

Facharbeit



Thema: Kosmische Strahlung

Name: Tim Schaffus, Benny Förster, Jacob Tzscheetzsch

Fachbereich: Physik, Astronomie

Betreuender Fachlehrer: Herr Bohn

Bearbeitungszeit: vom 08.09.2008 bis zum 03.04.2009

Note:

Inhaltsverzeichnis

1.	Vorwort	[4]
1.1	Warum dieses Thema	[4]
1.2	Erwartung	[4]
2.	Geschichte	[6]
3.	Elementarteilchen	[7]
3.1	Protonen	[10]
3.2	Pion	[10]
3.3	Kaon	[10]
3.4	Elektronen	[11]
3.5	Neutrinos	[11]
3.6	Myonen	[11]
4.	Kosmische Strahlung/Luftschauer	[12]
5.	Auswirkungen auf Menschen	[14]
6.	Relativitätstheorie (Lebensdauer Myonen)	[16]
7.	Detektor	[19]
7.1	KamioKannen	[19]
7.2	Physik des Detektors	[20]
7.3	Cherenkov-Licht	[20]
7.4	Photomultiplier	[20]
7.5	Szintillatoren	[21]
8.	Experiment	[23]
8.1	Aufbau	[23]
8.2	Messwerte	[24]
8.3	Horizontal	[24]
8.4	Auswertung	[26]
8.5	Schlussfolgerungen	[27]
9.	Projekte	[28]
9.1	Auger, IceTop/IceCube	[28]
10.	Quellen	[31]
11.	Selbstständigkeitserklärung	[33]

1. Vorwort

Wir sind seit langer Zeit Mitglieder des Astronomie Clubs „Concilium nocturnum“. Betreuender Lehrer dieses Clubs ist Herr Bohn. Er war es auch, der uns zu Beginn dieses Schuljahres eine Email von Adelheid Sommer vorlegte. Adelheid Sommer ist Verantwortliche für das Schülerprojekt am Deutschen Elektronen Synchrotron (DESY) in Zeuthen. In ihrer



Mail hat sie das Projekt kurz vorgestellt und uns eine Auswahl an Themen geschickt. Wir alle drei waren sehr begeistert von der Idee und dieses Projekt als fünfte Prüfungskomponente vorzustellen, fanden wir sehr gut. Wir nahmen uns

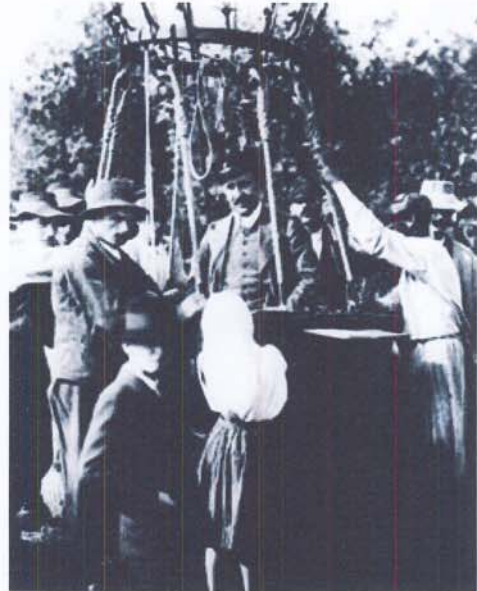
[Bild 2]

dieses Projektes an und wählten das Thema kosmische Strahlung. Welches nun auch Thema unserer Facharbeit sein soll. Ein weiterer Verantwortlicher dieses Projektes ist Dr. Michael Walter. Er bot uns an, für eine Woche am Deutschen Elektronen Synchrotron mit anderen Schülern zum Thema kosmische Strahlung zu experimentieren. Wir drei sagten zu und waren vom 22.09.2008 bis zum 24.08.2008 bei DESY und hörten uns Vorträge über kosmische Strahlung an. Außerdem hatten wir die Möglichkeit einen Einblick in das Deutsche Elektronen Synchrotron zu bekommen und kosmische Strahlung nachzuweisen. Ergebnisse dieser dazu durchgeführten Experimente werden wir am Ende der Facharbeit zeigen. Es war eine schöne und interessante Woche. Wir konnten viel aus den Vorträgen und Experimenten für unsere Facharbeit nutzen. Nach dem Besuch bei DESY entstand die Gliederung und wir einigten uns darüber, wer welches Thema bearbeiten möchte. Danach begannen wir zu jedem Thema etwas raus zu arbeiten und werteten die Experimente von DESY aus. Zu Beginn diesen Jahres schlug Herr Bohn vor, unsere Facharbeit bei der diesjährigen Gausswoche

(GAWO) vorzustellen. Wir nahmen diesen Vorschlag dankend an und meldeten diesen Vortrag für die GAWO an. Denn wir waren der Meinung, dass es eine gute Vorbereitung für die Verteidigung dieser Facharbeit sei. Wir kürzten also die Facharbeit und machten daraus eine Präsentation für die Gausswoche 2009. Zum Ende hin wurde die Zeit ganz schön knapp, aber wir haben es trotzdem geschafft diese Facharbeit und die Präsentation rechtzeitig fertig zu stellen. Wir hatten nicht sehr viele Erwartung an die Facharbeit, weil es ja für uns ein neues und unbekanntes Thema war. Wir haben lediglich gehofft, dass das Arbeiten an dieser Facharbeit interessant und aufschlussreich wird. Doch diese Erwartungen wurden übertroffen. Beim Herausarbeiten stellten wir fest, wie umfangreich dieses Thema ist. In dieser Facharbeit sind viele Themen enthalten, die wir aus dem Physik- oder Astronomieunterricht bereits kennen. Trotz dieser Vorkenntnisse, haben wir noch jede Menge Neues dazu gelernt. Unser Wissen aus dem Astronomie- und Physikunterricht und die neu dazu gewonnenen Erkenntnisse werden wir nun auf den folgenden Seiten präsentieren.

2. Geschichte

Das erste Mal wurde Kosmische Strahlung 1912 nachgewiesen. Zu dieser Zeit war die Radioaktivität bereits bekannt. In diesem Jahr stieg Franz Hess in einem Heißluftballon auf 5000 m Höhe. In seinem Ballon führte er mehrere Elektrometer zur Messung der Intensität von ionisierter Strahlung mit und entdeckte, dass die Intensität mit zunehmender Höhe steigt. Aus seinen Erkenntnissen schlussfolgerte er, dass die gemessene Strahlung aus dem Universum kommen müsse und nannte sie kosmische Strahlung. Für seine Untersuchung bekam er auch 1936 den Nobelpreis für Physik.

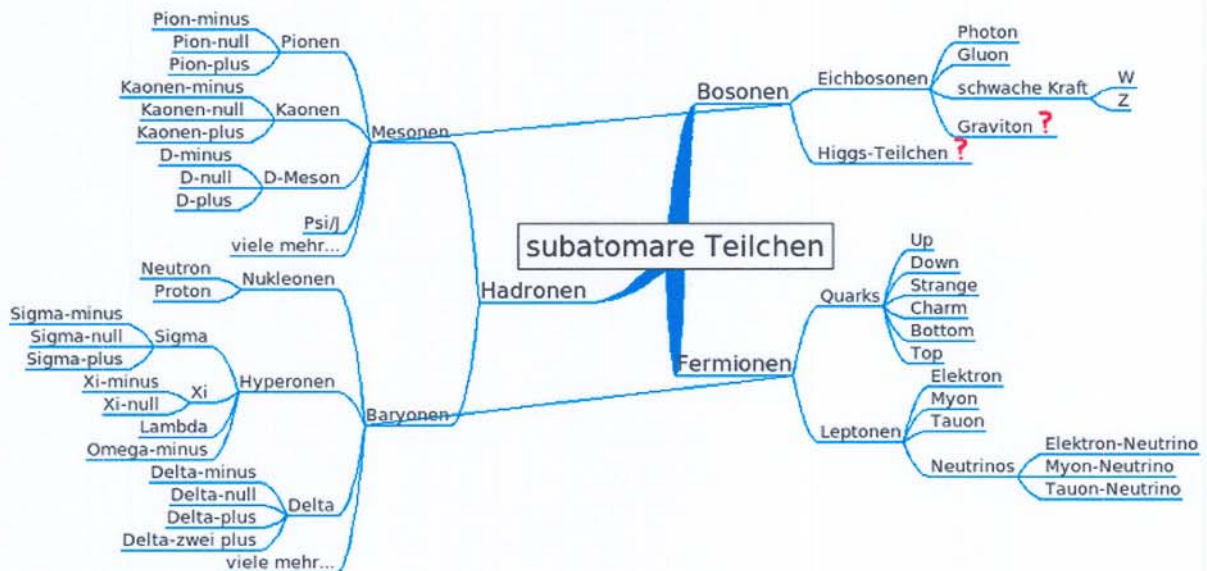


[Bild 3]

Nach Franz Hess versuchten sich auch andere Physiker an der kosmischen Strahlung. So untersuchte 1927 Dimitry Skobelzyn die kosmische Strahlung mit einer Nebelkammer. Es gelang ihm Sekundärteilchen, die von kosmischer Strahlung in unserer Erdatmosphäre erzeugt werden zu fotografieren. Denn beim Eintritt der hochenergetischen Teilchen, wie die der kosmischen Strahlung in die Erdatmosphäre kommt es zu Kernstößen mit den Teilchen in der Luft. Als Resultat entsteht eine Vielzahl von Sekundärteilchen. Positronen, Neutronen, Pionen und Myonen sind Beispiele für Sekundärteilchen, die bei solchen Kernstößen entstehen. Um solche Sekundärteilchen genauer zu untersuchen hat man 1950 angefangen die Teilchen an künstlichen Beschleunigern in großen Apparaturen zu erzeugen. Das ist neben der kosmischen Strahlung die einzige Möglichkeit solche Elementarteilchen zu untersuchen. Bereits 1949 hatte Enrico Fermi die Idee einen Beschleunigungsmechanismus zu nutzen, der eine statistische Beschleunigung an magnetisiertem Plasma beziehungsweise an ebenen Schockfronten beinhaltet. Solche ebenen Schockfronten entstehen zum Beispiel bei Supernovaexplosionen. Heute versteht man unter kosmische Strahlung Teilchen, die aus dem Weltall kommen und die Erde treffen.

3. Elementarteilchen

Von der Definition her sind Elementarteilchen die kleinsten bekannten Bausteine der Materie. Materie ist dabei alles was aus elementaren Fermionen aufgebaut ist. In der Literatur gibt es unterschiedliche Auffassungen darüber, welche Teilchen nun zu den Elementarteilchen gezählt werden und welche nicht. Das kann daher kommen, dass man sich nicht genau sicher ist, welche Teilchen aus noch kleineren Bestandteilen bestehen und welche nicht. In der Übersicht sind alle subatomaren Teilchen zu sehen. Subatomare Teilchen sind Teilchen, die kleiner sind als Atome.



[Bild 4]

Der Begriff Elementarteilchen änderte sich im Laufe der Geschichte. Das hängt damit zusammen, dass immer neue Teilchen entdeckt wurden, sich die Teilchenmodelle änderten und man erkannte, dass manche Teilchen nicht elementar sind sondern aus noch kleineren Teilchen bestehen. Die Entdeckung neuer Teilchen wurde nur möglich, durch die Entdeckung neuer Methoden zur Erforschung der Teilchen.

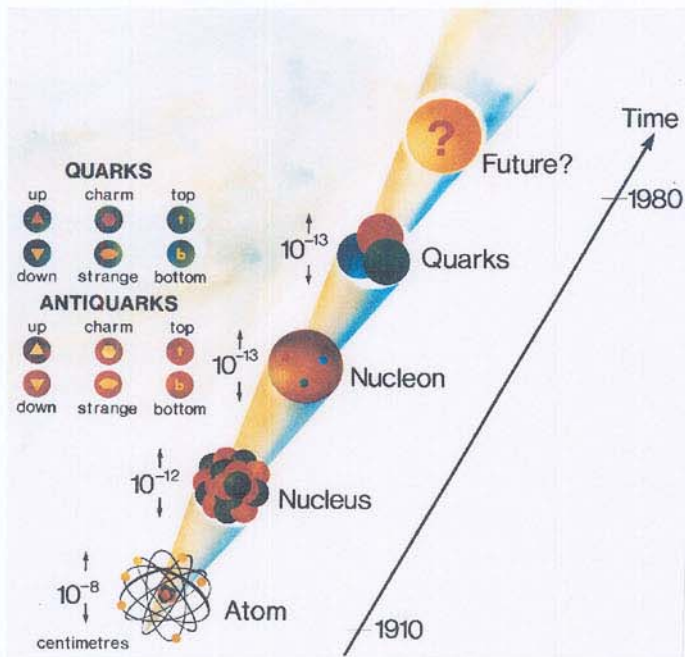
Zu Beginn des 18. Jahrhunderts waren die Atome die elementaren Teilchen. Denn Demokrit entwickelte seine Atomtheorie und fühlte sich durch die Entwicklung der Chemie bestätigt.



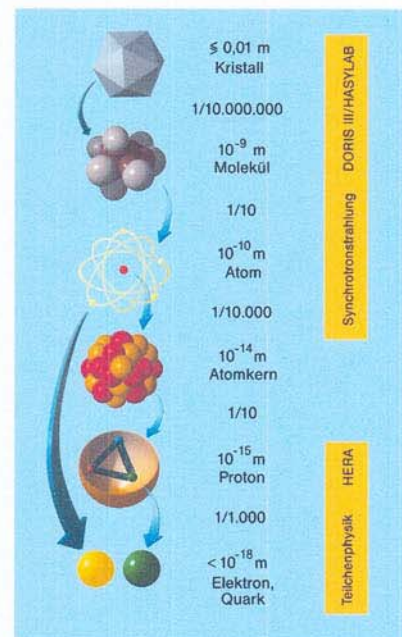
[Bild 5]

Demokrit von Abdera war ein griechischer Philosoph und lebte 460 v. Chr. bis 371 v. Chr.. Er wurde in Abdera geboren und starb in Thrakien. Im 20. Jahrhundert entdeckte man, dass Atome aus einem Atomkern und einer Atomhülle bestehen und sich dort Teilchen befinden. In dem Atomkern findet man Nukleonen, zu denen Protonen und Neutronen zählen. Die Atomhülle besteht aus Elektronen. Nach dieser Entdeckung forschte man sehr viel mit kosmischer Strahlung und fand dort weitere Teilchen. Man fand Beispiel Myon, Pion, Kaon und Antiteilchen (Positron). Man erkannte dass es von Nukleonen und anderen Hadronen bestimmte

Substrukturen gibt. Substrukturen des Nukleons sind zum Beispiel Quarks.



[Bild 6]



[Bild 7]

Elementarteilchen besitzen bestimmte Eigenschaften. Sie besitzen Wechselwirkungen und Ladungen, eine Masse (Ruheenergie), einen Spin und eine Lebensdauer. Bei den Wechselwirkungen unterscheidet man zwischen vier Physikalischen Grundkräften. Es gibt die Starke Wechselwirkung, die Schwache Wechselwirkung, die Elektromagnetische Wechselwirkung und die Gravitation. Alle Elementarteilchen unterliegen der Gravitation. Doch auf Grund der sehr geringen Masse der Elementarteilchen kann man sie außer acht lassen. Die anderen drei physikalischen Grundkräfte fast man zur fundamentalen

Wechselwirkung zusammen. Mit Hilfe der Starken Wechselwirkung, die auch Kernkraft oder auch starke Kernkraft genannt wird, erklärt man die Bindungen zwischen Quarks und Hadronen. Die Schwache Wechselwirkung wirkt im Gegensatz zur Gravitation und Elektromagnetischen Wechselwirkung, nur auf sehr kleinen Abständen. Sie sorgt für andere Kräfte auch für den Impuls und Energieaustausch. Hauptsächlich aber wirkt sie beim Zerfallen und Umwandeln von Teilchen, wie zum Beispiel beim Betazerfall von radioaktiven Atomkernen. Die Elektrische Wechselwirkung ist ein Bestandteil der Quantentheorie. Zur Quantentheorie gehört auch die Quantenchromdynamik. Die Quantenchromdynamik ist eine andere Bezeichnung für die bereits beschriebene Starke Wechselwirkung.

Die Masse (Ruheenergie) eines Elementarteilchens baut auf den Erkenntnissen der einsteinschen Relativitätstheorie auf. Denn aufgrund der Beziehung $E=mc^2$ entspricht die Masse eines Teilchens einem Energiewert. Dieser Energiewert wird Ruheenergie genannt. Diese Ruheenergie wird in der Teilchenphysik in Elektronenvolt (eV) angegeben. Die typische Größenordnung für Massen von Elementarteilchen sind Gigaelektronenvolt ($\text{GeV}/c^2 = 10^9 \text{ eV}/c^2$).

Der Spin ist ein Eigendrehimpuls den viele Elementarteilchen besitzen. Dieser Eigendrehimpuls kann nur ein ganz- oder halbzahliges Vielfache des Wirkungsquantums (\hbar) sein. Wenn ein Elementarteilchen ein ganzzahliges Vielfaches ($0\hbar, 1\hbar, 2\hbar, \dots$) besitzt, nennt man es Bosomen. Besitzt aber ein Teilchen ein halbzahliges Vielfaches ($1/2 \hbar, 3/2 \hbar, \dots$), wird es Fermion genannt.

Viele Teilchen, die in der Natur vorkommen sind nicht stabil. Diese zerfallen nach einer gewissen Zeit, in Teilchen mit geringerer Masse. Diese Zeit, die ein Teilchen bis zu seinem Zerfall benötigt wird als Lebensdauer bezeichnet. Die Lebensdauer hängt sehr davon ab, über welche Wechselwirkungen sie zerfallen können. Langlebige Teilchen zerfallen hauptsächlich über schwache Wechselwirkungen. Sie leben ungefähr 10^{-10} bis 10^{-8} Sekunden. Teilchen zerfallen solange, bis sie in einem stabilen Zustand sind.

Elementare Teilchen	Bosonen Spin=0,1,2,...		Photon, Gluon, Graviton, W- und Z-Boson
	Fermionen Spin=1/2,3/2,5/2,...	Leptonen	Elektron, Myon, Tauon und drei Arten von Neutrinos.
		Quarks	Up- und Down-Quark, Strange- und Charm-Quark, Bottom- und Top-Quark
Aus Quarks zusammengesetzte Teilchen	Hadronen	Mesonen Quark und Antiquark bosonisch	Viele Kombinationen möglich. Zum Beispiel Pionen und Kaonen.
		Baryonen 3 Quarks fermionisch	Noch mehr mögliche Kombinationen. Zum Beispiel die Nukleonen: Proton und Neutron.

[Bild 8]

Protonen:

Das Proton ist das am besten erforschte Teilchen. Als Wasserstoffkern ist es gleichzeitig der einfachste Atomkern. Dadurch kann man die Eigenschaften des Protons hervorragend untersuchen. Freie Protonen können erzeugt werden, indem man Wasserstoffatomen durch energetische Strahlung oder große Hitze die Elektronen entzieht. Es besteht aus zwei Up-Quarks und einem Down-Quark beschrieben werden und ist positiv geladen.

Ruheenergie: 938,271 MeV

Pionen:

Pionen sind die leichtesten Mesonen und etwa 260-mal mal so schwer wie ein Elektron. Pionen können als neutrale und als positiv und negativ geladene Teilchen vorkommen. Ein negatives Pi-Meson bildet dabei das Antiteilchen. Das positiven Pi-Mesons und ein positives Pi-Meson besteht aus einem Up-Quark und einem Anti-Down-Quark und das negative aus Anti-Up- und Down-Quark. Das neutrale Pi-Meson ist eine quantenmechanische Mischung aus Up-/Anti-Up-Quarkpaar und Down-/Anti-Down-Quarkpaar.

Ruheenergie: 139,57018 MeV

Kaonen:

Kaonen sind schwerer als Pionen und werden auch K-Mesonen genannt. Es besitzt ein seltsames Zerfallsverhalten und ist das leichteste Teilchen, welches ein Strange-Quark enthält.

Ruheenergie: 493,677 MeV

Elektronen:

Das Elektron ist eines der bekanntesten Elementarteilchen. Es ist Bestandteil der Atomhülle und durch die negative elektrische Ladung verantwortlich für die elektrische Leitfähigkeit von Metallen. Aus der eingehenden Untersuchung von Kathodenstrahlen hat Philip Lenard 1903 sein Dynamidenmodell der Atome hergeleitet. In Form von Kathodenstrahlung wurden Elektronen zum ersten Mal nachgewiesen. Elektronen sind 200-mal leichter als Protonen und damit die leichtesten Baryonen.
Ruheenergie: 0,510 998 MeV

Neutrinos:

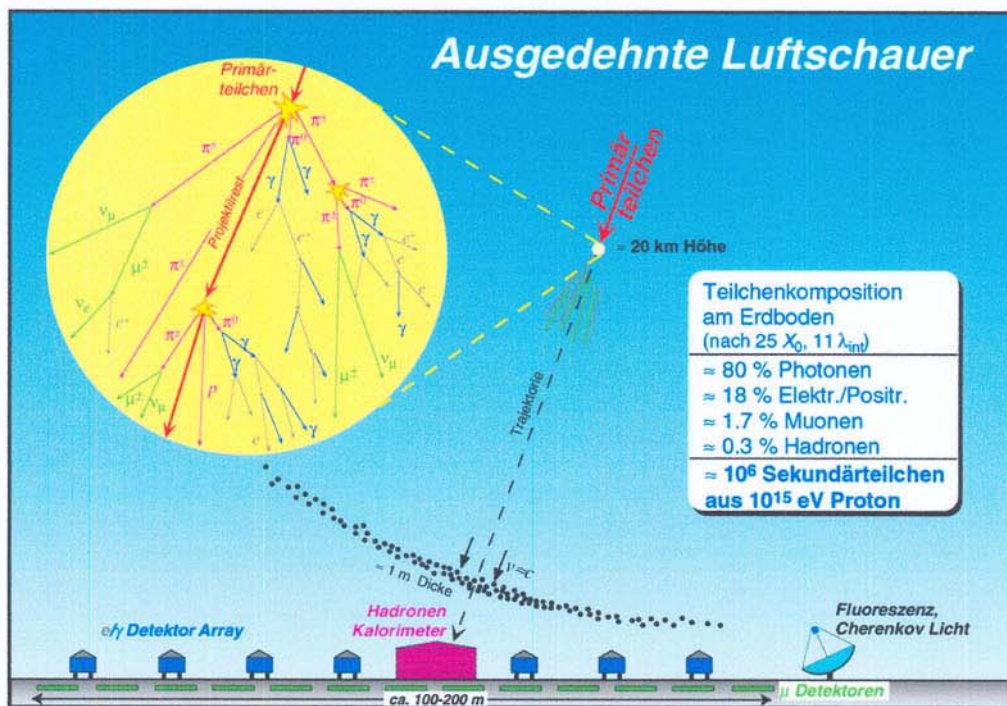
Neutrinos sind sehr leicht und elektrisch neutral. Sie sind extrem schwer zu messen, da sie ungehindert durch jede Art von Materie hindurch gehen. Die Erde wird ständig von unzähligen kosmischen Neutrinos durchquert ohne das Spuren hinterlassen werden. Es gibt drei Arten von Neutrinos. Die Elektronen-Neutrinos, Myonen-Neutrinos und Tauonen-Neutrinos.
Ruheenergie: 2 eV

Myonen:

Myonen gehören zu den Leptonen und sind ungefähr 200-mal schwerer als Elektronen. In allen anderen Eigenschaften wie elektrische Ladung, Magnetfeld und Spin sind sie den Elektronen dagegen gleich. Myonen sind sehr kurzlebige Elementarteilchen. Sie zerfallen meistens in ein Elektron, ein Myonen-Neutrino und ein Anti-Elektronen-Neutrino. Sie kommen auf der Erde in natürlicher Form vor, weil sie in den höheren Schichten der Atmosphäre durch radioaktive Strahlung erzeugt werden. Diese radioaktive Strahlung ist meist kosmische Strahlung.
Ruheenergie: 105,6 MeV

4. Kosmische Strahlung/Luftschauer

Die Myonen, die mit den KamioKannen und dem Cosmic Trigger nachgewiesen werden, entstehen in der Atmosphäre in sogenannten Luftschauern. Hochenergetische kosmische Teilchen treffen auf die Atmosphäre und lösen eine Kaskade von elementaren Reaktionen aus, in denen viele neue Teilchen entstehen. Dies nennt man Luftschauer. Ein ursprüngliches primäres Teilchen trifft auf ein Atom der Luft, dabei kommt es zu Wechselwirkung. Durch diese primäre Wechselwirkung entstehen weitere Teilchen. Diese entstandenen Teilchen werden Sekundärteilchen genannt. Die Sekundärteilchen reagieren wiederum mit den Luftatomen und erzeugen weitere Teilchen. Es bildet sich also eine Kaskade. Die Teilchenkaskade besteht hauptsächlich aus Elektronen, Positronen und Photonen. Solange die Energie der Elektronen und Positronen größer als die kritische Energie (ca. 80 MeV) ist, wächst die Zahl der Teilchen im Luftschauer. Wenn die mittlere Energie der Elektronen und Positronen unter der kritischen Energie liegt, verlieren die Elektronen und Positronen hauptsächlich Energie. Dies passiert durch Ionisation der Atome, wobei keine energetischen Photonen mehr erzeugt werden können. Die Teilchenkaskade wird kleiner und das Schauermaximum ist erreicht. Die Schauerfront, die durch die Teilchen gebildet wird, ist nur wenige Meter dick und die Ausdehnung solch eines Luftschauers kann etwa 100 m betragen.



[Bild 9]

Es gibt unterschiedliche Methoden, mit deren Hilfe solch einen Luftschaer nachgewiesen werden kann. Bei der ersten Methode werden die geladenen Teilchen und Photonen nachgewiesen. Man kann mit Hilfe von verschiedenen Messpunkten die Zeitverzögerung der Teilchen messen und die Anzahl der Teilchen bestimmen. Dadurch kann die ursprüngliche Richtung der Teilchen rekonstruiert und die Ausgangsenergie berechnet werden. Bei der zweiten Methode werden sogenannte Luft-Tscherenkov-Detektoren benutzt. Dabei werden die Eigenschaften der Myonen genutzt. Denn diese Teilchen bewegen sich mit nahezu Lichtgeschwindigkeit fort.

5. Auswirkungen auf Menschen

Die kosmische Strahlung ist in großen Höhen erheblich größer als hier auf der Erde. Deswegen ist auch die Strahlenbelastung in großen Höhen sehr hoch. Die kosmische Strahlung spielt für den Menschen also nur eine Rolle, wenn er diese Höhen erreicht. Bereits 1990 ermittelte die ICRP aus Abschätzungen, dass das Flugpersonal durch die natürliche kosmische Strahlung Dosen ausgesetzt ist, die vergleichbar oder sogar höher sind als die Belastung die von künstlicher Strahlung in Medizin und Technik ausgeht. Aus dem Grund wurden die Empfehlungen über Dosisgrenzwerte der ICRP 2001 in die deutsche Strahlenschutzordnung aufgenommen. Die Strahlenbelastung von Fluggästen kann mit Hilfe des Programms EPCARD bestimmt werden. Dieses Programm wurde an der Universität Siegen und am GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit entwickelt. Mit dessen Hilfe ist es möglich, auf beliebigen Flugrouten und Flugprofilen die Dosis aus allen Komponenten der natürlichen durchdringenden kosmischen Strahlung zu berechnen. Kleinere Fluggesellschaften bieten auch eine einfache Möglichkeit an festzustellen, ob ihre Piloten den in der Strahlenschutzverordnung festgelegten Grenzwert von 1 mSv pro Jahr überhaupt erreichen. Diese Fluggesellschaften bieten die Dosisberechnung übers Internet an.

Strahlenbelastung

Die durchschnittliche jährliche Belastung der Bevölkerung in Deutschland durch alle Strahlungsquellen beträgt **4,2 Millisievert (mSv)**

davon in % durch

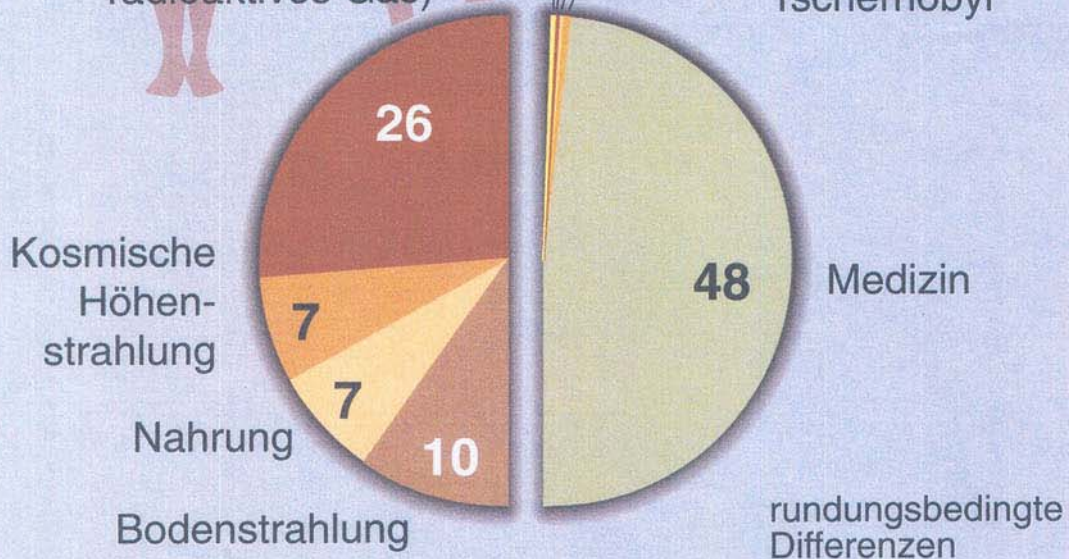


Natürliche Strahlungsquellen

Radon
(natürliches radioaktives Gas)

Künstliche Strahlungsquellen

- 0,2 Kerntechnik
- 0,2 Forschung, Technik, Haushalt
- 0,2 Kernwaffentests
- 0,4 Reaktorunfall Tschernobyl



330 000 Menschen sind durch ihren Beruf einer zusätzlichen Strahlung von durchschnittlich 0,15 mSv ausgesetzt

Quelle: BMU Stand: 2000

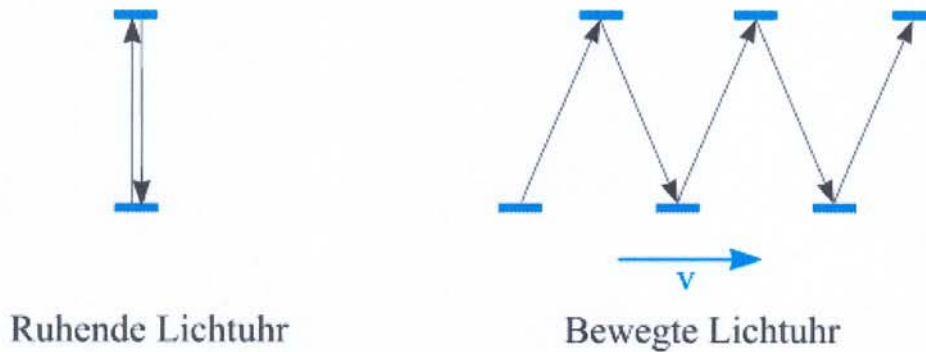
© Globus 8085



[Bild 10]

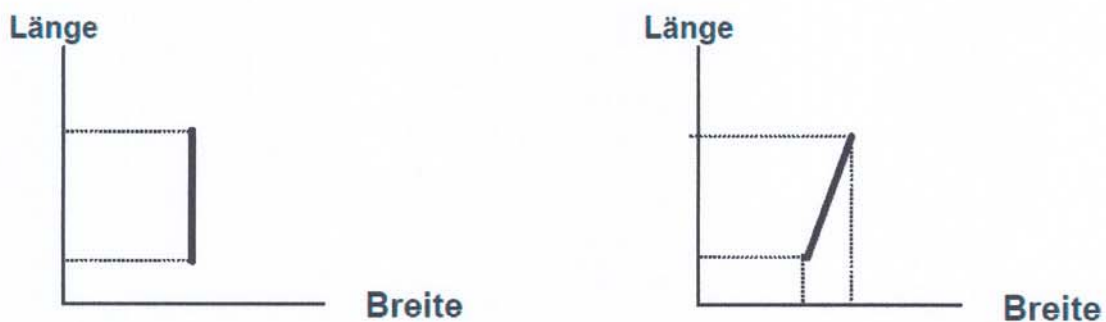
6. Relativitätstheorie (Lebensdauer Myonen)

Die Relativitätstheorie spielt dann eine Rolle, wenn Teilchen sich mit hoher Geschwindigkeit, also mit annähernder Lichtgeschwindigkeit fortbewegen. Denn bei einer solch hohen Geschwindigkeit kommt es zu einer Zeitdilatation



[Bild 11]

und zu einer Längenkontraktion. Längenkontraktion bedeutet, dass ein bewegtes Objekt kürzer war genommen wird als es im Ruhezustand ist.



[Bild 12]

Zeitdilatation bedeutet, dass in einem bewegten System alle physikalischen Prozesse langsamer ablaufen. Wenn man nun die Myonen betrachtet, stellt man fest, dass auch diese Teilchen sich schnell bewegen. Myonen zerfallen nach dem statistischen Zerfallsgesetz.

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

N_0 ...ist die Anzahl der Myonen zum Zeitpunkt $t=0$

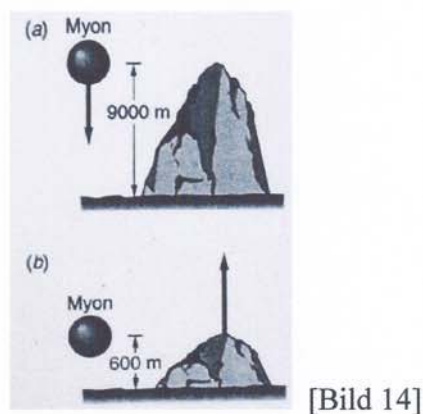
$N(t)$...ist die Anzahl der Teilchen zum Zeitpunkt t

τ ...ist die mittlere Lebensdauer

Die mittlere Lebensdauer beträgt $\tau = 2 \mu\text{s}$. Solch ein Myon bewegt sich mit $v = 0,998 \cdot c$ auf die Erde zu. Wenn man jetzt den Weg mit Hilfe der Gleichung $s = v \cdot t$ berechnet, so bekommt man für s 600m heraus. Das heißt ein Myon hat eine Reichweite von 600m und man könnte es laut dieser Berechnung nicht auf der Erde nachweisen, denn es entsteht in 10000m Höhe. Leider hat man bereits Myonen auf der Erde nachgewiesen. Wie kommt es also, dass ein Myon eine höhere Reichweite hat. Schauen wir uns die Geschwindigkeit eines Myons noch mal an. Man erkennt, dass die Geschwindigkeit annähernd Lichtgeschwindigkeit ist. Aus dem Grund muss man an diese Sache relativistisch heran gehen. Es treten also Zeitdilatation und Längenkontraktion auf. Um die Zeitdilatation heraus zu bekommen, benötigen wir den Lorentzfaktor. Dieser berechnet sich wie folgt:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \quad [\text{Bild 13}]$$

Man bekommt einen Lorentzfaktor von 15 heraus. Das bedeutet für die Zeitdilatation, dass sich die Zeit von $\tau = 2 \mu\text{s}$ auf $\tau = 30 \mu\text{s}$ erhöht. Wenn man jetzt wieder mit der Formel $s = v \cdot t$ den zurückgelegten Weg berechnen will, so bekommt ein Weg von 9000m heraus.



Diese enormen Unterschiede zwischen klassischer und relativistischer Rechnung lassen sich hier gut erkennen. Als nächstes kann man die Anzahl der Teilchen ausrechnen, die auf die Erde treffen. Dazu nehmen wir an, dass wir in einem bestimmten Zeitintervall 10^8 Myonen in einer Höhe von 9000m messen. Durch die Zeitdilatation verlängert sich die Lebensdauer um das 15fache. Setzt man nun diese Werte in die Zerfallsgleichung ein, so erhält man eine Teilchenanzahl $N = 30,6$. Also treffen rund 31 Teilchen auf die Erdoberfläche.

7. Detektor

Es gibt verschiedene Arten von Detektoren. Man benennt sie je nach ihrem Einsatzgebiet. In der Astronomie werden häufig Strahlungsdetektoren genutzt. Das sind Detektoren mit dessen Hilfe man bewegte Moleküle, Atome oder Elementarteilchen nachweisen kann. Je nach dem welches Teilchen nachgewiesen wird, richtet sich auch welches Gerät eingesetzt wird. Es gibt also viel verschiedene Arten von Strahlungsdetektoren. Man unterscheidet zwischen Gasgefüllte Ionisationsdetektoren (zum Beispiel Geiger-Müller-Zählrohr), Halbleiterdetektoren, Szintillationsdetektoren, Spurdetektoren (zum Beispiel Nebelkammer), Cherenkov-Detektoren.

Für unsere Facharbeit sind nur zwei Arten von Strahlungsdetektoren von Bedeutung, denn wir haben selbst mit diesen beiden Detektoren gearbeitet und kosmische Strahlung nachgewiesen. Es handelt sich um die KamioKannen, die zu den Cherenkov-Detektoren gehört und den Szintillatorplatten, welche zu den Szintillationsdetektoren gehören. Auf diese beiden Detektorarten werden wir genauer eingehen, die Funktionsweise und Aufbau genauer erklären. Doch zu nächst müssen wir ein paar Grundlagen klären um die Funktionsweise besser erklären zu können. KamioKannen dienen Messung des Cherenkov-Lichts in Thermoskannen.



[Bild 15]

- 1 Hochspannungsversorgung
- 2 Verstärkerplatine
- 3 Photomultiplier
- 4 Kanne mit Wasser

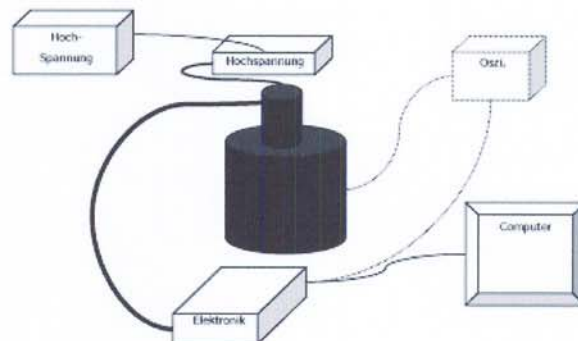
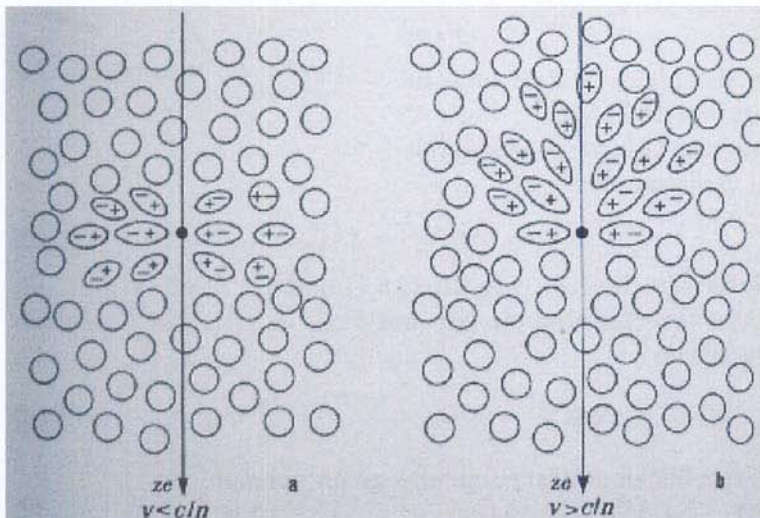


Abbildung 25: Schematischer Versuchsaufbau.

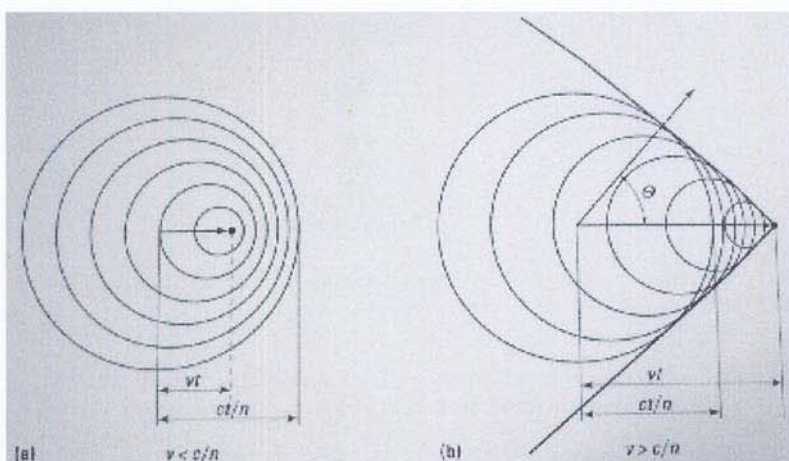
[Bild 16]

Cherenkov-Licht sind Lichtwellen, die durch Polarisation von Wasser entstehen. Die Polarisation des Wassers kann nur dadurch passieren, dass sich das Myon als geladenes Teilchen mit Überlichtgeschwindigkeit fort bewegt. Licht ist in einem Medium immer langsamer als in Vakuum. Deswegen ist es dem Myon überhaupt erst möglich sich mit Überlichtgeschwindigkeit zu bewegen. Das Myon polarisiert dabei benachbarte Atome längs seiner Bahn.



[Bild 17]

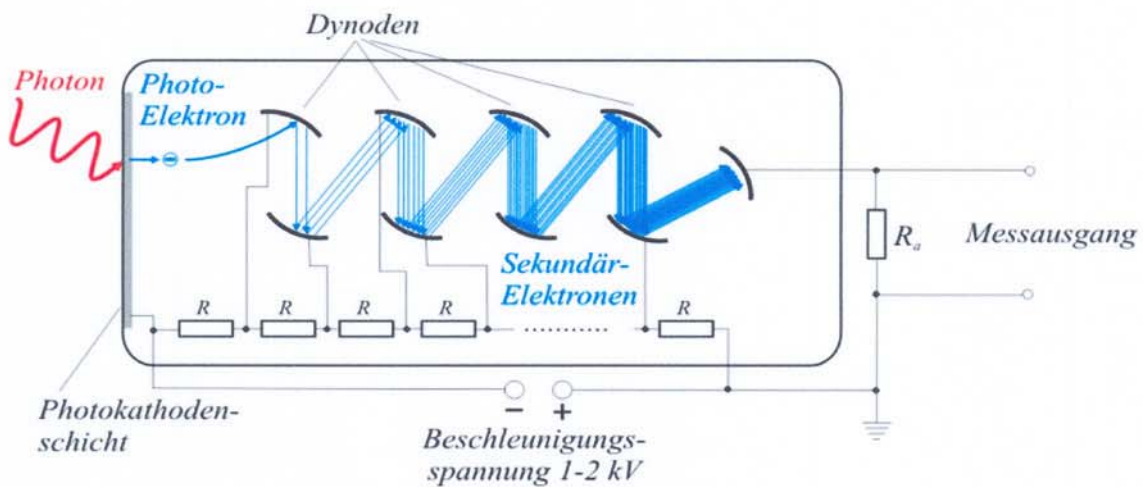
Diese Atome werden dann zu sogenannten Dipolen, welche durch die zeitliche Änderung des Dipolfeldes eine elektromagnetische Schockwelle emittieren. Es entsteht nach dem Huygensschen Prinzip eine Wellenfront.



[Bild 18]

Dieses Cherenkov-Licht wird in Form von Photonen, welche im Wasser der Thermoskanne entstehen, zum Photomultiplier weiter geschickt. Dort angekommen schlagen die Photonen

Elektronen aus der Kathode. Dieses heraus schlagen basiert auf dem Photoeffekt. Das heraus gelöste Elektron trifft auf eine Dynode und bildet Sekundärelektronen. Diese werden dann zur nächsten Dynode geschickt. Jede Dynode beschleunigt die erzeugten Elektronen bis zur nächsten Dynode und fügt durch Sekundäremission ein Vielfaches an weiteren Elektronen hinzu. Die Elektronen werden durch das immer kleiner werdende Potenzial beschleunigt. Das Potenzial wird durch die Widerstände zur Anode hin immer kleiner. Dieser Photomultiplier dient also als Verstärker und Umwandler. Denn er wandelt optische Signale in elektrische Signale um und verstärkt sie durch die Anordnung der Dynoden.



[Bild 19]

Das nun entstandene Signal wird zum Zählwerk oder zum Computer weiter gesendet. Dort kann das Signal dann ausgewertet werden.

Szintillatorplatten dienen zur Messung der Rate der kosmischen Myonen.

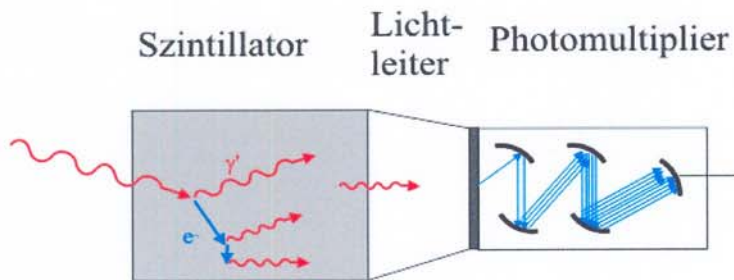


[Bild 20]

- | | |
|-----|--|
| 1 | Szintillatorplatten mit Photomultipliern (PMT) |
| 2 | DAQ-Board |
| 3 | Hochspannungsversorgung |
| 4 | GPS-Empfänger |
| 5 | GPS-Antennenkabel |
| 6/7 | USB-Anschluss |
| 8/9 | Verbindungskabel |

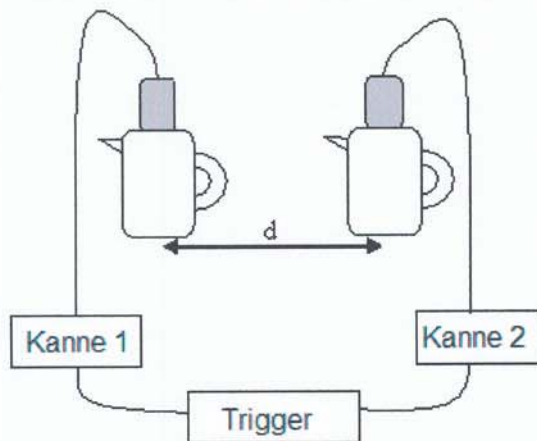
Diese Versuchsapparatur basiert auf dem sogenannten Szintillator. Wenn kosmische Strahlung auf die Szintillatorplatten trifft, kommt es zu Wechselwirkungen mit Szintillatormaterial. Dabei werden Atome angeregt. Genauer gesagt werden die Elektronen in der Atomhülle angeregt. Sie springen in einen energetisch höheren Zustand. Beim Zurückspringen auf die ursprünglich Schale, werden Photonen ausgesendet, welche wieder

zum Photomultiplier gesendet werden. Dort wird wieder aus dem optischen Signal ein elektrisches Signal gemacht.

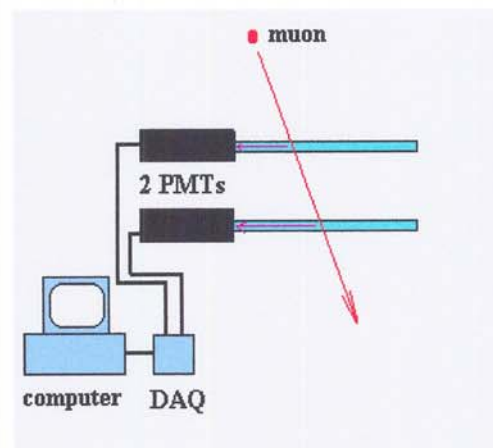


[Bild 21]

Um effizienter und genauer zu messen, werden meistens zwei KamioKannen beziehungsweise zwei Szintillatorplatten benutzt. Diese werden dann mit einem Trigger verbunden, der dann die Signale zum Computer weiterleitet. Auch wir haben in unseren Experimenten zwei KamioKannen benutzt um möglichst viele Störfaktoren ausschließen zu können. Der Einfluss solcher Störfaktoren ist enorm hoch. Die Messwerte konnten zum Beispiel durch Handys oder das an- oder ausschalten von Licht beeinflusst werden. Durch die Kombination aus zwei KamioKannen und einem Trigger konnten wir diese Einflüsse außer acht lassen. Denn jetzt bekamen wir nur dann ein Signal von Triggerbox, wenn ein Myon durch beide Kannen hindurch gegangen ist.



[Bild 22]

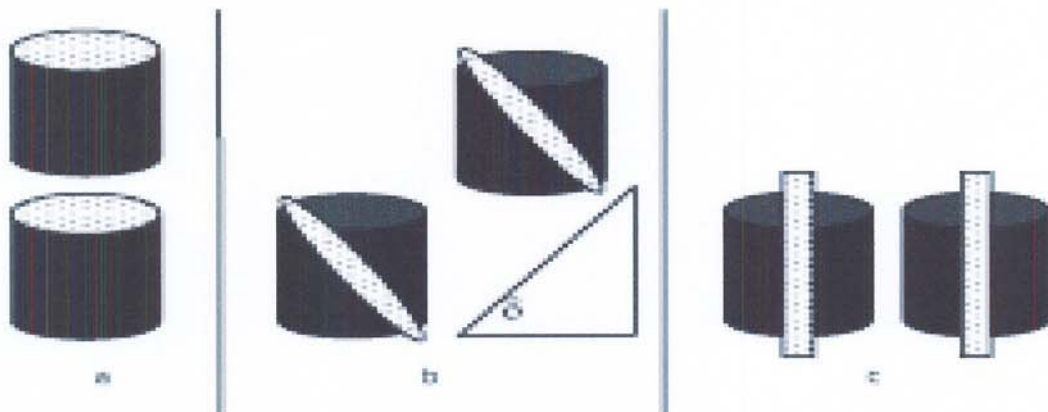


[Bild 23]

Dasselbe gilt auch für den Gebrauch von Szintillatorplatten.

8. Experiment

In unserem Experiment, beschäftigten wir uns mit der Ratenmessung von Myonen. Wenn wir von Rate sprechen meinen wir die Anzahl Myonen pro Zeitintervall. Dazu benötigten wir zwei KamioKannen. Diese KamioKannen haben wir unterschiedlich zu einander positioniert. Am Ende hatten wir drei verschiedene Versuchsaufbauten. Wir stellten die Kannen horizontal, vertikal oder diagonal mit einem Winkel von 45° auf. Da die Messdauer mindestens sechs bis sieben Stunden betrug haben wir das Experiment über Nacht laufen lassen. Somit konnten wir auch ausschließen, dass jemand das Experiment durch Störfaktoren beeinflusst.



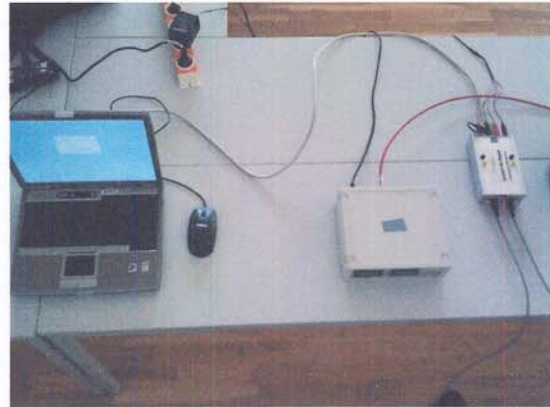
[Bild 24]

Aufbau

Wir haben die Versuchsanordnung wie folgt aufgebaut. Dann haben wir das Zählprogramm auf dem Computer gestartet. Sobald der Trigger ein Ereignis erkannt hatte, wurde ein Signal zum Computer geschickt. Diese Ereignisse wurden dann auf dem Computer gezählt. Unsere Experimente dauerten ungefähr 18,25 Stunden.



[Bild 25]



[Bild 26]



[Bild 27]



[Bild 28]

Messwerte

Durch die lange Dauer der Messung, haben wir eine große Anzahl an Messwerten heraus bekommen. Diese Messwerte haben wir in Excel bearbeitet. Das heißt, dass wir die Messwerte filtern mussten, denn trotz dieses Aufbaus kam es häufig zu gleich auftretenden Ereignissen. Diese Ereignisse sind sehr unwahrscheinlich und würden das Ergebnis beeinflussen. Also haben wir solche Ereignisse heraus genommen. Am Beispiel der horizontalen Messung werden wir zeigen, wie die Messwerte und das dazu gehörige Diagramm aussehen.

Horizontal

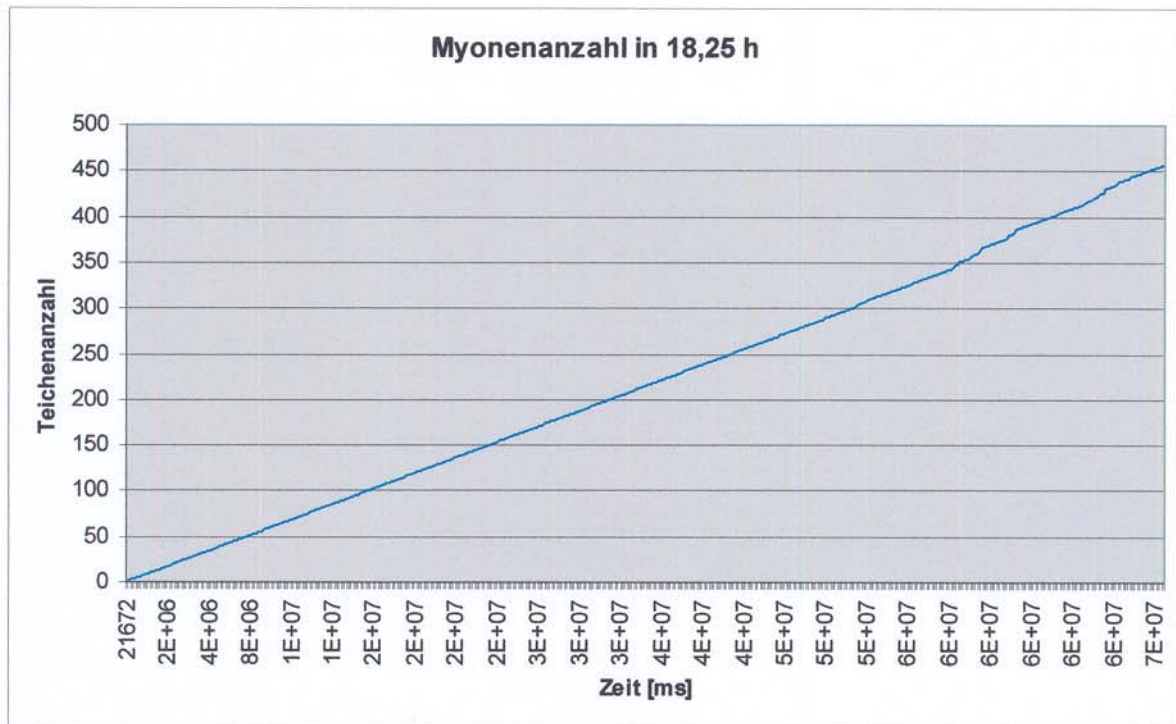
Das ist nur ein Ausschnitt unserer Messwerte.

Abstände zum 1. Ereignis

	0	
21672	1	
86375	2	64703
123735	3	37360
153266	4	29531
466000	5	312734
589000	6	123000
590688	7	1688
590704	8	16
591860	9	1156
993750	10	401890
1009829	11	16079
1010219	12	390
1010235	13	16
1011594	14	1359
1156922	15	145328
1427000	16	270078
1583641	17	156641
1825047	18	241406
1839204	19	14157
2103797	20	264593
2108360	21	4563
2168110	22	59750
2299125	23	131015
2399844	24	100719
2411063	25	11219
2570047	26	158984
2821125	27	251078
2829516	28	8391
3107079	29	277563
3182250	30	75171
3227000	31	44750
3254172	32	27172
3959625	33	705453
4166125	34	206500
4253688	35	87563
4280469	36	26781
4676625	37	396156
4781235	38	104610
5540625	39	759390
5910766	40	370141
6010735	41	99969
6074829	42	64094
6459860	43	385031
6685110	44	225250
6699422	45	14312
7021469	46	322047
7037141	47	15672
7610125	48	572984
8076719	49	466594
8325938	50	249219

8352579	51	26641
8479282	52	126703
8483438	53	4156
8756313	54	272875
8986313	55	230000
9024422	56	38109
9087594	57	63172
9137657	58	50063
9143594	59	5937
9418469	60	274875
9496375	61	77906
9740360	62	243985
9989266	63	248906
10120641	64	131375
10181391	65	60750
10448344	66	266953
10495719	67	47375
10567813	68	72094
10740844	69	173031
10753563	70	12719
10818579	71	65016
10944875	72	126296
11000204	73	55329
11291016	74	290812
12172829	75	881813
12187657	76	14828
12308282	77	120625
12358157	78	49875
12758844	79	400687
12819500	80	60656
12972563	81	153063
13185688	82	213125
13190360	83	4672
13275313	84	84953
13507172	85	231859
13597266	86	90094
13707438	87	110172
14131594	88	424156
14155813	89	24219
14636000	90	480187
14659672	91	23672
14659688	92	16
14824563	93	164875
14864641	94	40078
15312688	95	448047
15514594	96	201906
15856391	97	341797
15870422	98	14031
16031360	99	160938
16352391	100	321031

Auswertung



Schlussfolgerung

Der Versuchsaufbau war dazu geeignet, um die Rate der Myonen aufzunehmen. Aus dem Diagramm kann man erkennen, dass die Anzahl der Myonen in 18,25 Stunden konstant ansteigt. Es ist also anzunehmen, dass diese Rate auch konstant ist. Wenn man die Rate berechnet, in dem man die Anzahl der Ereignisse (1827-178) durch die gemessene Zeit (1095 Minuten) teilt. So erhält man eine Rate von rund 1,5 pro Minute. Das heißt ungefähr 1,5 Myonen durchqueren die Erde in einer Minute.

9. Projekte

Es gibt einige Projekte auf der Welt, die sich mit kosmischer Strahlung beschäftigen. Zwei dieser Projekte haben wir uns ausgesucht. Diese ausgewählten Projekte wurden uns auch in Zeuthen von DESY vorgestellt. Diese beiden Projekte sind das Pierre Auger-Projekt und das IceCube/IceTop-Projekt

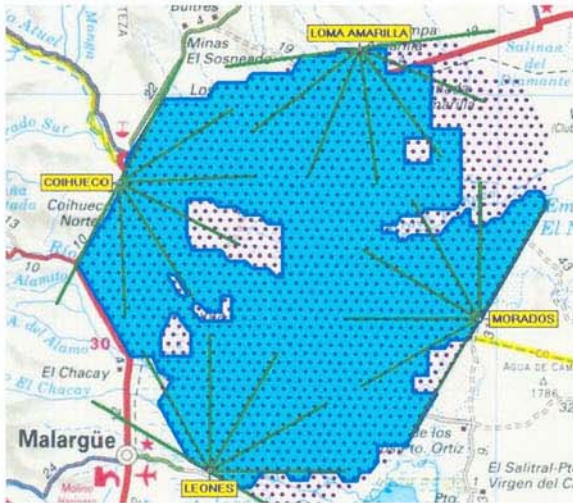
Auger:

Auger ist die weltweit größte Detektoranlage zur Messung Kosmischer Strahlen. Bei dieser Anlage kommt erstmals eine Hybrid-Technik zur Messung von höchstenergetischen Luftschauern zum Einsatz. Das bedeutet, dass Luftschauer sowohl mit einem Oberflächen-Detektorfeld als auch mit optischen Teleskopen nachgewiesen werden. Diese simultane Messart reduziert sehr stark die Unsicherheiten der Messung. Das Pierre Auger-Observatorium besitzt je ein Detektorfeld auf der Nord- und Südhalbkugel. Es wird auch das erste Observatorium für Kosmische Strahlung sein, mit dem der ganze Himmel beobachtet werden kann. Im Süden befindet sich das Auger-Observatorium in der Provinz Mendoza, Argentinien. Dieses besteht aus einem Feld von Wasser-Cherenkov-Detektoren, die im Abstand von 1,5 km zu einander aufgestellt sind. Energetische Teilchen werden mit Hilfe eines Photomultipliers nachgewiesen. In den vier am Rand liegenden Gebäuden beobachten jeweils sechs Fluoreszenzteleskope in klaren dunklen Nächten (10 - 15 % der Messzeit) den Himmel über dem Detektorfeld. Gleichzeitig wird mit den Tanks die Teilchenverteilung von Luftschauern auf der Erdoberfläche gemessen. Anhand der Leuchtspur kann dann die Entwicklung der Teilchenzahl entlang der Schauerbahn durch die Atmosphäre rekonstruiert werden. Die Ergebnisse der Fluoreszenzteleskope dienen zum Beispiel zur Energiekalibration des Experiments.

Nach der Fertigstellung des Süd-Observatoriums soll mit dem Aufbau des nördlichen Detektorfeldes begonnen werden. Dieses Nordexperiment dient der Auger-Kollaboration und bei Lamar, Colorado, in den USA entstehen.



[Bild 29]



[Bild 30]

IceTop/IceCube:

Dieses Projekt ist ein mehrere Quadratkilometer großes Feld aus Teilchendetektoren. Im Moment befindet sich das IceTop am Südpol, genau über dem IceCube Neutrino-Teleskop. IceTop wird dazu verwendet, um ausgedehnte kosmische Strahlung nachzuweisen. Die Teilchendetektoren bilden ein Detektornetz mit je 125 Meter Abstand zwischen 80 Stationen. Diese Dimension von Detektornetzen erlaubt es Strahlungen im Bereich von 1014 eV und 1017 eV. Gemeinsam mit IceCube ist IceTop in der Lage Daten zu nehmen, mit deren Hilfe man durch Vergleich mit Simulationen, auf die Art und Energie für einzelne Primärteilchen Rückschlüsse ziehen kann. Es gibt noch weitere Vorteile, die durch die Verbindung von IceTop und IceCube entstehen. Hauptziele von IceTop sind die Untersuchung des

Energiespektrums der kosmischen Strahlung, die Kalibrierung (Ausrichtung) von IceCube anhand koinzidenter (zusammenfallender) Myon-Bündel und die Reduktion des Myonen-Untergrundes in IceCube durch Bereitstellung eines Vetos auf Luftschauer.



[Bild 31]



[Bild 32]

10. Quellen

- [Bild 1] http://www.wetteronline.de/wotexte/redaktion/fotostrecke/2008/04/23_a5_09.jpg
- [Bild 2] <http://www.astroteilchenphysik.de/topics/cr/cr.htm>
- [Bild 3] Tim Schaffus (am 22.09.2008; DESY Zeuthen)
- [Bild 4] http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Overview_of_subatomic_particles_german.png&filetimestamp=20070518212653
- [Bild 5] http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web_ph08_g8/grundwissen/02teilchenmodell/demokrit01.jpg
- [Bild 6] http://web.rollins.edu/~jsiry/atoms_to_quarks.gif
- [Bild 7] http://www.mpg.de/bilderBerichteDokumente/multimedial/bilderWissenschaft/2007/07/kiesling0701/Web_Zoom.jpeg
- [Bild 8] <http://www.quantenwelt.de/elementar/uberblick.html>
- [Bild 9] <http://www.astroteilchenphysik.de/grafik/topics/cr/luftschauer.jpg>
- [Bild 10] BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit)
- [Bild 11] <http://homepage.univie.ac.at/franz.embacher/SRT/Zeitdilatation.html>
- [Bild 12] <http://freenet-homepage.de/selbstdenken/Laenge.PDF>
- [Bild 13] <http://www.physik.uni-mainz.de/lehramt/kanne/material/staatsexamensarbeit.pdf>
- [Bild 14] http://physik-begreifen-zeuthen.desy.de/angebote/kosmische_strahlung/index_ger.html
- [Bild 15] http://physik-begreifen-zeuthen.desy.de/angebote/kosmische_strahlung/index_ger.html
- [Bild 16] http://physik-begreifen-zeuthen.desy.de/angebote/kosmische_strahlung/index_ger.html
- [Bild 17] http://physik-begreifen-zeuthen.desy.de/angebote/kosmische_strahlung/index_ger.html
- [Bild 18] http://physik-begreifen-zeuthen.desy.de/angebote/kosmische_strahlung/index_ger.html
- [Bild 19] http://physik-begreifen-zeuthen.desy.de/angebote/kosmische_strahlung/index_ger.html
- [Bild 20] Heike Prokoph (am 06.06.2006; DESY Zeuthen)
- [Bild 21] <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/thumb/3/34/Szintillationsz%C3%A4hler.png/500px-Szintillationsz%C3%A4hler.png>

- [Bild 22] Tim Schaffus (am 02.04.2009; PAINT)
- [Bild 23] www.desy2006.de.vu
- [Bild 24] http://physik-begreifen-zeuthen.desy.de/angebote/kosmische_strahlung/index_ger.html
- [Bild 25] Tim Schaffus (am 22.09.2008; DESY Zeuthen)
- [Bild 26] Tim Schaffus (am 23.09.2008; DESY Zeuthen)
- [Bild 27] Tim Schaffus (am 23.09.2008; DESY Zeuthen)
- [Bild 28] Tim Schaffus (am 24.09.2008; DESY Zeuthen)
- [Bild 29] http://www.hep.physik.uni-siegen.de/pics/auger_sd_ft-s.jpg
- [Bild 30] <http://www.auger.de/news/PRagn/Auger%20AGN%20Presse%20dt%20finale%20Version-Dateien/image008.jpg>
- [Bild 31] <http://www.expeditions.udel.edu/antarctica/images/blog/blog2-main5-tank-icetop.jpg>
- [Bild 32] <http://www.lbl.gov/Science-Articles/Archive/sabl/2006/Mar/IceTop.jpg>
- [Quelle 1] <http://www.astroteilchenphysik.de/topics/cr/cr.htm>
- [Quelle 2] http://de.wikipedia.org/wiki/Kosmische_Strahlung
- [Quelle 3] <http://de.wikipedia.org/wiki/Elementarteilchen>
- [Quelle 4] http://images.google.de/imgres?imgurl=http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web_ph08_g8/grundwissen/02teilchenmodell/demokrit01.jpg&imgrefurl=http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web_ph08_g8/grundwissen/02teilchenmodell/teilchenmodell.htm&usq=__NpMDI_GFBKVjrb5MqUW1Tw5cwFI=&h=262&w=200&sz=9&hl=de&start=3&um=1&tbnid=eJwFFBKwSv4M:&tbnh=112&tbnw=85&prev=/images%3Fq%3Ddemokrit%26hl%3Dde%26sa%3DN%26um%3D1
- [Quelle 5] http://physik-begreifen-zeuthen.desy.de/angebote/kosmische_strahlung/index_ger.html
- [Quelle 6] <http://www.quantenwelt.de/elementar/uberblick.html>
- [Quelle 7] <http://de.wikipedia.org/wiki/Luftschauer>
- [Quelle 8] <http://www.physik.uni-mainz.de/lehramt/kanne/material/staatsexamensarbeit.pdf>
- [Quelle 9] <http://www.auger.de/public/sd.de.html>
- [Quelle 10] [http://de.wikipedia.org/wiki/Trigger_\(Elektronik\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Trigger_(Elektronik))
- [Quelle 11] <http://www.auger.de/>
- [Quelle 12] http://nuastro-zeuthen.desy.de/e13/e44/index_ger.html

11. Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, Tim Schaffus, dass ich diese Facharbeit ohne fremde Hilfe und nur mit den im Quellenverzeichnis aufgeführten Quellen geschrieben habe.

(Tim Schaffus)