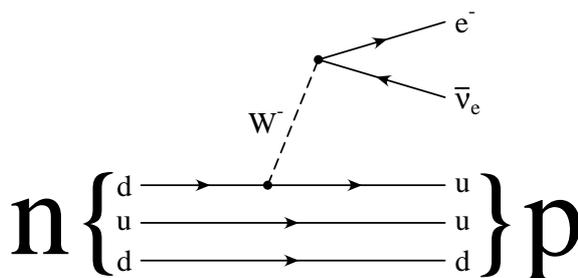


Lösungen zur Nachklausur Moderne Experimentalphysik III

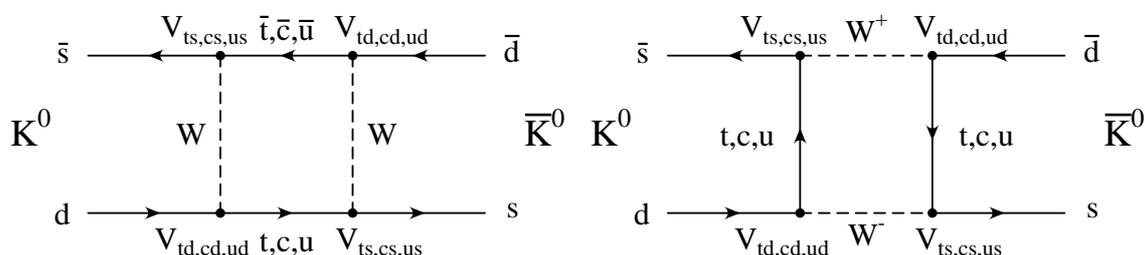
Aufgabe 1: ^{14}C -Methode

Beim Zerfall $^{14}_6\text{C} \rightarrow ^{14}_7\text{N} e^- \bar{\nu}_e$ handelt es sich um einen β^- -Zerfall.



Die Probe hat eine spezifische Aktivität von $5.1 \text{ Bq}/40 \text{ g} = \frac{1}{2} \cdot 0.255 \text{ Bq/g}$, d.h. genau die Hälfte der spezifischen Aktivität von lebendem Gewebe. Das Alter entspricht also gerade einer Halbwertszeit von 5730 Jahren.

Aufgabe 2: K^0 -Mesonen



$$|K_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|K_0\rangle - |\bar{K}_0\rangle)$$

$$|K_2\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|K_0\rangle + |\bar{K}_0\rangle)$$

Der bevorzugte Zerfallskanal ist durch den CP -Eigenwert des Endzustands bestimmt, wobei zwei Pionen CP -gerade und drei Pionen CP -ungerade sind:

$$|K_1\rangle \rightarrow \pi^+\pi^-, \pi^0\pi^0$$

$$|K_2\rangle \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0, \pi^0\pi^0\pi^0$$

K_2 -Mesonen leben länger, da der Phasenraum für den Zerfall in drei Pionen geringer ist.

Aus der Beobachtung, dass langlebige neutrale Kaonen in zwei Pionen zerfallen, konnte man schliessen, dass die CP -Symmetrie verletzt ist.

Aufgabe 3: Σ -Teilchen

Da Σ -Teilchen Baryonen sind, müßen sie aus drei Valenzquarks bestehen. Strangeness -1 bedeutet (netto) ein s -Quark. Mit Isospin 1 hat man einen Isospin-Triplett-Zustand mit zwei leichten u - bzw. d -Quarks. Es gibt also folgende drei Zustände:

$$\Sigma^-(dds) \quad \Sigma^0(uds) \quad \Sigma^+(uus)$$

Σ -Baryonen können nicht über die starke Wechselwirkung zerfallen, da ihre Masse kleiner ist als die Summe der Massen von Λ und Pion bzw. Proton/Neutron und Kaon. Das neutrale Σ kann elektromagnetisch zerfallen:

$$\Sigma^0 \rightarrow \Lambda^0 \gamma$$

Da es keine leichteren geladenen Baryon mit Strangeness gibt, können die Σ^\pm -Baryonen nicht in einer analogen Weise zerfallen. Sie können also nur über die schwache Wechselwirkung zerfallen:

$$\begin{aligned} \Sigma^- &\rightarrow n\pi^- \\ \Sigma^+ &\rightarrow p\pi^0, n\pi^+ \end{aligned}$$

Aufgrund des schwachen Zerfalls ist ihre Lebensdauer größer als die des Σ^0 -Baryons.

Aufgabe 4: Teilchenreaktionen

- a) $K^0 \rightarrow \pi^0\pi^0$: schwache Wechselwirkung
- b) $\pi^0 \rightarrow \gamma$: nicht möglich wegen Verletzung von Energie- und Impulserhaltung
- c) $Z^0 \rightarrow \mu^+e^-$: nicht möglich wegen Leptonfamilienzahlverletzung
- d) $p\bar{p} \rightarrow \Lambda^0 K^+ \pi^- \bar{n}$: starke Wechselwirkung
- e) $\Lambda^0 + \pi^+ \rightarrow K^+ \pi^0$: nicht möglich wegen Baryonenzahlverletzung
- f) $\Lambda^0 \rightarrow p\pi^- \pi^0 \pi^0$: nicht möglich wegen Verletzung von Energieerhaltung
- g) $\pi^+ \pi^- \rightarrow J/\psi p \bar{n}$: nicht möglich wegen Verletzung der Ladungserhaltung
- h) $\tau^- \nu_\mu \rightarrow \nu_\tau \mu^-$: schwache Wechselwirkung
- i) $\mu^+ \mu^- \rightarrow J/\psi$: elektromagnetische Wechselwirkung
- j) $J/\psi \rightarrow \nu_e \bar{\nu}_e$: schwache Wechselwirkung

Aufgabe 5: Tief inelastische ep -Streuung

Die Bjorkensche Skalenvariable x gibt, für die Näherung großer Protonimpulse, den Anteil des (gestreuten) Partons am Gesamtimpuls des Protons an. Es werden zwei Strukturfunktionen benötigt, um die Verteilung der Ladung und des magnetischen Moments im Proton zu beschreiben. Die Unabhängigkeit von Q^2 deutet auf punktförmige Partonen hin (innerhalb der erreichten Auflösung).

Aufgabe 6: Relativistische Kinematik

$$\begin{aligned} s &= \left[\begin{pmatrix} \sqrt{p_1^2 + m^2} \\ \vec{p}_1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \sqrt{p_2^2 + m^2} \\ \vec{p}_2 \end{pmatrix} \right]^2 \\ &= \left(\sqrt{p_1^2 + m^2} + \sqrt{p_2^2 + m^2} \right)^2 - (\vec{p}_1 + \vec{p}_2)^2 \\ &= p_1^2 + m^2 + p_2^2 + m^2 + 2\sqrt{(p_1^2 + m^2)(p_2^2 + m^2)} - p_1^2 - p_2^2 - 2p_1p_2 \cos \alpha \\ &= 2 \left(m^2 + \sqrt{(p_1^2 + m^2)(p_2^2 + m^2)} - p_1p_2 \cos \alpha \right) \\ \Rightarrow \sqrt{s} &= \sqrt{2 \left(m^2 + \sqrt{(p_1^2 + m^2)(p_2^2 + m^2)} - p_1p_2 \cos \alpha \right)} \end{aligned}$$

Die Schwerpunktsenergie wird maximal, wenn gilt:

$$\sqrt{s} \rightarrow \max \quad \Rightarrow \quad s \rightarrow \max \quad \Rightarrow \quad p_1p_2 \cos \alpha \rightarrow \min \quad \Rightarrow \quad \alpha = 180^\circ$$

Im hoch-relativistischen Fall ($p \gg m$) können die Ruhemassen vernachlässigt werden:

$$\sqrt{s} = \sqrt{2 \left(\sqrt{p_1^2 p_2^2} + p_1p_2 \right)} = 2\sqrt{p_1p_2}$$

Aufgabe 7: Luminosität und Wirkungsquerschnitt

Die Reaktionsrate ist gegeben durch das Produkt aus Luminosität und Wirkungsquerschnitt:

$$\dot{N} = \mathcal{L} \cdot \sigma$$

Die Luminosität ist proportional zur Anzahl der Teilchen in den Strahlen:

$$\mathcal{L} \propto N_1 \cdot N_2$$

Ausserdem ist die Luminosität proportional zur Kollisionsrate ν und anti-proportional zur effektiven Fläche A , mit der die beiden Strahlen aufeinandertreffen:

$$\mathcal{L} = \frac{\nu \cdot N_1 \cdot N_2}{A}$$

Zwei Kugeln wechselwirken, wenn ihr Abstand kleiner als $R_1 + R_2$ ist. Dies entspricht einer Fläche und damit einem Wirkungsquerschnitt von

$$\sigma = \pi(R_1 + R_2)^2.$$

Aufgabe 8: Detektoren

Folgende Anordnung von Detektorkomponenten findet man normalerweise bei Kollisionsexperimenten:

Komponente	Teilchenart	Eigenschaft
Halbleiter-Detektor	geladene Teilchen (e, μ, π, K, p)	Ort (Vertex), Impuls
Driftkammer	geladene Teilchen (e, μ, π, K, p)	Ort, Impuls, Energieverlust \rightarrow Teilchenart
Flugzeit-Detektor	geladene Teilchen (e, μ, π, K, p)	Geschwindigkeit \rightarrow Teilchenart
Elektromagnetisches Kalorimeter	Elektronen, Photonen	Energie, Ort (\rightarrow Teilchenart)
Magnetspule	-	-
Hadronisches Kalorimeter	Hadronen	Energie, Ort (\rightarrow Teilchenart)
Myon-Detektor	Myonen	Ort, Teilchenart

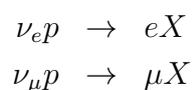
Das elektromagnetisches Kalorimeter kann sich auch außerhalb der Magnetspule befinden.

Aufgabe 9: Schalenmodell und Kern-Deformationen

Da Nukleonen die Zustände im Kern bevorzugt gepaart besetzen, addieren sich deren Spins bei einer geraden Anzahl von Protonen und Neutronen gerade zu Null. Weil zwischen Nukleonen im Mittel eine anziehende Kraft wirkt, besetzen sie bevorzugt benachbarte Orbitale. Dadurch kommt es zu einer räumlichen Asymmetrie. Eine solche Deformation lässt sich anhand des Rotationsspektrums oder über ein Aufspalten der Dipol-Riesenresonanz nachweisen.

Aufgabe 10: Neutrinos

Das Super-Kamiokande-Experiments besteht aus einem riesigen Wassertank mit Photomultipliern am Rand. Damit wird das Cherekovlicht von Elektronen und Myonen nachgewiesen, die durch Reaktionen des Wassers mit (atmosphärischen) Neutrinos entstehen:



Anhand der Cherekov-Lichtkegel können Elektronen und Myonen unterschieden werden und somit die relative Rate beider Reaktionen gemessen werden. Da der gemessene Wert nicht mit dem erwarteten Verhältnis übereinstimmt, müssen sich Neutrinos in eine andere Art von Neutrinos umgewandelt haben. Man konnte also Neutrino-Oszillation nachweisen. (Man hat auch Materieeffekte nachgewiesen über die Abhängigkeit der Raten von der Tageszeit.)