
Čerenkov-Effekt / Kosmische Strahlung

Fortgeschrittenenpraktikum Physik I / II

Zusammenfassung

Ein grosser Teil der sekundären kosmischen Strahlung, die durch die Atmosphäre bis zur Erdoberfläche gelangt, besteht aus Myonen. Diese lassen sich unter Ausnutzung des Čerenkov-Effekts gut nachweisen und quantifizieren. In diesem Versuch sollen winkelabhängige Messungen der einfallenden Myonen mithilfe zweier Detektoren in Koinzidenz durchgeführt werden.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	2
1.1	Kosmische Strahlung	2
1.2	Čerenkov-Effekt	2
2	Experiment	3
2.1	Versuchsaufbau	3
2.1.1	Detektoren	3
2.1.2	Messelektronik	4
2.1.3	Oszilloskop	4
3	Vorschläge und Hinweise	5

1 Einführung

1.1 Kosmische Strahlung

Die Verbindung von Astro- und Teilchenphysik als Betrachtung der grössten und kleinsten natürlichen Phänomene scheint auf den ersten Blick wenig intuitiv. Doch gibt es viele Themengebiete, in denen sich diese Zweige der Physik überschneiden. Eines davon ist die kosmische Strahlung, die auch ohne Teilchenbeschleuniger Hochenergiephysikexperimente bei kleinen Intensitäten erlaubt.

Die Primärstrahlung, die aus dem Weltraum zu uns kommt, setzt sich zu 85% aus Protonen, 14% aus α -Teilchen und 1% aus schwereren Kernen zusammen. Durch Wechselwirkungen mit der Erdatmosphäre entstehen daraus andere Teilchen, die wir als Sekundärstrahlung bezeichnen. Ein Grossteil dieser Strahlung besteht aus hochenergetischen Myonen, die bis zur Erdoberfläche vordringen und leicht gemessen werden können. [1]

1.2 Čerenkov-Effekt

Wenn sich ein Objekt schneller als der Schall durch ein Medium bewegt, breitet sich eine Stosswelle kegelförmig dahinter aus, die wir als „Überschallknall“ wahrnehmen. Ein ähnlicher Effekt lässt sich bei elektromagnetischen Wellen beobachten. In einem lichtdurchlässigen Medium mit Brechungsindex n wird die Lichtgeschwindigkeit c_m gegenüber der Vakuumlichtgeschwindigkeit c reduziert:

$$c_m = \frac{c}{n}.$$

Sobald sich nun ein geladenes Teilchen mit einer Geschwindigkeit $v > c_m$ durch ein Medium bewegt, breitet sich dahinter eine elektromagnetische Welle kegelförmig aus. [2] Für die Erklärung dieses Phänomens erhielt Pavel Čerenkov 1958 den Nobelpreis. [3]

Mithilfe des Čerenkov-Effekts lässt sich die Richtung bestimmen, aus der die kosmischen Myonen die Erdoberfläche erreichen, indem der Öffnungswinkel des Lichtmessgerätes ausgenutzt wird. Zur Verbesserung der Winkelauflösung kann ein unabhängiger Detektor in Koinzidenz betrachtet werden.

2 Experiment

2.1 Versuchsaufbau

Folgende Komponenten gehören zum Experiment:

- 1 Čerenkov-Detektor
- 1 Szintillator
- 2 Photomultiplier (PMT)
- 1 NIM Crate
- 1 QUAD-Discriminator
- 1 QUAD-Coincidence
- 2 HV-Quellen
- 1 Zählautomatik
- 1 Digitales Oszilloskop mit USB-Anschluss
- Diverse LEMO-Kabel, 50 Ω -Widerstände und Anschlüsse

Vergewissert euch am besten zuerst, dass alles vorhanden ist, was ihr zur Durchführung des Experiments benötigt, und macht euch mit der Funktionsweise der Messapparatur vertraut.

2.1.1 Detektoren

Der Čerenkov-Detektor besteht aus einem polierten Plexiglasstab ($\emptyset = 5$ cm, Länge = 15 cm, $n = 1,49$) in einem lichtdichten Aluminiumzylinder. Er ist mit einem PMT optisch gekoppelt. [4] Am zweiten PMT ist ein Szintillator über einen gebogenen Lichtleiter so befestigt, dass er die schmale Seite des Čerenkov-Detektors überdacht. Das Licht, das durch die einfallenden Myonen im Plexiglasstab und im Szintillator erzeugt wird, gelangt in die Photomultiplier und wird dort in ein proportional zur deponierten Energie verstärktes elektrisches Signal umgewandelt. Die Betriebsspannung des Szintillator-PMTs beträgt -1850 V, die des Čerenkov-PMTs -2050 V. (**Achtung:** Photomultiplier sind empfindlich. Im eingeschalteten Zustand darf kein Tageslicht an die Geräte gelangen. Entfernt also nicht das Isolierband und öffnet nicht den Zylinder.)

Beide Detektoren sind so montiert, dass sie sich um eine horizontale Achse drehen lassen. Der Messkonus am Szintillator-PMT gibt den Winkel in Grad an. Die Null-Grad-Position ist mit einem blauen Pfeil markiert. Beim Einstellen der Position ist darauf zu achten, dass beide Detektoren parallel zueinander verschoben werden, und der Szintillator weiterhin senkrecht über der schmalen Seite des Čerenkov-Detektors steht. (**Achtung:** Nicht am Lichtleiter drehen!)

Ziel ist die Messung der Teilchen, welche bei einem gegebenen Winkel durch die schmale Fläche des Plexiglaskristalls eindringen. Dazu wird die sogenannte Koinzidenz gemessen, also das zeitliche Zusammenfallen eines Signals vom Szintillator und vom Čerenkov-Detektor. Hierbei ist auch die Kabellänge entscheidend. An allen LEMO-Kabeln ist in Nanosekunden angeschrieben, welche Zeit ein elektrisches Signal benötigt, um sie zu durchwandern. Fliegt ein Teilchen im eingestellten Winkel durch den Aufbau, soll es zuerst vom Szintillator, dann vom Čerenkovdetektor registriert werden. Entsprechend muss für das Szintillator-Signal ein längeres Kabel (sprich: „Delay“) angelegt werden, damit beide Signale gleichzeitig bei der Messelektronik ankommen.

Zusammen mit der Tatsache, dass sich der PMT an der Unterseite des Čerenkov-Detektors befindet, filtert man so Teilchen heraus, die nicht im gewünschten Winkel einfallen.

Ob die Koinzidenz richtig funktioniert, lässt sich mit dem Oszilloskop betrachten.

2.1.2 Messelektronik

Die Koinzidenz ist eine Komponente, welche es erlaubt, logische Operationen auf standardisierte Inputsignale anzuwenden. Dabei handelt es sich um den sogenannten NIM-Standard (Nuclear Instrumentation Module). Nun kann man von einem Myon nicht erwarten, dass es beim Durchwandern des Messapparates brav standardisierte Lichtpulse aussendet. Deswegen werden die PMT-Signale zunächst an einen Diskriminator geschickt. Dieser wandelt ankommende Signale, die ein gewisses Trigger-Level überschreiten, in rechteckige NIM-Standard-Signale der gleichen Frequenz um. In der Koinzidenz werden diese dann über ein logisches „AND“ verglichen. Nur wenn zwei Signale zeitgleich die Koinzidenz erreichen, gibt diese auch wieder ein Signal aus. Dieses wird schliesslich in der Zählautomatik registriert. So könnt ihr die Rate der einfallenden Myonen pro Zeiteinheit und Winkel bestimmen.

2.1.3 Oszilloskop

Das digitale Oszilloskop dient zur Messung und Darstellung periodisch auftretender elektrischer Signale. Es stehen zwei Kanäle zur Aufzeichnung von Signalen zur Verfügung, sowie ein Kanal für einen externen Trigger.

3 Vorschläge und Hinweise

Wichtig für die Ausarbeitung der Winkelabhängigkeit der Intensität einfallender kosmischer Myonen ist, dass ihr mindestens acht Messungen jeweils über 24 Stunden ausführt. Da euch im Fortgeschrittenenpraktikum ein gewisser Freiraum gelassen wird, wie ihr an euer Experiment herangeht, sollen die folgenden Punkte als Anregungen dienen.

- Der Theorieteil der Anleitung ist bewusst nicht sehr ausführlich gehalten. Gängige Nachschlagewerke der Experimentalphysik (Gerthsen, Tipler, Wikipedia, ...) sollten euch dabei helfen, euer Verständnis zu vertiefen.
- Kosmische Myonen entstehen in etwa 10 km Höhe in der oberen Erdatmosphäre. Sie haben eine mittlere Lebensdauer von $2,2 \times 10^{-6}$ s, nach der sie in Elektronen und Neutrinos zerfallen. Welches scheinbare Problem ergibt sich dadurch für eine Messung an der Erdoberfläche? Wie lässt sich erklären, dass ihr trotzdem Myonen messen könnt?
- Bei der Wahl der Messwinkel braucht ihr nicht unbedingt konstante Winkelabstände zu verwenden. Schlagt ruhig nach, was für eine Winkelabhängigkeit ihr empirisch zu messen erwartet. Welche Winkelabstände wären geeignet, diese gut zu zeigen?
- Informiert euch auch über die Funktionsweise der einzelnen Detektorelemente. Wie funktioniert ein Photomultiplier? Ein Szintillator?
- Ihr habt ein Oszilloskop zur Verfügung, welches auch Bilder auf einem USB-Stick abspeichern kann. Nutzt es, um euch die Signale zu verschiedenen Stadien der Verarbeitung anzusehen. Welchen Sinn haben die 50 Ω -terminierten Signalkabelanschlüsse? Beachtet dabei, dass das Oszilloskop eine Bandbreite von 100 MHz hat. Was bedeutet dies für die Messung des rohen PMT-Signals?

Praktikumsverantwortlicher: Aurèle Kamber, Raum 2.08,
E-Mail: aurele.kamber@unibas.ch

Literatur

- [1] D. Meschede, *Gerthsen Physik*, Springer-Verlag, 2015
DOI 10.1007/978-3-662-45977-5
- [2] P. Tipler, G. Mosca, *Physik für Wissenschaftler und Ingenieure*, Springer-Verlag, 2007, ISBN 978-3-8274-1164-8
- [3] Nobelprize.org, *The Nobel Prize in Physics 1958*, [online]
www.nobelprize.org
- [4] B. Henrich, *Kosmische Strahlung*, Versuchsanleitung, November 1999