Mikheyev-Smirnov-Wolfenstein-Effekt: Konversion der Sonnenneutrinos ν_e:

Zwei Effekte:

1. Resonanzverstärkung der ν-Oszillationen in Materie

Oszillationsamplitude in Materie (35): Resonanzkurve in Abhängigkeit von A/D.

Resonanz bei $\boxed{A = A_R = D\cos 2\theta}$ (39)

abhängig von der Elektrondichte N_e und Neutrinoenergie E (nach (28)) und den Vakuum-Oszillationsparametern $D = \delta m^2$ und θ.

Breite der Resonanz (FWHM): $\Gamma_R = 2D\sin 2\theta$.

2. Materiedichteänderung entlang der ν-Flugstrecke

Nach (33): Aufspaltung der Masseneigenwerte in Materie als Funktion von $A \sim N_e$ bei gegebener Neutrinoenergie.

Kontinuierliche Materiedichteänderung für Neutrinos, die bei den Fusionsreaktionen im Sonnenzentrum erzeugt werden und durch die Sonnenatmosphäre nach außen dringen.

Massendichte im Sonnenzentrum: $\rho = 150$ g/cm^3, $Y_e = 0.7$, $N_{e0} = \rho Y_e / m_N$.

Radialer Abfall der Elektrondichte zum Sonnenrand bei $R = R_\odot = 7 \cdot 10^8$ m nach dem Standardsonnenmodell (SSM):

$N_e(R) = N_{e0} e^{-10.5 R/R_\odot}$.

Unterscheide drei Grenzfälle:

1. $\boxed{\frac{A}{D} \gg 1}$ (Sonnenzentrum: N_e groß),

und damit $A > A_R$ (Annahme für die Sonne).

$$\begin{aligned}
&\Longrightarrow \quad \sin^2 2\theta_m \stackrel{(35)}{\approx} \frac{\sin^2 2\theta}{(A/D)^2} \approx 0; \\
&\Longrightarrow \quad \underline{\theta_m = 90^\circ}; \\
&\Longrightarrow \quad \underline{L_m \stackrel{(38)}{\approx} \frac{L_0}{A/D} \approx 0}; \; D_m \stackrel{(36)}{\approx} A.
\end{aligned}$$

$\Longrightarrow$ Oszillationen unterdrückt.

Zustände an der Quelle:

Mit (32'): $\boxed{\begin{array}{l} |\nu_{1m}> \approx -|\nu_\mu> \\ |\nu_{2m}> \approx \quad |\nu_e> \end{array}}$ Mit (33): $\boxed{\begin{array}{l} m_{1m}^2 \approx m_2^2 \\ m_{2m}^2 \approx A \end{array}}$

mit

$m_{1,2m} \approx \frac{1}{2}[m_1^2 + m_2^2 + A \mp (A - D)]$

$(D = m_2^2 - m_1^2 > 0$ und $A > 0$ für Neutrinos).

2. $\boxed{\frac{A}{D} \longrightarrow 0}$ (Sonnenrand, Vakuum: $N_e \longrightarrow 0$)

$$\Longrightarrow \underline{\theta_m \stackrel{(35)}{\longrightarrow} \theta};$$

$$D_m \stackrel{(36)}{\longrightarrow} D;$$

$$L_m \stackrel{(38)}{\longrightarrow} L_0.$$

Zustände nach der Konversion in der Sonne:

Mit (32'): $\boxed{\begin{array}{l} |\nu_{1m}> \approx |\nu_e> \\ |\nu_{2m}> \approx |\nu_\mu> \\ \text{für kleine } \theta \end{array}}$ Mit (33): $\boxed{\begin{array}{l} m_{1m}^2 \approx m_1^2 \\ m_{2m}^2 \approx m_2^2 \end{array}}$

mit

$$m_{1,2m} \approx \frac{1}{2}[m_1^2 + m_2^2 \mp D)]$$

$$(D = m_2^2 - m_1^2 > 0).$$

3. Resonanz im Sonneninnern bei kontinuierlicher Dichteänderung zwischen (1.) und (2.):

$$\boxed{A = A_R = D \cos 2\theta}$$

$\Longrightarrow$ Amplitude $\underline{\sin^2 2\theta_{\mathrm{mR}} \equiv 1}$ maximal,

$\Longrightarrow$ Massenaufspaltung $\mathrm{D_{mR}} \stackrel{(36)}{=} \mathrm{D} \sin 2\theta$ minimal,

$\Longrightarrow$ Periode $\mathrm{L_{mR}} \stackrel{(38)}{=} \dfrac{\mathrm{L_0}}{\sin 2\theta}$ maximal.

Maximale Mischung unabhängig von $\sin^2 2\theta$: 'flavour-flip'.

Zustände bei der Resonanz:

Mit (32'): $\boxed{\begin{array}{l} |\nu_{1m}> = \frac{1}{\sqrt{2}}(|\nu_e> + |\nu_\mu>) \\ |\nu_{2m}> = \frac{1}{\sqrt{2}}(|\nu_e> - |\nu_\mu>) \end{array}}$

Mit (33): $\boxed{\begin{array}{l} m_{1m}^2 \approx m_{2m}^2 \\ m_1^2 \approx m_2^2 \end{array}}$