Myonen Lebensdauer

22. Februar 2017

Inhaltsverzeichnis

1 Das Standardmodell der Teilchenphysik **2**

2 Entstehung der Myonen **3**

3 Der Myonenzerfall **3**

4 Versuchsaufbau **5**

5 Messung der Zerfallszeit **7**

6 Aufgaben **7**

Literaturverzeichnis **9**

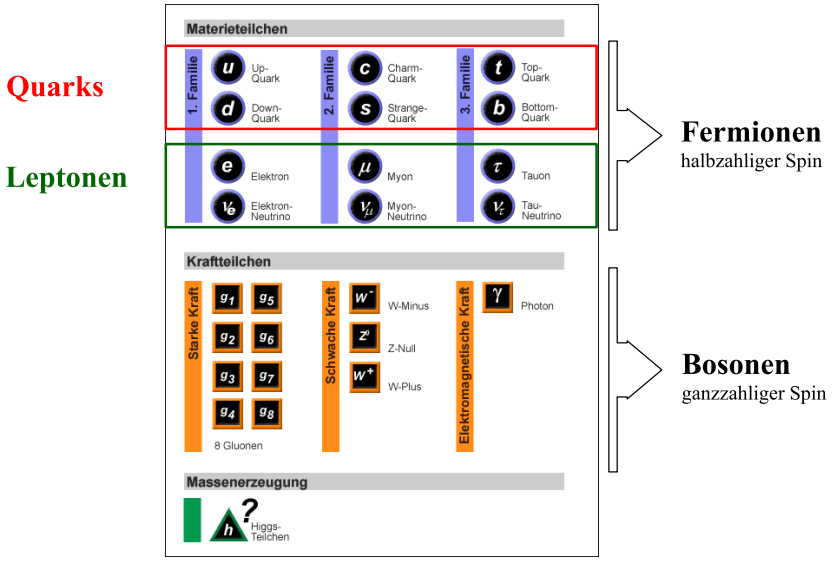

Abbildung 1: Die Teilchen und Feldquanten im Standardmodell.

1 Das Standardmodell der Teilchenphysik

Das Standardmodell beschreibt die Elementarteilchen und deren Wechselwirkungen. Die starke, schwache und elektromagnetische Wechselwirkung können mit dem Standardmodell erklärt werden. Die Gravitation kann im Standardmodell jedoch nicht beschrieben werden, weshalb die Theoretiker nach neuen Modellen (z.B. Superstringtheorie) suchen. Das Standardmodell vermag alle bisherigen teilchenphysikalischen Beobachtungen erklären.

Das Standardmodell besagt, dass die Materie aus Quarks und Leptonen aufgebaut ist. Die Wechselwirkung zwischen den Teilchen wird durch den Austausch von Feldquanten (Bosonen) verursacht. Abbildung 1 zeigt alle Teilchen des Standardmodelles, zu jedem Materieteilchen existiert zudem das entsprechende Antimaterieteilchen.

Das Proton zum Beispiel besteht aus zwei up- und einem down Quark, während das Neutron aus einem up- und zwei down Quarks zusammengesetzt ist. Teilchen aus drei Quarks heissen Baroynen, solche aus einem Quark und einem Antiquark nennt man Mesonen.

Das Myon ist ein Elementarteilchen wie das Elektron. Es ist etwa 206 mal schwerer als das Elektron und wird auch als 'die schwere Schwester des Elektrons' bezeichnet.

2 Entstehung der Myonen

Beim Versuch 'Myonen Lebensdauer' wird die Zerfallszeit der kosmischen Myonen gemessen. Die Myonen entstehen beim Zerfall von Pionen (π^+ und π^-) und Kaonen (K^+).

$$\begin{aligned} \pi^+ &\rightarrow \mu^+ + \nu_\mu \\ \pi^- &\rightarrow \mu^- + \overline{\nu}_\mu \\ K^+ &\rightarrow \mu^+ + \nu_\mu \end{aligned}$$

Die Pionen und Kaonen ihrerseits entstehen aus den Zusammenstössen der primären kosmischen Strahlung (hochenergetische Protonen, α-Teilchen) mit den Luftmolekülen der oberen Atmosphäre.

$$\begin{aligned} p + p &\rightarrow p + n + \pi^+ \\ p + n &\rightarrow p + p + \pi^- \\ p + p &\rightarrow p + n + K^+ \end{aligned}$$

Auf Meereshöhe beträgt die Rate der hochenergetischen kosmischen Myonen etwa $1\frac{Myon}{cm^2 min}$. Abbildung 2 zeigt die Flussintensität der kosmischen Strahlung mit einer Energie grösser $1GeV$ und die Energieverteilung der Myonen.

3 Der Myonenzerfall

Myonen zerfallen unter Austauch eines W-Bosons (schwache Wechselwirkung) mit einer mittleren Lebensdauer von $2.197\mu s$ [2] (http://pdg.lbl.gov/2006/tables/contents_tables.html) in:

$$\begin{aligned} \mu^+ &\rightarrow e^+ + \nu_e + \overline{\nu}_\mu \\ \mu^- &\rightarrow e^- + \overline{\nu}_e + \nu_\mu \end{aligned}$$

Abbildung 3 zeigt den Feynmangraphen des Myonenzerfalls.

Positive Myonen zerfallen ausschliesslich nach obigem Schema. Negative Myonen können auch von einem Atom eingefangen werden und auf Bohrschen Bahnen kreisen. Wegen ihrer grösseren Masse entsteht eine Kaskade von Elektronenübergänge, bis das Myon auf der innersten Schale ist. Dort kann es vom Kern eingefangen werden.

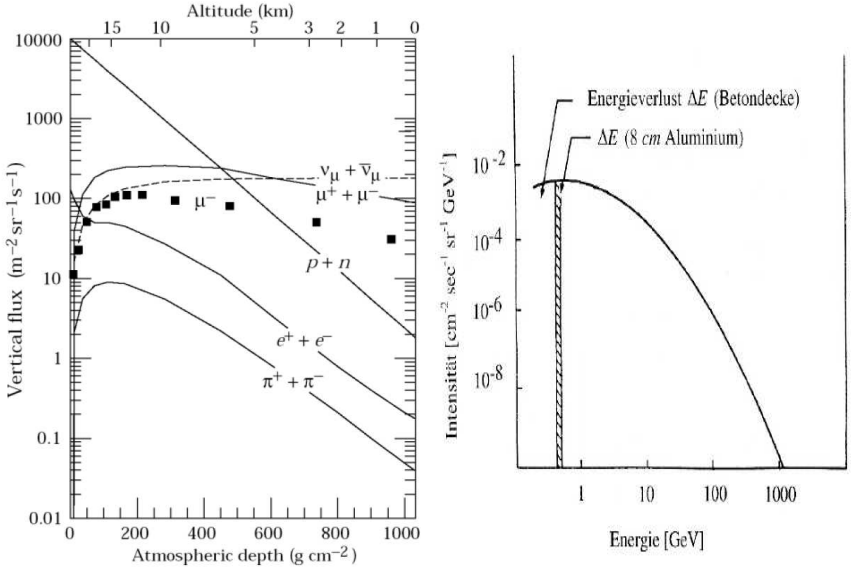

Abbildung 2: Intensität der kosmischen Strahlung mit Energie grösser $1GeV$ [1] und Energieverteilung der Myonen auf der Erdoberfläche.

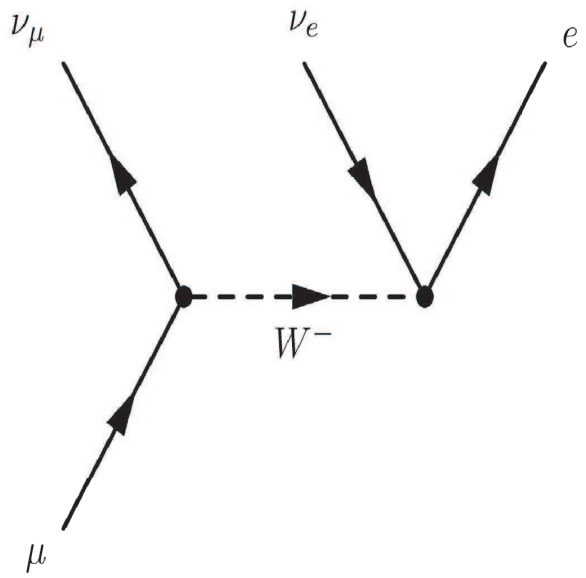

Abbildung 3: Feynman Graph des Myonenzerfalles.

$$\mu^- + p \rightarrow n + \nu_\mu$$

Durch diesen Prozess wird die Lebensdauer des negativen Myon verringert. Die Lebensdauer hängt von der Kernmasse des Targetmaterials ab.

4 Versuchsaufbau

Vorsicht beim Umgang mit der Hochspannung der Detektoren. Die Spannungen sind tödlich ! Fassen Sie die Detektoren nicht an, wenn die Hochspannung angelegt ist.

Die Myonen werden in einer Anordnung von drei übereinander angeordneten Szintillatoren mit Photomultipliern detektiert. Zwischen den ersten beiden Szintillatoren ist eine Bleischicht angebracht, um die Myonen zu bremsen. Zwischen dem zweiten und dritten Szintillator befindet sich das Target.

Ein Myonzerfall im Target wird registriert, wenn die ersten beiden Detektoren ansprechen, der dritte jedoch nicht. Das Zerfallselektron oder Positron wird dann im zweiten oder

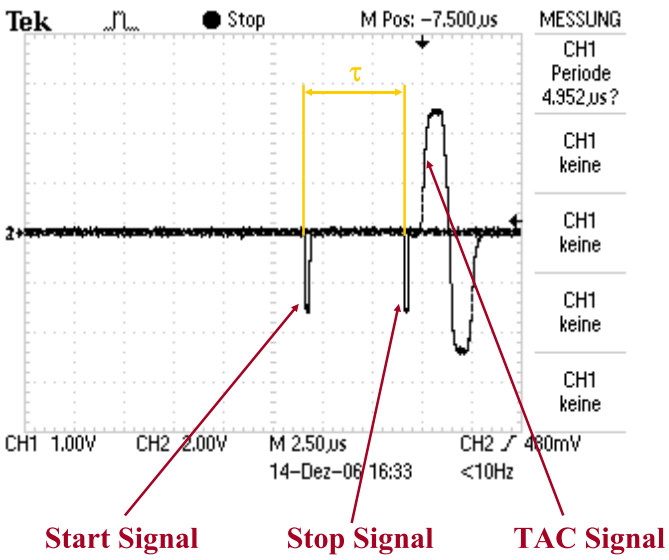

Abbildung 4: Start-, Stop- und TAC-Signal eines Myonenzerfalls.

dritten Detektor gemessen. Der erste Detektor darf nicht ansprechen, da das Elektron oder Positron nicht durch das Blei fliegen kann.

Der constant fraction Diskriminator erzeugt ein logisches Signal, sobald das Eingangssignal eine gewisse Grösse überschreitet. Da das Eingangssignal proportional zur Energie des einfallenden Teilchens ist, können wir die niederenergetischen Teilchen herausfiltern und den Untergrund der Messung verringern.

Mit den logischen Signalen werden anschliessend das Start- und Stopsignal für den Time to Pulse Hight Converter TAC erzeugt. Der TAC generiert ein bipolares Signal, welches proportional zur Zeitdifferenz zwischen Start- und Stopsignal ist. Das TAC-Signal wird als Trigger für das Oszilloskop gebraucht, mit welchem die Zeitdifferenz zwischen Start- und Stopsignal gemessen wird. Das Oszilloskop wird vom Messcomputer ausgelesen. Abbildung 4 zeigt die Signale auf dem Oszilloskop.

5 Messung der Zerfallszeit

Die Aufgabe besteht darin, die mittlere Lebensdauer der Myonen zu messen. Um eine vernüftige Statistik zu erhalten, soll pro Messung mindestens eine Woche gemessen werden. Die Rate beträgt etwa ein Event pro Minute.

Ein Myon zerfällt nach dem Zerfallsgesetz (vgl. Radioaktivität). Ein Zerfall kann nicht vorausgesagt werden, wir kennen nur die Wahrscheinlichkeit, dass ein Myon zerfallen wird. Sie wird mit der Zerfallskonstanten λ angegeben. Von n Myonen werden im Zeitintervall dt

$$dn = -\lambda n dt$$

Myonen Zerfallen. Als Lösung der Differnzialgleichung erhalten wir:

$$n = n_0 \exp(-\lambda t)$$

Das Inverse der Zerfallskonstanten $\tau = 1/\lambda$ ist die mittlere Lebenssdauer und soll in diesem Experiment bestimmt werden.

6 Aufgaben

- Wie kann ein Myon überhaupt auf die Erdeoberfläche gelangen, wenn seine mittlere Lebensdauer nur $2.2\mu s$ ist ? Lichtgeschwindigkeit mal Lebensdauer ergeben bloss etwa 660m.

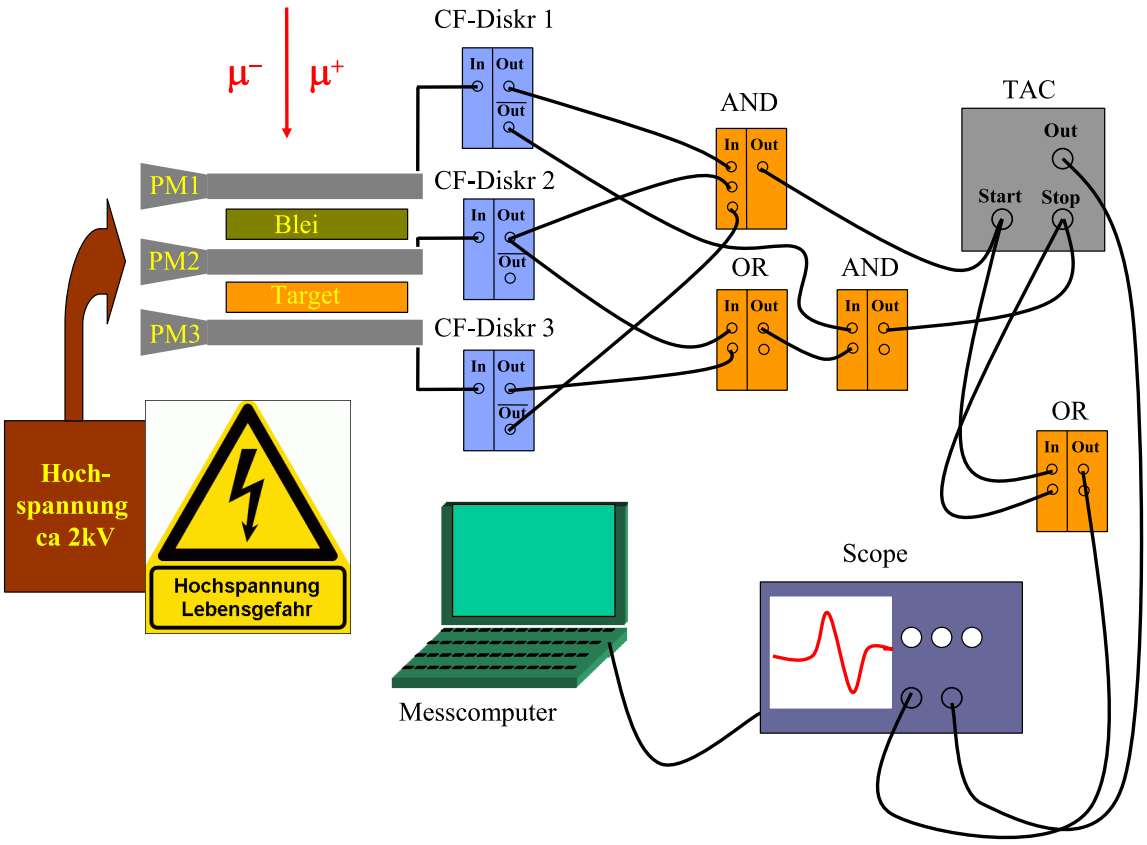

Abbildung 5: Schematische Darstellung des Experimentes.

- Nehmen Sie mit dem Multichannelanalyser Spektren von allen drei Detektoren auf. Stellen Sie die Detektorenspannung so ein, dass die Spektren etwa gleich sind. Sie könne Spektren der kosmischen Strahlung oder der ^{90}Sr-Quelle aufnehmen.
- Stellen Sie die Diskrimatoren richtig ein. Messen Sie dazu die Zählrate der Koinzidenz des oberen und mittleren Detektors. Was für einen Wert erwarten Sie?
- Machen Sie sich im Umgang mit dem Oszilloskop vertraut.
- Führen Sie eine Zeiteichung des Systems durch. Nehmen Sie das Startsignal und verzögern es um eine bestimmte Zeit. Testen Sie mit diesen Signalen die Genauigkeit des Messaufbaues.
- Messen Sie die mittleren Lebensdauer der Myonen. Nehmen Sie das Target, auf welches Sie Lust haben. Wenn genügen Zeit vorhanden ist, kann mit verschiedenen Targets gemessen werden.

Literatur

[1] C. Caso. *Europ. Phys. Journal C3*, 1, 1998.

[2] W.-M. Yao. Review of particle physics. *Journal of Physics G*, 33:1+, 2006.

Weiter Informationen unter: http://pages.unibas.ch/physikdidaktik/DPK_TEILCHEN_01/MyonImWeb/lifetime/MyonLifetimeWeb.html
http://de.wikipedia.org/wiki/Myon