

(2) Sonnen-Neutrinos

Sonne



$$L \approx 150 \cdot 10^9 \text{ km}$$



Stern der "Hauptreihe"
verbrennt Wasserstoff: Fusion

SNO (Sudbury Neutrino Observatory)

Canada, '99-



brauchen ν -Fluss an der Quelle (= Kern der Sonne)

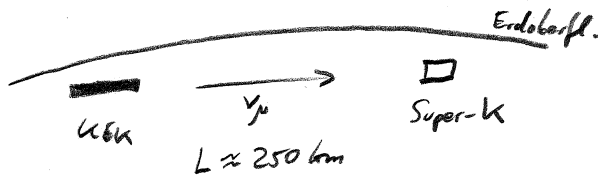
→ "SSM" solar standard model [Bahcall et al, 1963-2005]

→ $E_\nu \sim 0.01 - 10 \text{ MeV}$; nur ν_e werden erzeugt

Messung:
$$\frac{\text{Fluss}(\nu_e)}{\text{Fluss}(\nu_e + \nu_\mu + \nu_\tau)} \approx 0.31 \pm 0.03$$

Interpretation: $|m_{\nu_e}^2 - m_{\nu_\mu}^2|$ oder $|m_{\nu_e}^2 - m_{\nu_\tau}^2| \approx (7 \pm 3) \cdot 10^{-5} \text{ eV}^2$

(3) Beschleuniger-Neutrinos



Distanz kleiner als bei (1), also verschwinden weniger als 50%

der ν_μ , aber man kann E_ν kontrollieren!

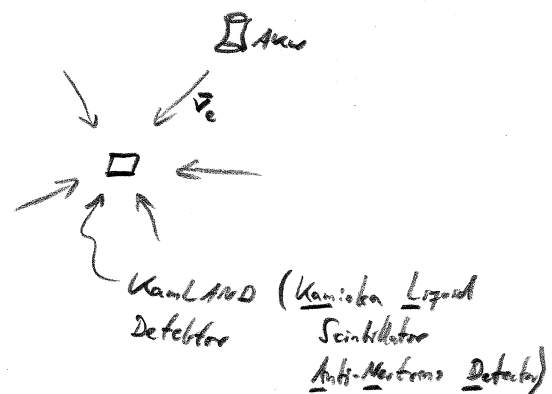
→ viele ähnliche Experimente, z.B. CERN → Gran Sasso (Italien, 730 km)

Tevatron → Soudan (USA, 735 km)

(4) Reaktor - Neutrinos

Japan: ~ 50 Kernkraftwerke
 Leistungen genau bekannt
 ca. 20% der Energie
 verschwindet als $\bar{\nu}_e$

Ergebnisse: stimmen mit (2) überein.



1000 Tonnen Scintillations-Flüssigkeit
 1879 Photomultiplier, 0.5m $\varnothing$

Neutrino - Fazit:

direkte Messung von m_ν sehr schwer:

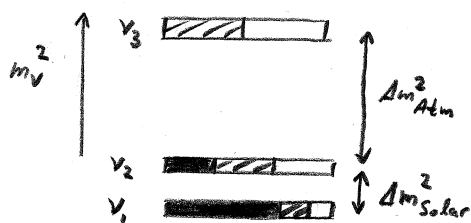
bisher nur obere Schranken, z.B. $m_{\nu_e} \leq 2.2 \text{ eV}$

evtl. Erkenntnisse aus Kosmologie / Astroteilchenphysik, nützlich,

z.B. $\sum_i m_{\nu_i} < 45 \text{ eV}$ (s. z.B. [Fayyazuddin, Introd. To Particle Physics])

Messung von Massendifferenzen durch ν -Oszillation

es ergibt sich das folgende Bild für die Massenzustände ν_i :



Anteile $\Rightarrow \nu_e, \nu_\mu, \nu_\tau$
 an Fluor-EZ

"normale Hierarchie"

ODER

"invertierte Hierarchie"

Über die Mischungsmatrix weiß man (momentan) auch erst

sehr wenig; für $\begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \\ \nu_3 \end{pmatrix} = U \begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{pmatrix}$ sind $|U_{ij}|$ oben skizziert.

Jedenfalls ist sie (im Ggs. zu V_{CKM}) überhaupt nicht so diagonal

(s. z.B. [Griffiths, § 11.5])

Interessante Variation: es ist (noch) nicht klar,

ob U mit 3 Mischungswerten und 1 Phase (wie V_{CKM})
oder χ 3 Phasen

parametrisiert werden muß; im zweiten Fall: $U \sim V_{CKM} \cdot \text{diag}(e^{i\alpha_1}, e^{i\alpha_2}, 1)$

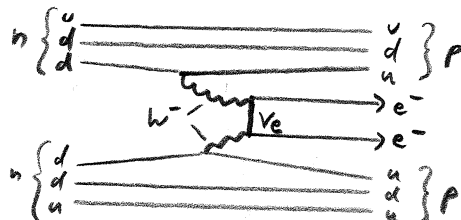
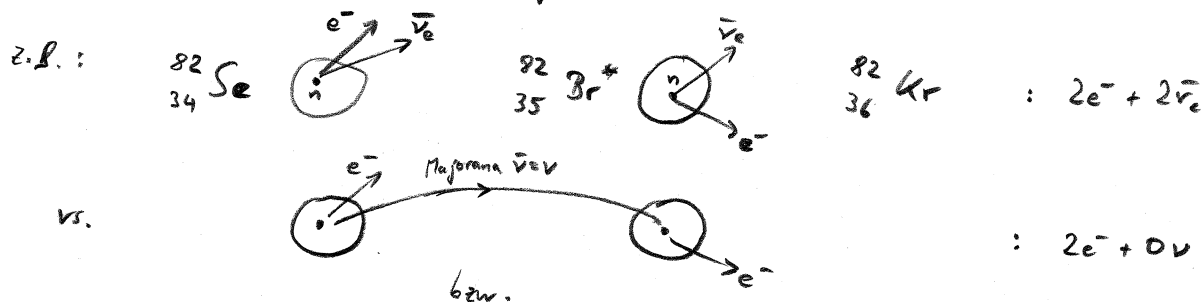
wobei α_1, α_2 zusätzliche CP-verletzende Phasen sind,

und für $\alpha_1, \alpha_2 \neq 0$ die Neutrinos "Majorana"-Teilchen sind,

also ihre eigenen Antiteilchen: $\bar{\nu} = \nu$

Um zu untersuchen, ob $\bar{\nu} = \nu$ ist, kann man nach

"neutrinoless doppelten Betazerfall" experimentell suchen



→ mehrere Experimente, z.B. Heidelberg-Moskau: $m_{\nu} \approx 0.2-0.5 \text{ eV}$
viele andere in Planung / Bau (sehr umstritten...)

→ Zerfallsrate $\Gamma \sim \left| \sum_i \frac{m_i U_{ei}}{m_{\nu i}} \right|^2$