2.3.2 Niederenergetische Neutrinos von Beschleunigern

Niederenergiebeschleuniger: ca. 800 MeV Protonen

Reaktion:

$$p + N_{\text{Target}} \longrightarrow \pi^{\pm} + X$$

Die $\pi^{\pm}$ kommen im Strahlstop (Abschirmung, z.B. aus Kupfer) zur Ruhe.

Die negativen Pionen wechselwirken bevorzugt stark nach der Reaktion $\pi^{-}p \rightarrow \pi^{0}n$ vor ihrem schwachen Zerfall.

Die positiven Pionen zerfallen zuerst schwach und in Ruhe nach der Reaktion

$$\begin{array}{lllll} \pi^{+}_{\text{Ruhe}} \longrightarrow & \mu^{+} & \nu_{\mu} & & \\ & \mu^{+}_{\text{Ruhe}} & \longrightarrow e^{+}\nu_e\overline{\nu}_{\mu} & & \end{array}$$

mit gleicher Anzahl von ν_e, ν_{μ} und $\overline{\nu}_{\mu}$, wobei die ν_{μ} feste Energie $E_{\nu_{\mu}} = m_{\pi}/2 = 70\ MeV$ besitzen.

Untergrund von $\overline{\nu_e}$ (Anteil $\approx 7.5 \cdot 10^{-4}$) von den wenigen π^{-}- und μ^{-}-Zerfällen im Flug (π^{-}) und in Ruhe (μ^{-}).

Experimente:

- **LSND** (Liquid Scintillator Neutrino Detector)

  an der Los Alamos Meson Physics Facility (LAMPF): 780 MeV Protonen-Linearbeschleuniger.

  Detektor im Abstand $L = 30$ m:

  167 Tonnen Flüssigszintillator (dotiertes Mineralöl, CH_2),

  1220 Photomultiplier (PMT) zum Nachweis von Szintillations- und Čerenkov-Licht.

- **KARMEN** (Karlsruhe-Rutherford-Medium Energy Neutrino-Experiment)

  am 800 MeV Protonen-Beschleuniger für die Spallationsneutronenquelle ISIS am RAL bei London, gepulst mit 50 Hz.

  Detektor im Abstand $L = 20$ m:

  56 Tonnen Flüssigszintillator (512 3.5 m lange Behälter mit je 2 PMT) abwechselnd mit Gd_2O_3-Schichten für Neutroneinfang dazwischen.

$\overline{\nu}_e$-Nachweis:

$$\begin{aligned} \overline{\nu}_e + p \rightarrow \quad & e^+ + n \\ & e^+ \, e^- \rightarrow \gamma\gamma \text{ (prompte Szint.)} \\ & n \;\; p \quad \rightarrow d + \gamma_{2.2 \; MeV} \quad (LSND) \\ & n \;\; Gd \rightarrow Gd^* \rightarrow Gd + \gamma_{8 \; MeV} \\ & . \qquad\qquad\qquad\qquad (KARMEN) \end{aligned}$$

Appearance-Experimente: $\overline{\nu}_\mu \rightarrow \overline{\nu}_e$.

KARMEN: keine Anzeichen für ν-Oszillationen, Ausschlußkonturen:

$$\sin^2 2\theta < 1.3 \cdot 10^{-3}.$$

LSND (1993-98):

Überschuß von 33 ± 9 $\overline{\nu}_e$-Ereignissen über Untergrund im Energiebereich $20 \leq E_{e^+} \leq 60$ MeV interpretiert als ν-Oszillation.

Oszillationswahrscheinlichkeit:

$$\mathcal{P}(\overline{\nu}_\mu \rightarrow \overline{\nu}_e) = (0.25 \pm 0.06 \pm 0.04)\%.$$

Damit erlaubter Bereich für $\overline{\nu}_\mu - \overline{\nu}_e$-Oszillationen

$$0.2 \text{ eV}^2 < \delta m^2_{e\mu} < 2 \text{ eV}^2$$

$$0.0008 < \sin^2 2\theta_{e\mu} < 0.04$$

der noch nicht durch KARMEN und E776 (BNL) ausgeschlossen ist (mit 99% Konfidenz), auch nach der weiteren Verbesserung und Datennahme von KARMEN(2) 1997–März 2000.

Zusammenfassung der bisherigen ν-Oszillationsexperimente mit terrestrischen ν-Quellen:

Ausschluß der Bereiche

$\delta m^2_{eX} > 1 \cdot 10^{-3}$ eV^2	(Reaktor, Chooz, große $\sin^2 2\theta$)
$\delta m^2_{\mu\tau} > 2 \cdot 10^{-3}$ eV^2	(Beschleuniger, K2K, große $\sin^2 2\theta$)
$\sin^2 2\theta_{e\mu} > 1.3 \cdot 10^{-3}$	(Beschleuniger, KARMEN, große δm^2)
$\sin^2 2\theta_{\mu\tau} > 8 \quad \cdot 10^{-4}$	(Beschleuniger, CHORUS, große δm^2)

Ausnahme:

Erlaubter Bereich nach den LSND-Messungen (99% Konfidnezniveau):

$$\boxed{\begin{array}{c} 0.2 < \delta m^2_{e\mu} > 2 \text{ eV}^2 \\ 0.0008 < \sin^2 2\theta_{e\mu} > 0.04 \end{array}}$$

Schwer vereinbar mit den Beobachtungen atmosphärischer ν-Oszillationen und ν-Oszillationen zur Erkl"arung des solaren ν-Defizits bei nur 3 Neutrinogenerationen (LEP-Experimente, Häugfigkeit der im frühen Universum durch Nukleosynthese entstandenen Elemente).

Deshalb Ergebnisse zunächst angezweifelt und statistische Signifikanz zuerst nicht ausreichend.

Neue und endgültige Überprüfung der LSND-Resultate durch das ab 2002 geplante

(Mini)BooNE- (Booster Neutrino-) Experiment

am FNAL am Proton-Booster-Ring (8 GeV Protonen).