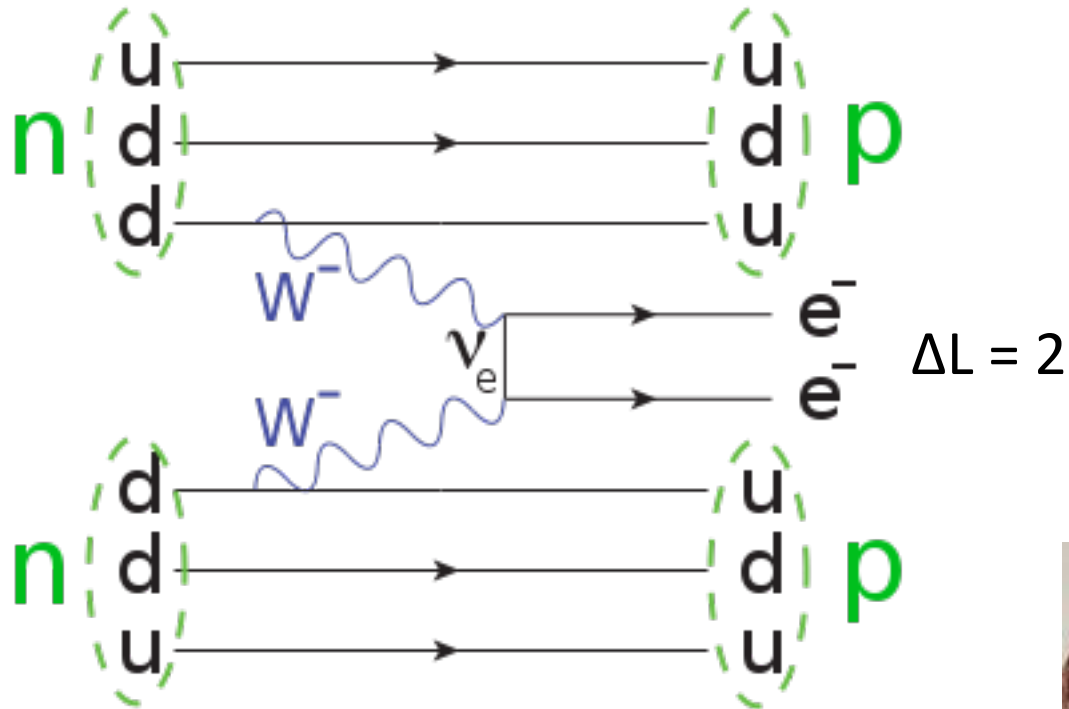
Search for Lepton-number violating processes:
MEG experiment at PSI: $\mu \rightarrow e^- \gamma$



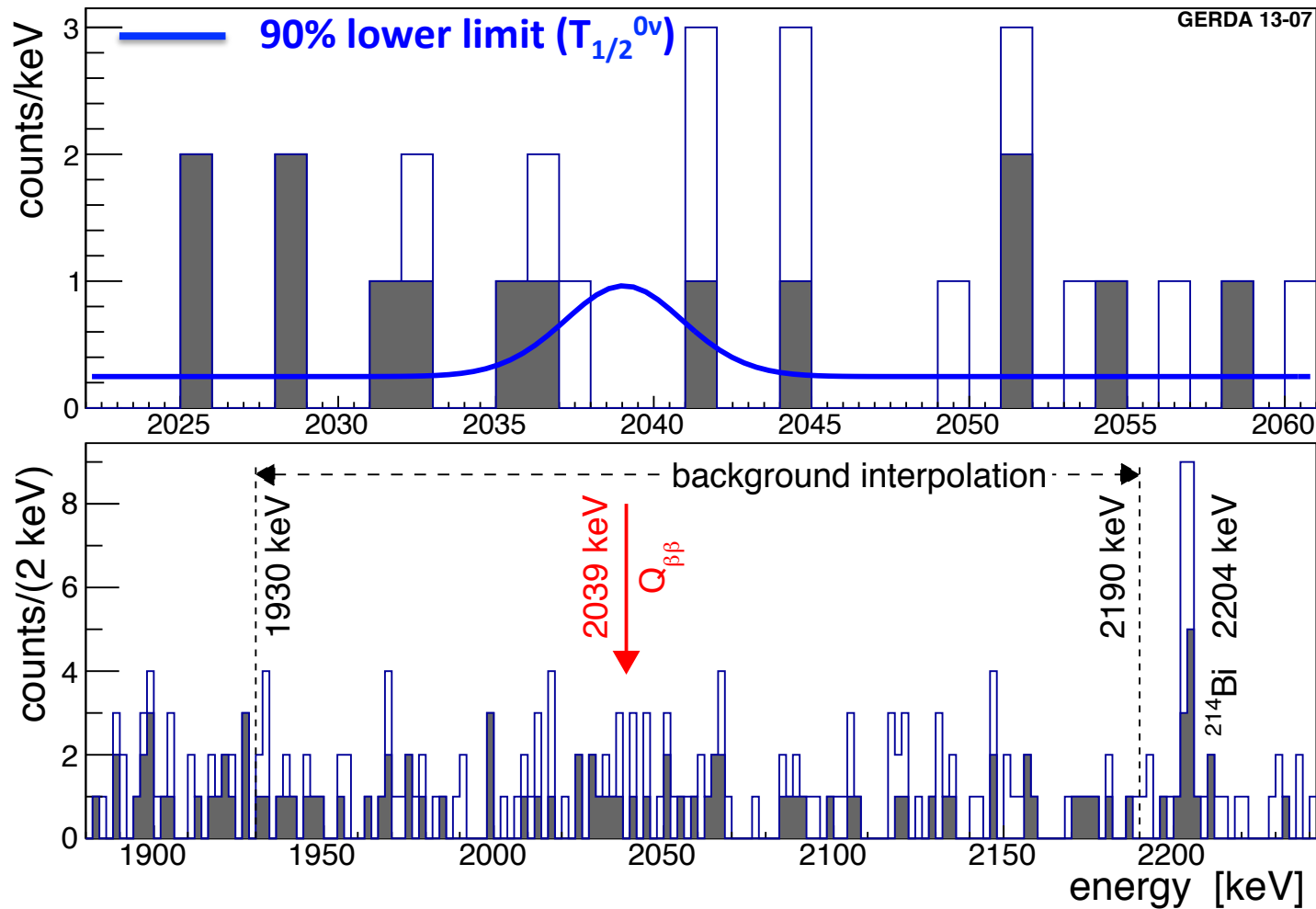
Branching ratio: $BR(\mu \rightarrow e^- \gamma) < 2.8 \cdot 10^{-11}$

Search for Lepton-number violating processes:
neutrino-less double beta decay

GERDA @ LNGS



$$T_{1/2}^{0\nu} > 2.1 \cdot 10^{25} \text{ yr}$$



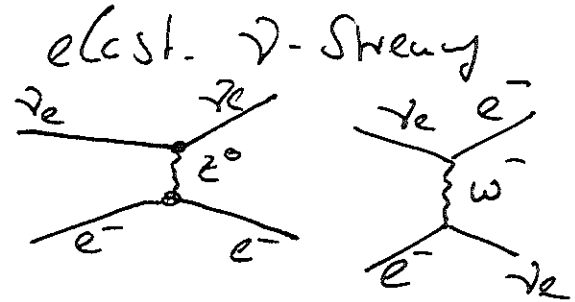
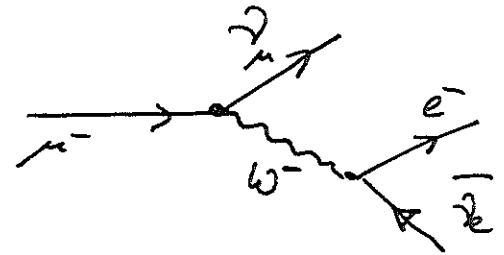
Klassifizierung d. schw. WW

Leptonische Prozesse : • $\mu^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\mu$ (μ -Zerfall)

$L_\mu : +1 = 0 + 0 + 1$

$L_e : 0 = 1 - 1$

• $\nu_e + e^- \rightarrow \nu_e + e^-$

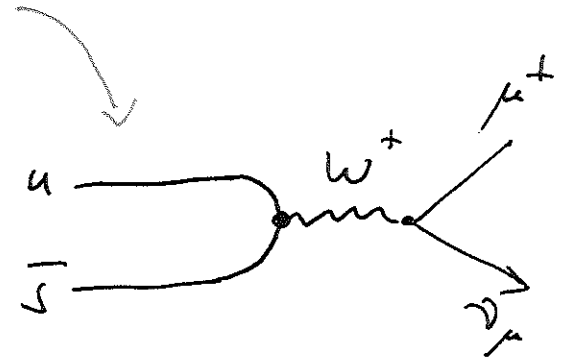
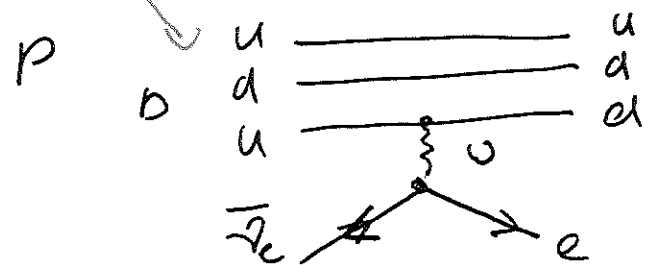
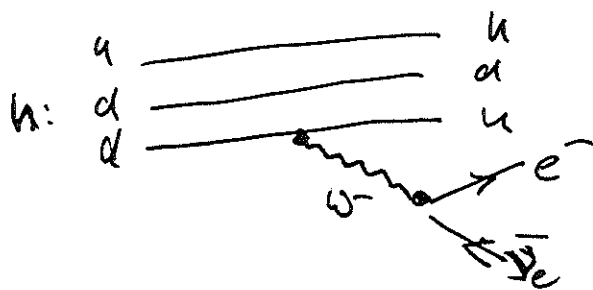


Semileptonische Prozesse

• $n \rightarrow p e^- \bar{\nu}_e$ (β^- -Zerfall)

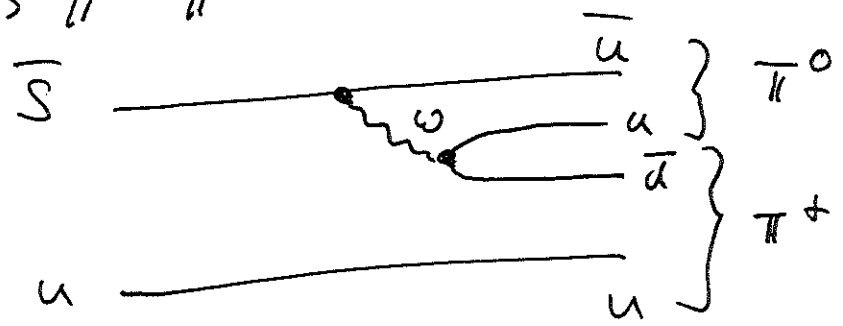
• $\bar{\nu}_e + p \rightarrow n + e^+$ (inv. β -Zerfall)

• $K^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$



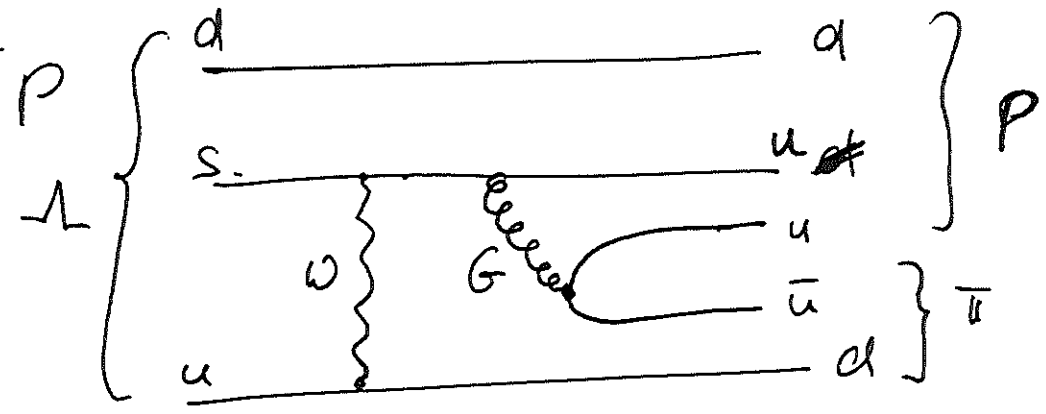
Nicht-leptonische Schw. Prozesse

$$K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$$



N.B. $\Delta S = 0$
 in st. u. elem. WW ist
 Strangeness erhalten,
 nicht in schw. WW.

$$\Lambda^0 \rightarrow \pi^- p$$

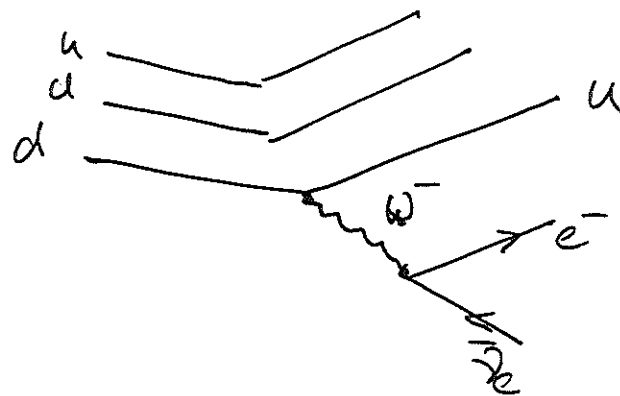


Merkmale d. schw. WW:

- Lange Lebensdauer und
- kleine WA
- $\sigma \sim 10^{-38} \text{ cm}^2$ für $\sqrt{s} \approx 1 \text{ GeV}$
- Astrophysik: $p + p \rightarrow \pi^+ + e^+ + \nu_e$
- Reaktionsrate ($\rho \approx 10^2 \text{ g/cm}^3, kT \approx \text{keV}$) $\approx 10^{10} \text{ yr}$

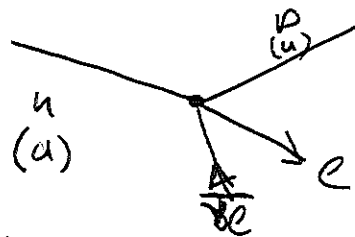
Betazerfälle von Kernen

Freies Neutron: $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$



Propagator: $\frac{1}{Q^2 + m_w^2}$

Wegen $m_w \approx 80 \text{ GeV}/c^2$ ist bei β -Zerfall ($\sim \text{MeV}$)
 $Q^2 \ll m_w^2 \rightarrow$ effektive Vierfermion-Kopplung



mit G
 Fermi Konstante

$$G = \frac{g^2}{m_w^2} \quad (1934)$$

Übergangswahrscheinlichkeit

$$W = \frac{2\pi}{h} G^2 |M|^2 \frac{dN}{dE_0}$$

Matrix-Element \swarrow Phase (= Endzustandsdichte)

$|M|^2$: Quadrat des Matrix elements

- ≈ 1 für sogeanante Fermi-Übergänge
- ≈ 3 für Gamov-Teller

Fermi-Übersatz

(5)

$$\begin{array}{c} \uparrow \\ +\frac{1}{2} \\ n \end{array} \longrightarrow \begin{array}{c} \uparrow \\ +\frac{1}{2} \\ p \end{array} + \begin{array}{c} \downarrow \uparrow \\ \hline 0 \\ e, \nu \\ \text{Singulett, Spin 0} \end{array}$$

$$\Delta J = 0, \Delta \pi (\text{Parität}) = 0$$

Gamow-Teller Übergänge

$$\begin{array}{c} \uparrow \\ +\frac{1}{2} \\ n \end{array} \longrightarrow \begin{array}{c} \downarrow \\ -\frac{1}{2} \\ p \end{array} + \begin{array}{c} \uparrow \uparrow \\ \hline +1 \\ e, \nu \\ \text{Triplet, Spin 1} \end{array}$$

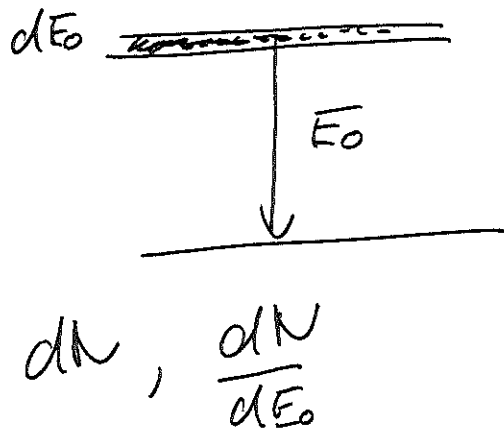
$$\Delta J = 0, 1, \Delta \pi = 0 \quad \text{! (keine } 0 \rightarrow 0 \text{)}$$

$$W_{GT} \approx 3 \cdot W_F \quad (\text{für gleiches } E_0)$$

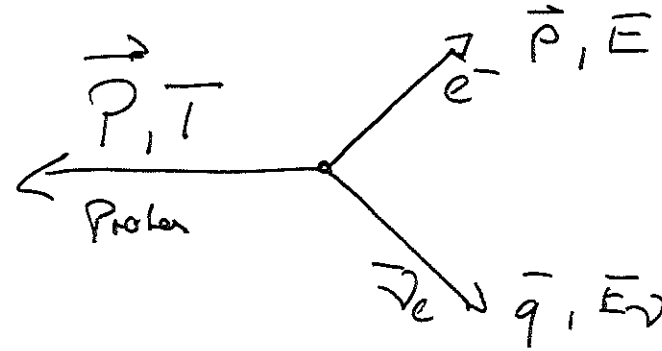
\uparrow
Spin-Faktor (Triplet)

Spektrale Form des β -Spektrums

(6)



dE_0 : Breite des unendlichen Lebensdauer gegeben



rest frame: $\vec{P} + \vec{q} + \vec{P} = 0$

$T + E_\nu + E = E_0$

mit $n_\nu = 0 \Rightarrow E_\nu = qc$

mit $E_0 \sim 1 \text{ MeV} \Rightarrow pc \sim 1 \text{ MeV}$

mit Nukleon $m \Rightarrow T = \frac{pc^2}{2mc^2} \approx 10^{-3}$

$\Rightarrow E_0$ verteilt sich zwischen

Elektron u. Neutrino ; Kern zu Impulserhaltung
"Kern" Rückstoßenergie

$$\Rightarrow q c = E_0 - E$$

Zustandsdichte für Elektronen: $\frac{4\pi p^2 dp}{(2\pi)^3 h^3}$

" " Neutronen: $\frac{4\pi q^2 dq}{(2\pi)^3 h^3}$

Kein Phasenraum für Protonen

zu Verfügung weil $\vec{P} = -(\vec{p} + \vec{q})$

Anzahl d. Endzustände ist

$$dN = \frac{(4\pi)^2}{(2\pi)^6 h^6} p^2 q^2 dp dq$$

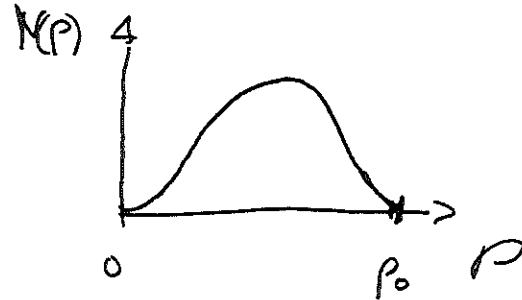
$$q = (E_0 - E)/c, \quad dq = dE_0/c$$

$$\frac{dN}{dE_0} = \frac{1}{4\pi^2 h^6 c^3} p^2 (E_0 - E)^2 dp$$

→ Elektronenspektren:

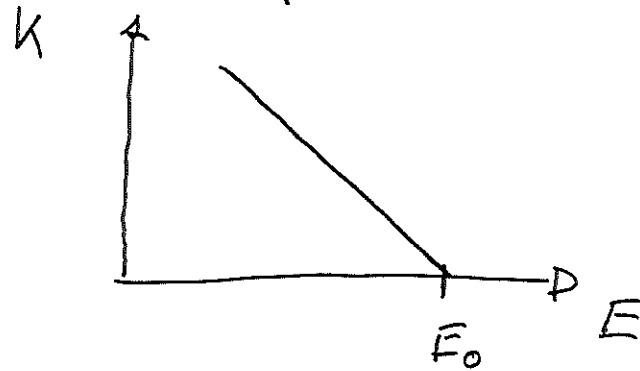
(8)

$$N(p) dp \propto p^2 (E_0 - E)^2 dp$$



Kurie-Diagramm

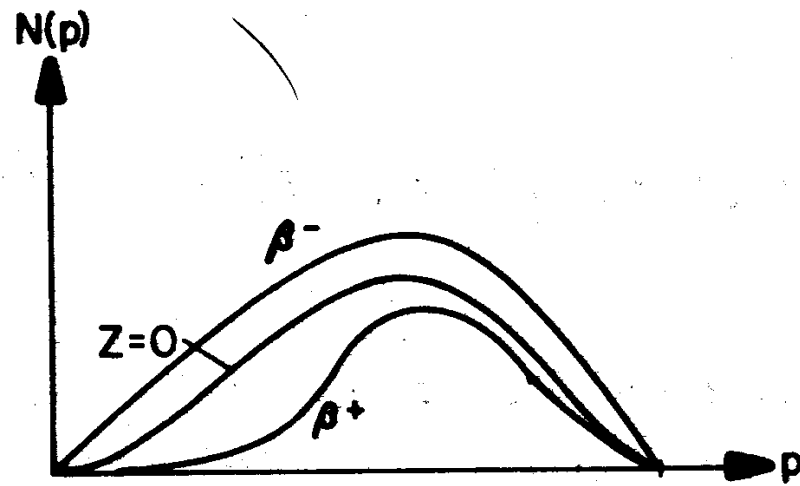
$$K = \left(\frac{N(p) dp}{p^2} \right)^{1/2} \propto E - E_0$$



Fermifunktion (Abb)

Coulomb Korrektur beim Beta Zerfall

$$N(p) dp = \frac{g^2}{2\pi^3 \hbar^7 c^3} \cdot |M_{if}|^2 \cdot F(E, Z) \cdot p^2 (E_0 - E)^2 dp$$

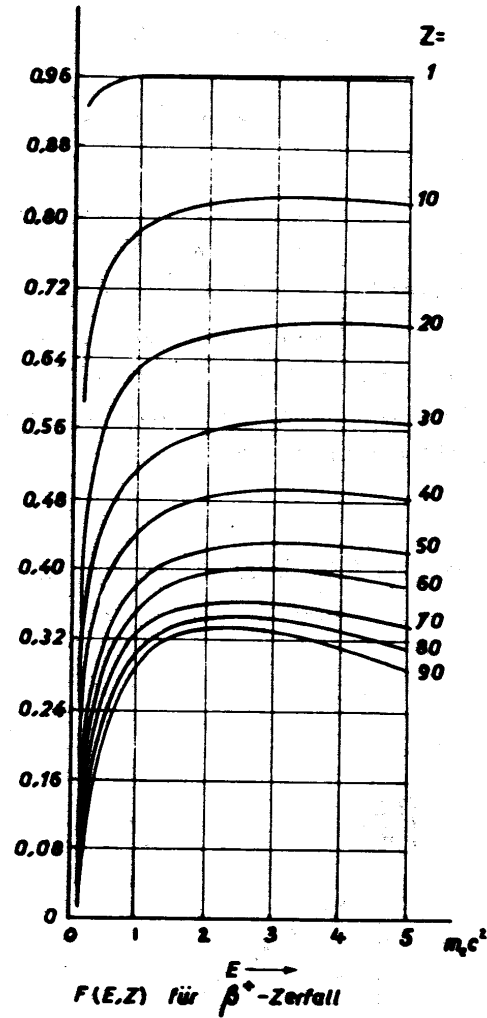
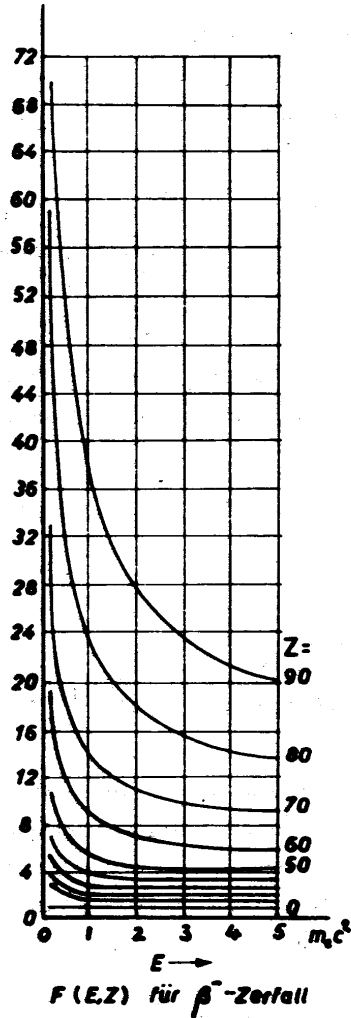


$$F(E, Z) = \frac{|\varphi_e(0)|^2}{|\varphi_e(0)|^2}$$

$$F(E, Z) = \frac{x}{1 - e^{-x}} \quad (10.35)$$

$$x = \pm \frac{2\pi Z}{137 \beta} \quad \left[\beta \equiv \frac{v}{c} \sim p \right] \quad (10.36)$$

Coulomb-Korrekturfaktor



$\overline{FW} \quad m_2 > 0 \quad :$

$$N(p) dp \sim p^2 (E_0 - E)^2 \sqrt{1 - \left(\frac{m_2 c^2}{E_0 - E}\right)^2} dD \quad (9)$$

Bisher Grenze am ^3H : $\sigma_\nu \leq 2 \text{ eV}$ (Marz, Troitz)

Katma: 0,2 eV Sensitivität (2016)
(Folie)

Search for finite neutrino restmass in beta decay: the KATRIN Experiment @ Karlsruhe

