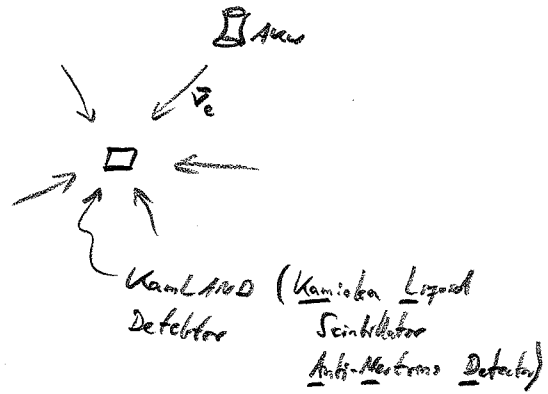


(4) Reaktor-Neutrinos

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

Ergebnisse: stimmen mit (2) überein.



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

Neutrino-Masse:

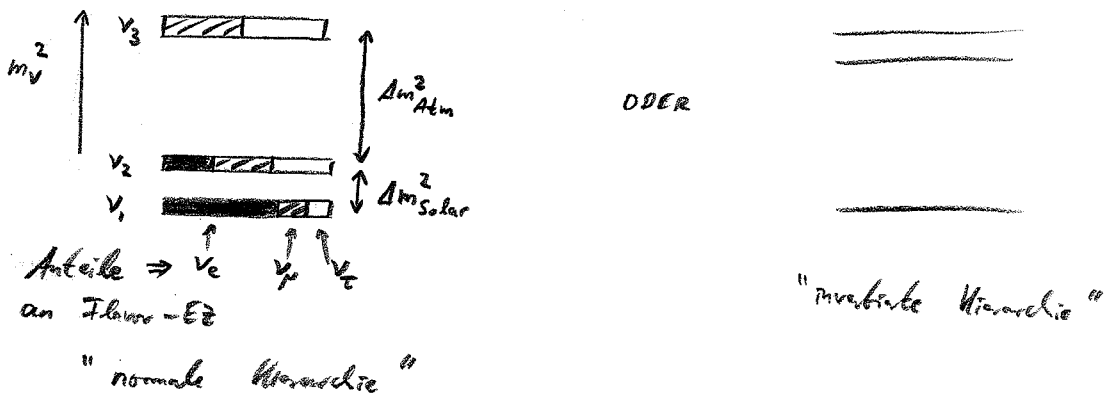
direkte Messung von  $m_\nu$  sehr schwer:

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

evtl. Erkenntnisse aus Kosmologie / Astroteilchenphysik, nützlich,  
 z.B.  $\sum m_\nu < 45 \text{ eV}$  (s. z.B. [Fayyazuddin, Introd. To Particle Physics])

Messung von Neutrinooszillationen durch  $\nu$ -Oszillationen

es ergibt sich das folgende Bild für die Masseneigenzustände  $\nu_i$ :



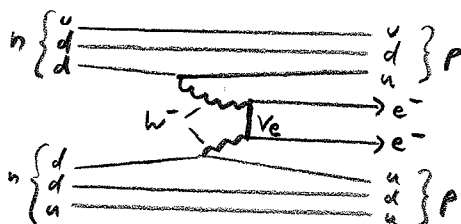
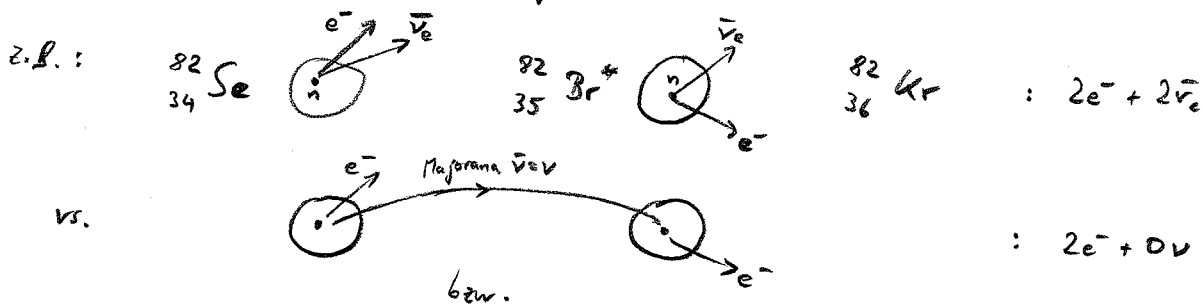
Über die Mischungsmatrix weiss man (momentan) noch erst  
 sehr wenig; für  $\begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \\ \nu_3 \end{pmatrix} = U \begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{pmatrix}$  sind  $|U_{ij}|$  oben schraffiert.  
 Jedenfalls ist  $\theta_{13}$  (im Ggs. zu  $\theta_{12}$ ) überhaupt nicht so drageant  
 (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  $\checkmark$  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  $\alpha_1, \alpha_2$  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  
 "neutrinosom doppeltem Betazerfall" experimentell suchen



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

→ Zerfallsrate  $\Gamma \sim \sum_i \frac{|m_i U_{ei}|^2}{m_{\beta\beta}}$

## Weitere Ideen jenseits des SM

### (a) Supersymmetrie

bisher: Symmetrien zw. verschiedenen Zuständen desselben Systems

z.B. Rotationsymmetrie in  $QM$ :

Theorie invariant unter  $\psi \rightarrow R_\theta \psi$

$\Leftrightarrow$  infinitesimale Version:  $\psi \rightarrow \psi + \delta\psi$ ,  $\delta\psi = -i(\delta\vec{\theta} \cdot \vec{S}) \psi$

Wess, Zumino (1974): Bosonen + Fermionen ineinander "rotieren"

z.B. Skalarfeld  $\phi$ , Spinorfeld  $\psi$ :

$$\delta\phi = 2\bar{\epsilon}\psi, \quad \delta\psi = -i\epsilon \not{\partial}\phi$$

$$\left( \begin{array}{l} \downarrow \epsilon \gamma^0 \\ \Rightarrow \delta\phi^* = 2\bar{\psi}\epsilon, \quad \delta\bar{\psi} = i\bar{\epsilon} \not{\partial}\phi^* \end{array} \right) \quad \left( \begin{array}{l} \uparrow \not{\partial} \gamma^\mu \psi \\ \text{(infinitesimal) Spinor } (\hat{=} \delta\vec{\theta}) \end{array} \right)$$

kann man eine Theorie konstruieren, die unter dieser Transformation invariant bleibt?

$\rightarrow$  viele Möglichkeiten

Bsp freie KG- und Dirac-Theorie mit derselben Masse  $m$

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2}(\partial_\mu \phi^*) \partial^\mu \phi - \frac{1}{2}m^2 \phi^* \phi + \bar{\psi} i \not{\partial} \psi - m \bar{\psi} \psi = \mathcal{L}_1 + \mathcal{L}_2 + \mathcal{L}_3 + \mathcal{L}_4$$

$$\left[ \begin{array}{l} \text{Griffiths,} \\ \text{Problem 12.8:} \end{array} \Rightarrow \begin{array}{l} \delta\mathcal{L}_1 = (\not{\partial}\phi)(\partial_\mu \bar{\psi})\epsilon + \bar{\epsilon}(\not{\partial}\phi^*)\partial_\mu \psi; \quad \delta\mathcal{L}_2 = -m^2(\bar{\psi}\epsilon\phi + \phi^*\bar{\epsilon}\psi); \\ \delta\mathcal{L}_3 = -\delta\mathcal{L}_1 + \partial_\mu Q^\mu; \quad \delta\mathcal{L}_4 \stackrel{\partial_\mu \bar{\psi}\epsilon\phi}{=} -\delta\mathcal{L}_2 + \partial_\mu R^\mu; \quad \delta\mathcal{L} = \partial_\mu(Q^\mu + R^\mu) \Rightarrow \text{Bilanz invariant!} \end{array} \right]$$

$\rightarrow$  i.A.: Supersymmetrie verbindet Teilchen, deren Spin sich um  $\frac{1}{2}$  unterscheidet: Fermions  $\leftrightarrow$  Bosons

Bem. • fundamentale Symmetrie der Natur?!

• jedes SM-Teilchen hat dann einen "Superpartner"

z.B. Quark - Squark, Lepton - Slepton, Elektron - Selektron, etc.

bzw. Photon - Photino, Gluon - Gluino, W - Wino, etc.

• Expt. Nachweis?! (noch) keine Superpartner gesehen  
 $\Rightarrow$  Masse "groß", Supersymm. muss gebrochen sein

• theor. Motivation: - bessere Vereinheitl.  $(\alpha_s, \alpha_w, \alpha_{em}) \rightarrow \alpha_{GUT}$   
- Kandidat für "Dunkle Materie": leichtestes SUSY T.