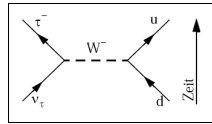


1. Schwache Wechselwirkung

a.) Prozesse a), b) und d) sind verboten. Es gibt kein Austauschteilchen, dass diese Prozesse ermöglichen würde. Prozess c) ist erlaubt. Es wird ein Z^0 ausgetauscht.

b.)

1. Feynman Diagram:

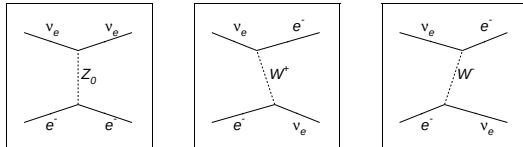


2. Es wird ein W^- ausgetauscht.

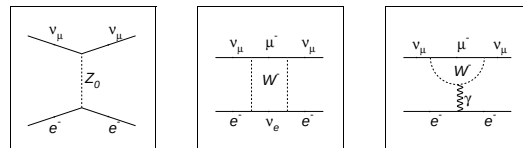
3. Im Atomkern wird ein d in ein u Quark umgewandelt: d.h. aus einem Neutron wird ein Proton. Der Kern verwandelt sich ähnlich wie beim Beta-Zerfall: $A_N^Z \rightarrow A_{N-1}^{Z+1}$

2. Neutrino-Elektron Streuung

a) Feynman Diagramme für die $\nu_e + e^- \rightarrow \nu_e + e^-$ Prozesse erster Ordnung:



b) Feynman Diagramm für den $\nu_\mu + e^- \rightarrow \nu_\mu + e^-$ Prozess. In erster Ordnung ist der Prozess nur mit dem neutralen schwachen Strom möglich. Der geladene Strom wird erst in höheren Ordnungen stattfinden (Box Diagramm und Pinguin Diagramm).



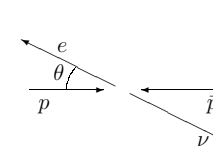
3. Nachweis des W-Bosons

a) m_t -Verteilung

$$\begin{aligned} m_t^2 &\equiv (p_{t,e} + p_{t,\nu})^2 - (\vec{p}_{t,e} + \vec{p}_{t,\nu})^2 = p_{t,e}^2 + 2p_{t,e}p_{t,\nu} + p_{t,\nu}^2 - p_{t,e}^2 - 2\vec{p}_{t,e} \cdot \vec{p}_{t,\nu} - p_{t,\nu}^2 \\ &= 2p_{t,e}p_{t,\nu}(1 - \cos \phi_{e\nu}) \end{aligned}$$

b) Jacobisches Maximum

$$p_e \approx \frac{M_W c}{2} \Rightarrow p_{t,e} = \frac{M_W c}{2} \sin \theta \Rightarrow \sin \theta = \frac{2p_{t,e}}{M_W c} \Rightarrow$$



$$\begin{aligned} \cos \theta &= \pm \sqrt{1 - \sin^2 \theta} = \pm \sqrt{1 - \left(\frac{2p_{t,e}}{M_W c}\right)^2} = \pm \frac{2}{M_W c} \sqrt{\left(\frac{M_W c}{2}\right)^2 - p_t^2} \\ &\Rightarrow \frac{d \cos \theta}{dp_t} = \pm \frac{2}{M_W c} \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{M_W c}{2}\right)^2 - p_t^2}} (-2p_t) \end{aligned}$$

Physikalisch macht nur ein positiver Wirkungsquerschnitt Sinn:

$$\Rightarrow \frac{d\sigma}{dp_t} = \frac{d\sigma}{d \cos \theta} \frac{2p_t}{M_W c} \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{M_W c}{2}\right)^2 - p_t^2}}$$

Der Wirkungsquerschnitt nimmt für kleine p_t linear zu und hat bei $p_t = M_W c/2$ ein Maximum. Da das W -Boson nicht in Ruhe produziert wurde und eine endliche Zerfallsbreite hat, ist die Verteilung um das Maximum "ausgesmiert" und nicht unendlich.

4. Entdeckung des Z-Bosons

a) Für die Strahlenergie muss die Schwerpunktsenergie der Quarks mindestens gleich der Ruhemasse des Z 's sein:

$$\begin{aligned} s &= \text{Proton-Schwerpunktsenergie} & E_p &= \text{Proton-Strahlenergie} \\ \hat{s} &= \text{Quark-Schwerpunktsenergie} & E_q &= \text{Quark-Strahlenergie} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u + \bar{u} &\rightarrow Z & M_Z \cdot c^2 &\stackrel{!}{=} 2E_q & \langle x_v \rangle &= 0.15 \\ d + \bar{d} &\rightarrow Z & s &\stackrel{!}{=} 4E_p^2 & \langle x_s \rangle &= 0.04 \end{aligned}$$

$p\bar{p}$	pp
$M_z \cdot c^2 = \sqrt{\hat{s}} = \sqrt{\langle x_v \rangle \cdot \langle x_v \rangle \cdot s}$	$M_z \cdot c^2 = \sqrt{\hat{s}} = \sqrt{\langle x_v \rangle \cdot \langle x_s \rangle \cdot s}$
$= 2 \cdot \langle x_v \rangle \cdot E_p$	$= 2 \cdot \sqrt{\langle x_v \rangle \cdot \langle x_s \rangle} \cdot E_p$
$\Rightarrow E_p = \frac{M_z \cdot c^2}{2 \langle x_v \rangle} = \frac{E_q}{\langle x_v \rangle}$	$\Rightarrow E_p = \frac{M_z \cdot c^2}{2 \sqrt{\langle x_v \rangle \cdot \langle x_s \rangle}} = \frac{E_q}{\sqrt{\langle x_v \rangle \cdot \langle x_s \rangle}}$
$E_p \sim 304 \text{ GeV} (M_Z = 91.2 \text{ GeV})$ $317 \text{ GeV} (M_Z = 95.2 \text{ GeV})$	$E_p \sim 589 \text{ GeV} (M_Z = 91.2 \text{ GeV})$ $615 \text{ GeV} (M_Z = 95.2 \text{ GeV})$

b) Für die Luminosität gilt:

$$\dot{N} = \sigma \cdot \mathcal{L} \quad \Rightarrow \quad \mathcal{L} = \frac{\dot{N}}{\sigma}$$

$$\dot{N} = \frac{4 \text{ Ereignisse}}{7.24 \cdot 3600 \text{ s}} \quad \sigma = 0.1 \text{ nb} = 10^{-38} \text{ m}^2$$

$$\Rightarrow \mathcal{L} = 6.6 \cdot 10^{32} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} = 6.6 \cdot 10^{28} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

c) Die W-Masse berechnet sich wie in Aufgabe 3 gezeigt aus der Gleichung

$$m_t^2 = 2p_{t,e}p_{t,\nu}(1 - \cos \phi_{e\nu})$$

Die transversale Masse ist nötig, weil beim W-Zerfall ein Neutrino vorkommt, dessen Energie und Impuls nicht gemessen werden.

Beim Z Zerfall hingegen, misst man die Elektronen und Positronen direkt. Deshalb kann hier die wirkliche Masse berechnet werden:

$$m_Z^2 = 2p_{e^+}p_{e^-}(1 - \cos \theta_{e^+e^-})$$

$\theta_{e^+e^-}$ ist der Winkel zwischen dem Elektron-Positron Paar. Leider wurde in der Tabelle 1 im Paper nur der Winkel ϕ in der X-Y Ebene angegeben. Zur Lösung geht es also darum zuerst die Energie, Θ und ϕ in den Vierervektor der Elektronen und Positronen umzurechnen. Der Winkel Θ kann aus der Rapidität y berechnet werden (für $m < p$ gilt $Y = \eta = -\ln \tan \Theta/2$). Desweiteren muss man sich überlegen ob man die Energiemessung aus dem Kalorimeter oder die Impulsmessung aus der Spurkammer benutzen sollte. Bei hohen Energien sind Kalorimeter Messungen für Elektronen fast immer besser als die Messungen aus der Spurkammer. Im Kalorimeter wird die gesamte Energie der Elektronen gemessen (inklusive der Bremsstrahlungsphotonen im Spurdetektor) und die Energiemessung ist "gaussisch" während eine Impulsmessung "gaussisch" in 1/P ist.

Entsprechend findet man für die 4 Ereignisse folgende e^+e^- invariante Massen (falls man sich nicht verrechnet): 91.75 GeV, 97.1 GeV, 98.7 GeV und 95.2 GeV.

d) Kosmische Spuren

e) Paper : $m_Z = 95.2 \text{ GeV}$ und $\Gamma_Z = 3.0 \text{ GeV}$
Particle Data Book (2006) : $m_Z = 91.2 \text{ GeV}$ und $\Gamma_Z = 2.5 \text{ GeV}$

f) Aus der Breite der Resonanz Γ_Z folgt nach der Unschärferelation für die Z-Lebensdauer $\tau_Z = 1/\Gamma_Z$. Je mehr mögliche Zerfallskanäle es gibt (also auch Zerfälle in die unsichtbaren Neutrinos und Antineutrinos), desto grösser ist die Breite.