# Teilchenphysik I

Übung 9: Isospin, Parität und Ladungskonjugation

## 1 Anwesenheitsaufgaben

### 1.1 Der Zerfall des geladenen Pions

Das geladene Pion hat die beiden Zerfallskanäle: $\pi^- \to e^- \overline{\nu}_e$ und $\pi^- \to \mu^- \overline{\nu}_\mu$. Nach Fermis Goldener Regel ist die Zerfallsrate gegeben durch:

$$\Gamma = \frac{|\vec{p}|}{8\pi m_\pi^2} \times |\overline{\mathcal{M}}|^2 \times S$$

wobei $|\vec{p}|$ der Impuls jedes der Zerfallsteilchen und $S$ der Spinfaktor der Teilchen im Endzustand sind. (Nehmen Sie überall masselose Neutrinos an! Benutzen Sie das Ruhesystem des Pions, wann immer Sie ein explizites Bezugssystem benötigen!)

1. Wenn Sie die beiden Zerfallskanäle vergleichen, was würden Sie anhand von Phasenraumbetrachtungen für das Verhältnis $\Gamma_e/\Gamma_\mu$ erwarten?

2. Das über die Spins der Zerfallsteilchen gemittelte Matrixelement kann mit den Feynmanregeln berechnet werden. Das Ergebnis lautet:

   $$|\overline{\mathcal{M}}|^2 = 2G_F^2 f_\pi^2 \cos^2\theta_C m_\ell^2 \left(m_\pi^2 - m_\ell^2\right)$$

   wobei $G_F$ die Fermikonstante, $\cos\theta_C$ der Cosinus des Cabibbowinkels (wird noch in der Vorlesung diskutiert), $f_\pi$ eine Konstante, die die Kopplung des Pions an das $W$ mit allen Korrekturen, die die starke Wechselwirkung betreffen, beinhaltet, und $\ell$ eine Abkürzung für geladene Leptonen der Masse $m_\ell$ ($e$ or $\mu$) sind.
   Setzen Sie das Matrixelement in Fermis Goldene Regel ein, um einen Ausdruck für die Zerfallsbreiten zu erhalten!

3. Berechnen Sie $R = \frac{\Gamma_e}{\Gamma_\mu}$! Vergleichen Sie dies mit den PDG-Werten und Ihrer Antwort auf die erste Frage!

### 1.2 Eine experimentelle Grenze auf die Masse des Müonneutrinos

Die Abbildung zeigt den Aufbau eines Experiments, das nach der Müonneutrinomasse sucht. (Man hat keine gefunden.) (Referenz: Physics Letters 146B (1984) 431)

Man untersucht den Ruhezerfall $\pi^+ \to \mu^+ \nu_\mu$.

1. Diskutieren Sie den Versuchsaufbau!

2. Geben Sie die Formel für den Müonimpuls für eine beliebige Neutrinomasse an!

3. Die Messung ergibt einen Impuls von $p_\mu = (29.79139 \pm 0.00083)$ MeV. Berechnen Sie $m_\nu^2$! Wie kann es zu einem solchen Ergebnis kommen? ($m_\mu = (105.658389 \pm 0.000034)$ MeV, $m_\pi = (139.5679 \pm 0.0007)$ MeV)

4. Berechnen sie den statistischen Fehler von $m_\nu^2$ und das 90 % Vertrauensintervall für die obere Grenze von $m_\nu^2$! (Normieren Sie die Gaußfunktion, damit die Gesamtwahrscheinlichkeit, irgendeinen physikalischen Wert zu finden, 1 ist!)

5. Wie wirken sich die Unsicherheiten von $m_\pi$ und $m_\mu$ aus?

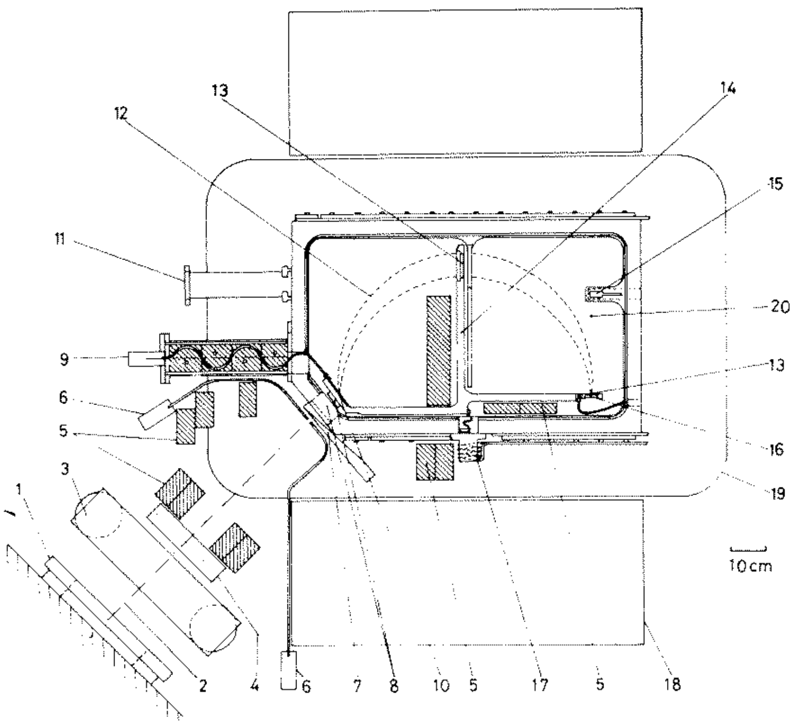


Fig. 1. Experimental set-up for the muon momentum measurement: (1) Exit vacuum window of the pion channel, (2) central trajectory of $\pi$E1 pion channel, (3) horizontal beam steering magnet, (4) multiwire proportional chamber for beam profile monitoring, (5) lead bricks, (6) light guides of the two scintillation counters used for beam steering, (7) remotely controlled pion degrader of variable thickness (graphite), (8) fixed graphite degraders, (9) S1 pion-stop scintillation counter light guide, (10) scintillator S1 (NE102A), (11) port for vacuum pump, (12) accepted muon trajectories, (13) copper collimators, (14) aluminium T-arm supporting scintillator, collimators and silicium counter, removable for distance measurements, (15) nuclear magnetic resonance probe for magnetic field measurements and stabilization, placed at "reference point", (16) silicium surface barrier detector (Si), (17) cooling spiral for temperature control of vacuum chamber and T-arm, (18) yoke of the magnet, (19) magnet coils, (20) $^{241}$Am $\alpha$ source for calibration of the silicium detector.

# 2 Hausaufgaben

## 2.1 Parität und Neutrinos

Ist das Neutrino ein Eigenzustand der Paritätstransformation? (1 Punkt)

## 2.2 Helizitätsunterdrückung

Betrachten Sie den Pionzerfall in der Anwesenheitsübung Nr 1.1:

1. Bestimmen Sie den Drehimpuls zwischen dem geladenen Lepton und seinem Neutrino und die Orientierung ihrer Spins im Ruhesystem des Pions! (1 Punkt)
2. Wie ist das Verzweigungsverhältnis des Pions in ein fiktives, masseloses, geladenes Lepton $\ell$ and sein Neutrino $\overline{\nu}_\ell$? (1 Punkt)

## 2.3 Eigenzustände von Isospin mit Gesamtisospin 1

Welche der folgenden Zustände können einen Gesamtisospinwert von 1 annehmen? Wenn nicht, warum nicht? (5 Punkte)

1. $\pi^0\pi^0$
2. $\pi^+\pi^-$
3. $\pi^+\pi^+$
4. $\Sigma^0\pi^0$
5. $\Lambda\pi^0$

## 2.4 Betazerfall und die CP-Symmetrie

Wenden Sie den Paritätsoperator auf den Prozeß $n \to p + e^- + \overline{\nu_e}$ an. Kommt der so erhaltene Zerfall vor? Wenden Sie weiter die Ladungskonjugation an. Welchen Prozeß erhält man? Ist CP im $\beta$-Zerfall erhalten? (1 Punkt)

## 2.5 CP-Eigenzustände aus mehreren Pionen

Bestimmen Sie den CP-Eigenwert eines N-Pion-Zustandes mit $I_3^{total}$=0 und Bahndrehimpuls L=0. (1 Punkt)