

Übungsblatt Nr. 11

Besprechung in der Woche ab 10.1.

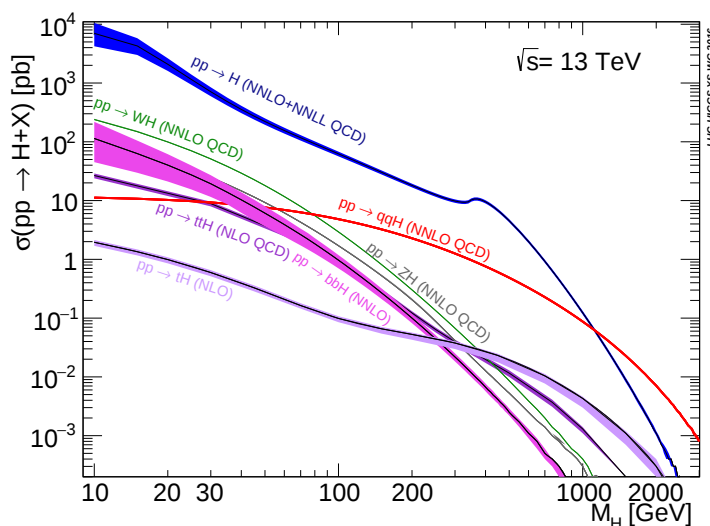
Aufgabe 11.1: Elektroschwache Parameter

(1 Punkt)

Die Parameter der elektroschwachen Theorie sind über die in der Vorlesung kennengelernten Beziehungen miteinander verbunden, also nicht alle unabhängig. Nehmen Sie an, dass $\alpha_{\text{QED}} = 1/137$ und die Massen der Bosonen ($m_W = 80.4 \text{ GeV}$, $m_Z = 91.2 \text{ GeV}$) als Parameter bekannt sind. Berechnen Sie davon ausgehend die anderen elektroschwachen Parameter (v , θ_W , g_W , g').

Aufgabe 11.2: Produktionskanäle des Higgs-Bosons

Ein Higgs-Boson kann am LHC in verschiedenen Prozessen entstehen, siehe Abbildung.



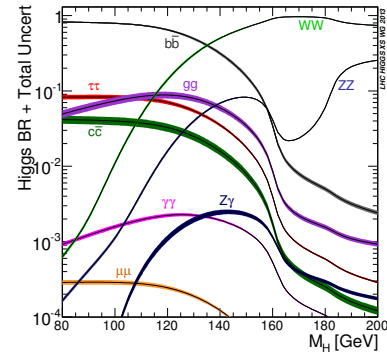
- a) Der für $m_H = 125 \text{ GeV}$ dominierende Prozess ist kurioserweise "Gluonen-Fusion", also $gg \rightarrow H$ als partonischer Prozess. Erklären Sie mit Hilfe des Konzepts von Partondichtefunktionen, dass dieser Prozess in Proton-Proton-Kollisionen stattfinden kann. (1 Punkt)
- b) Können Higgs-Bosonen direkt an Gluonen koppeln? Falls nicht, können Sie sich ein anderes Diagramm für diesen Prozess vorstellen? (1 Punkt)
Hinweis: Für einen dominanten Produktionsprozess sollte das an das Higgs koppelnde Teilchen eine sehr hohe Masse haben.
- c) Können Sie sich erklären, warum der Prozess $pp \rightarrow t\bar{t}H$ trotz der hohen Masse des Top-Quarks und damit hoher Kopplungsstärke an das Higgs-Boson so unterdrückt ist? (1 Punkt)

Aufgabe 11.3: Zerfallskanäle des Higgs-Bosons

Das Higgs-Boson ist instabil und deshalb in verschiedenen Endzuständen beobachtbar. Die jeweiligen Verzweungsverhältnisse

$$\text{BR} = \frac{\Gamma_{fi}}{\sum_i \Gamma_{fi}}$$

sind rechts abgebildet. Erklären Sie für ein Higgs-Boson der Masse $m_H = 125 \text{ GeV}$ anhand der Stärke seiner Kopplungen an Fermionen und Bosonen, warum manche Endzustände mehr bzw. weniger wahrscheinlich sind.



(1 Punkt)

Aufgabe 11.4: Yukawa-Massen und $SU(2)_L$ -Invarianz

Zeigen Sie, dass der in der Vorlesung gegebene Term für Yukawa-Kopplungen,

(2 Punkte)

$$\mathcal{L}_m = -\sqrt{2} \frac{m_e}{v} \left[(\bar{\nu}_e \bar{e})_L \begin{pmatrix} \phi^+ \\ \phi^0 \end{pmatrix} e_R + \bar{e}_R (\phi^{+*} \phi^{0*}) \begin{pmatrix} \nu_e \\ e \end{pmatrix}_L \right],$$

eichinvariant unter $SU(2)_L$ - und $U(1)_Y$ -Transformationen ist.

Aufgabe 11.5: Neutrinooszillationen für 2 Generationen

Nehmen Sie an, es gäbe nur zwei Neutrinogenerationen. Als Eigenzustände des freien Hamiltonoperators seien sie wie bisher durch Dirac-Spinoren und einen Ebene-Wellen-Ansatz gegeben als:

$$\nu_1(\vec{x}, t) = \nu_1 e^{-ip_1 \cdot x}$$

$$\nu_2(\vec{x}, t) = \nu_2 e^{-ip_2 \cdot x}$$

Diese sind nicht zugleich Eigenzustände der schwachen Wechselwirkung, sondern deren Mischung soll durch einen Mischungswinkel θ ($\neq \theta_W$!) parametrisiert sein als:

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \end{pmatrix}$$

- a) Zeigen Sie, dass sich damit für einen ursprünglich mit einem Elektron produzierten Neutrinozustand $\psi(t=0) = \nu_e$ folgende Entwicklung nach Zurücklegen einer Zeit T und Wegstrecke L ergibt:

(1 Punkt)

$$\psi(L, T) = e^{-i\phi_1} \left[(\cos^2 \theta + e^{i\Delta\phi_{12}} \sin^2 \theta) \nu_e - (1 - e^{i\Delta\phi_{12}}) \cos \theta \sin \theta \nu_\mu \right]$$

$$\text{mit } \phi_i = p_i \cdot x \text{ und } \Delta\phi_{12} = (E_1 - E_2)T - (|\vec{p}_1| - |\vec{p}_2|)L$$

- b) Nehmen Sie an, dass die beiden Masseneigenzustände mit dem gleichen Impuls propagieren, $|\vec{p}_1| = |\vec{p}_2| \equiv p$, und dass die Neutrinomassen sehr klein sind, $m \ll E$. Zeigen Sie damit, dass sich die Phasendifferenz in natürlichen Einheiten ergibt zu:

(1 Punkt)

$$\Delta\phi_{12} \approx \frac{m_1^2 - m_2^2}{2p} L$$

- c) Berechnen Sie letztendlich die "Überlebenswahrscheinlichkeit" $\mathcal{P}_{\nu_e \rightarrow \nu_e}$ des Elektroneneutrinos in Abhängigkeit von der zurückgelegten Wegstrecke L .

(1 Punkt)