Teilchenphysik I

Übung 11: Die Elektroschwache Vereinigung und starke Wechselwirkung

1 Anwesenheitsaufgaben

1.1 Der Cabibbo-Winkel in schwachen Zerfällen

Die schwache Wechselwirkung erzeugt durch die Abstrahlung bzw. Absorption von W-Bosonen Übergänge in den Dubletts der linkshändigen Leptonen und Quarks:

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e^- \end{pmatrix}_L, \begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu^- \end{pmatrix}_L, \begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}_L \tag{1}$$

- Zeichnen Sie den Feynman-Graphen für den Zerfall $K^+ \to \mu^+\nu_\mu$. Kann man diesen Zerfall im Rahmen des Modells in Gl. 1 verstehen?

Um die Dublett-Struktur nicht aufgeben zu müssen, schlug Cabibbo 1963 vor, daß die Eigenzustände der schwachen Wechselwirkung verschieden von den Masseneigenzuständen sein könnten und man in der schwachen Wechselwirkunng den gemischten Zustand d' beobachtet:

$$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix} \longrightarrow \begin{pmatrix} u \\ d' \end{pmatrix} \tag{2}$$

wobei $d' = d \cdot \cos\theta_C + s \cdot \sin\theta_C$. Der Parameter θ_C wird als *Cabibbo-Winkel* bezeichnet.

- Wie verhalten sich in diesem Modell die Zerfallsbreiten für folgende Zerfälle?

$$K^+ \to \mu^+\nu_\mu \quad (|\Delta S| = 1) \tag{3}$$
$$\pi^+ \to \mu^+\nu_\mu \quad (|\Delta S| = 0) \tag{4}$$
$$\mu^- \to e^-\bar{\nu}_e\nu_\mu \tag{5}$$

1.2 Zerfall des Z^0-Bosons

1. Die Kopplungen des Z^0-Bosons an Fermionpaare sind gegeben durch:

$$\gamma^\mu(c_v - c_a\gamma^5) \tag{6}$$

mit

$$c_a = I_3$$
$$c_v = T_3 - 2Q\sin^2\theta_W$$

wobei I_3 die dritte Komponente des schwachen Isospins der Fermionen und $\sin^2\theta_W = 0.23157 \pm 0.00018$ ist.

Berechnen Sie die Verzweigungsverhältnisse des Z^0-Bosons unter Vernachlässigung der Phasenraumunterschiede der verschiedenen Fermionen. Bedenken Sie, daß die Quarks Farbe tragen! Wieso kann das Z^0 nicht in $t\bar{t}$-Paar zerfallen?

2. Die Ereignisbilder zeigen Z^0-Zerfälle, die mit vom OPAL-Detektor aufgezeichnet wurden. Der OPAL-Detektor ist eines der vier Experimente, welches Z^0-Zerfälle an LEP untersucht. Ordnen Sie jedem Ereignisbild eine Zerfallsklasse, deren Verzweigungsverhältnis Sie oben berechnet haben, zu.

1.3 Der Weinberg-Winkel

Unter Verwendung des Higgs-Mechanismus erhält man folgendes Verhältnis zwischen den so erhaltenen Vektorboson-Massen und dem Weinberg-Winkel θ_W:

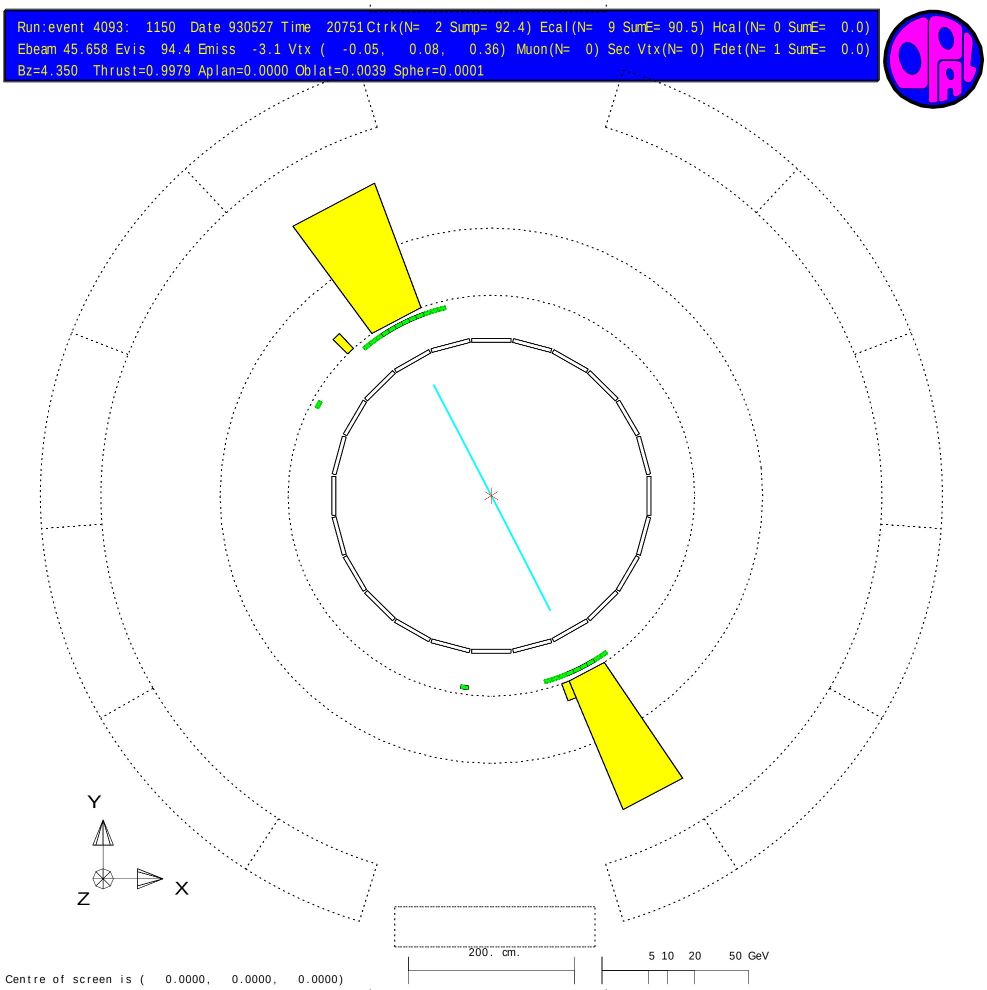
$$\sin^2\theta_W = 1 - \frac{M_W^2}{M_Z^2} \tag{7}$$

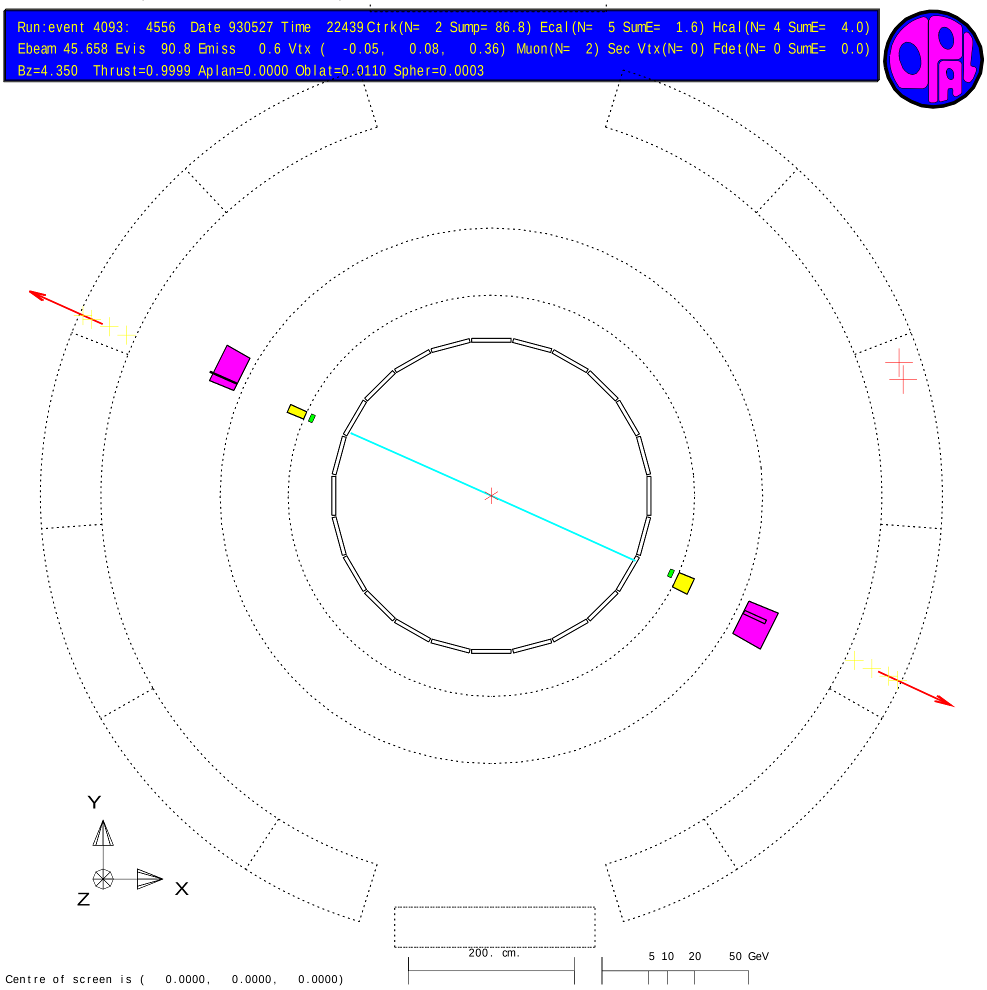
Verwenden Sie diese Formel um den Weinberg-Winkel zu berechnen.

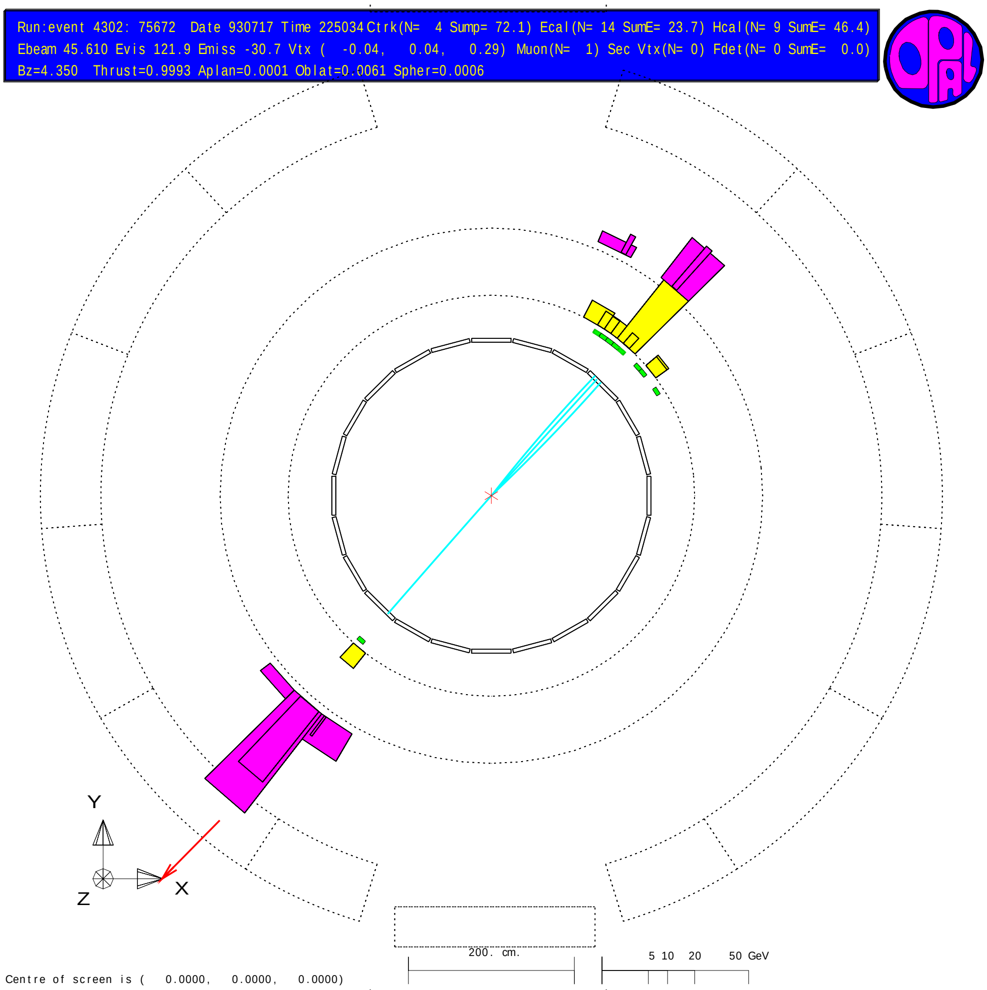
1.4 Farbladung

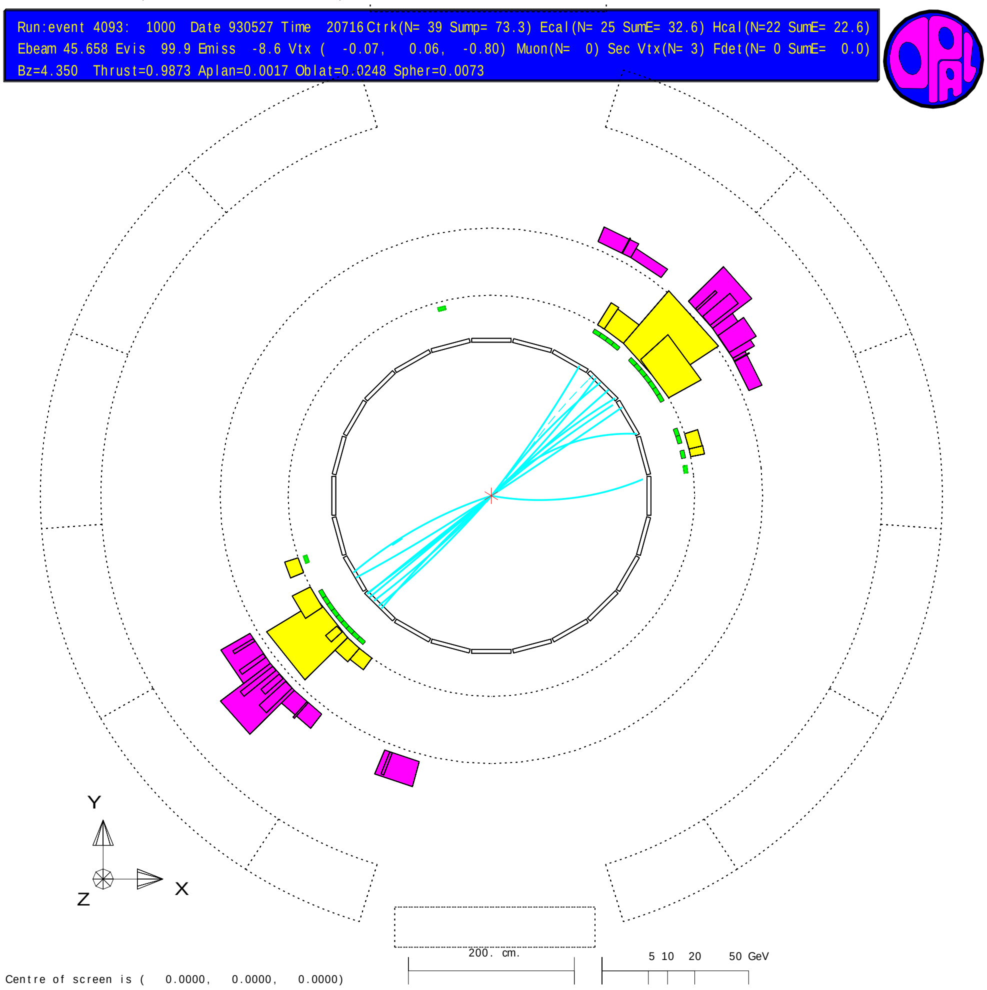
Diskutieren Sie die folgenden experimentellen Beocbachtungen unter dem Aspekt der Farbladung:

- die Existenz des Δ^{++}-Baryons
- $R = \dfrac{\sigma(e^+e^- \to \text{Hadronen})}{\sigma(e^+e^- \to \mu^+\mu^-)} = 3 \sum\limits_{2m_q < E_{CM}} e_q^2$
- $B(\tau^- \to \nu_\tau e^- \bar{\nu}_e) = 0.1780 \pm 0.0009$
- $\Gamma(\pi^0 \to \gamma\gamma) \approx 9\Gamma(q\bar{q} \to \gamma\gamma)$


Run:event 4093: 1150 Date 930527 Time 20751 Ctrk(N= 2 Sump= 92.4) Ecal(N= 9 SumE= 90.5) Hcal(N= 0 SumE= 0.0)
Ebeam 45.658 Evis 94.4 Emiss -3.1 Vtx (-0.05, 0.08, 0.36) Muon(N= 0) Sec Vtx(N= 0) Fdet(N= 1 SumE= 0.0)
Bz=4.350 Thrust=0.9979 Aplan=0.0000 Oblat=0.0039 Spher=0.0001
Y
Z
X
200. cm.
5 10 20 50 GeV
Centre of screen is (0.0000, 0.0000, 0.0000)


Run:event 4093: 4556 Date 930527 Time 22439 Ctrk(N= 2 Sump= 86.8) Ecal(N= 5 SumE= 1.6) Hcal(N= 4 SumE= 4.0)
Ebeam 45.658 Evis 90.8 Emiss 0.6 Vtx (-0.05, 0.08, 0.36) Muon(N= 2) Sec Vtx(N= 0) Fdet(N= 0 SumE= 0.0)
Bz=4.350 Thrust=0.9999 Aplan=0.0000 Oblat=0.0110 Spher=0.0003
Y
Z
X
200. cm.
5 10 20 50 GeV
Centre of screen is (0.0000, 0.0000, 0.0000)


Run:event 4302: 75672 Date 930717 Time 225034 Ctrk(N= 4 Sump= 72.1) Ecal(N= 14 SumE= 23.7) Hcal(N= 9 SumE= 46.4)
Ebeam 45.610 Evis 121.9 Emiss -30.7 Vtx (-0.04, 0.04, 0.29) Muon(N= 1) Sec Vtx(N= 0) Fdet(N= 0 SumE= 0.0)
Bz=4.350 Thrust=0.9993 Aplan=0.0001 Oblat=0.0061 Spher=0.0006
Y
Z
X
200. cm.
5 10 20 50 GeV
Centre of screen is (0.0000, 0.0000, 0.0000)


Run:event 4093: 1000 Date 930527 Time 20716 Ctrk(N= 39 Sump= 73.3) Ecal(N= 25 SumE= 32.6) Hcal(N=22 SumE= 22.6)
Ebeam 45.658 Evis 99.9 Emiss -8.6 Vtx (-0.07, 0.06, -0.80) Muon(N= 0) Sec Vtx(N= 3) Fdet(N= 0 SumE= 0.0)
Bz=4.350 Thrust=0.9873 Aplan=0.0017 Oblat=0.0248 Spher=0.0073
Y
Z
X
200. cm.
5 10 20 50 GeV
Centre of screen is (0.0000, 0.0000, 0.0000)