

Das Alpha-Magnetspektrometer

Das Alpha-Magnetspektrometer ist ein hochpräzises Teilchenspektrometer zur Untersuchung der kosmischen Strahlung. Der Prototyp des Experiments war das erste Magnetspektrometer im All.

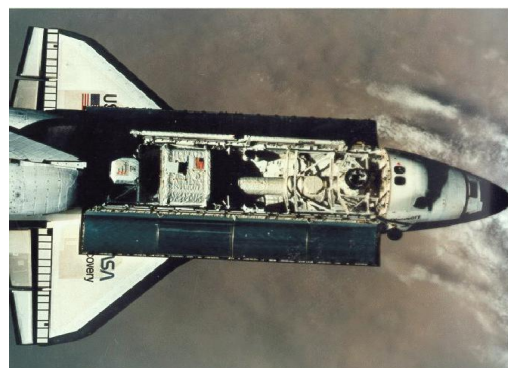
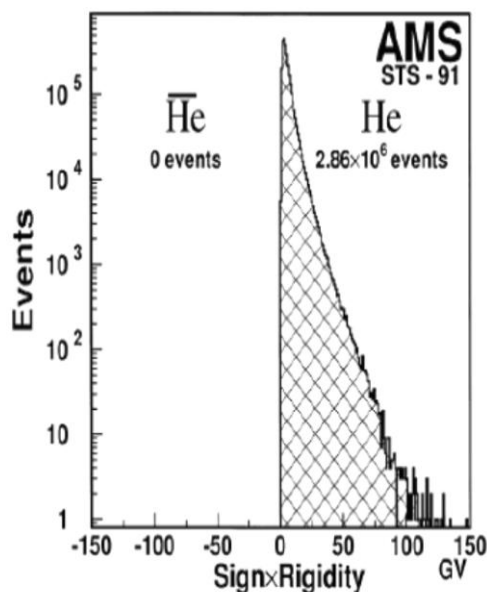
Vorgeschlagen wurde das AMS-Experiment im Jahre 1995 von Dr. Samuel Ting. Dieser ist auch heute noch der Leiter des Experimentes. Im Jahre 1998 wurde der Prototyp (AMS-01) fertiggestellt und ging mit der Raumfähre Discovery für einen 10-tägigen Flug ins All. Dieser Flug diente vor allem dazu, das Verhalten des Detektors unter den im All herrschenden Bedingungen zu testen. Es wurden jedoch auch sehr viele Ereignisse gemessen und nach dem Flug untersucht.

Danach ging man in die Weiterentwicklung und den Ausbau des Detektorsystems. Für den AMS-02 Detektor ist ein (mindestens) 3-jähriger Aufenthalt auf der internationalen Raumstation (ISS) geplant. Dieser Aufenthalt sollte im Jahre 2003 beginnen. Der Transport zu ISS wurde jedoch aufgrund des Columbia-Absturzes auf 2007 verschoben. Doch auch 2007 wurde der Start wieder abgesagt. Diesmal aufgrund von Kostenproblemen.

Auch heute ist noch unklar, ob der Detektor überhaupt jemals auf der ISS ankommen wird. Beim Flug des AMS-01-Detektors wurden ca. 100 Millionen Ereignisse gemessen. Die Hauptaufgabe des Fluges war, neben dem Test der Funktionsweise unter Weltraumbedingungen, die Suche nach Anti-Helium. Zuerst wurden von allen gemessenen Ereignissen diejenigen Teilchen herausgefiltert, die einen Ladungsbetrag von $|Z|=2$ aufwiesen. Danach wurde nachgeprüft ob bei diesen Ereignissen das Ladungsvorzeichen positiv oder negativ war. Gemessen wurde bis zu einer Rigidität von 140 GV.

Die Auswertung ergab, dass während des 10-tägigen Fluges ca. $2,86 \cdot 10^6$ Helium-Kerne den Detektor passiert hatten. Es wurde jedoch kein einziger Antihelium-Kern gefunden.

Mit dem AMS-02-Experiment will man diese Suche nach Antihelium-Kernen fortsetzen. Hier die gemessenen Ereignisse:

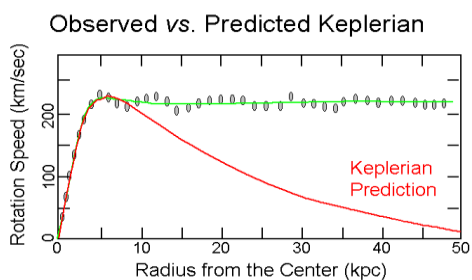


Würde man Antihelium-Kerne finden, so wäre dies ein Indiz dafür, dass es an anderen Orten des Universums größere Ansammlungen an Antimaterie wie z.B. ganze Antimaterie-Galaxien gibt. Ein Antihelium-Kern könnte z.B. das Produkt der nuklearen Fusion eines Antisterns sein. Das wichtigste Argument für die Platzierung eines Magnetspektrometers im All ist der, durch die Atmosphäre verursachte, geomagnetische „Cutoff“: Niederenergetische Teilchen gelangen nicht zu Erde, sondern werden von der Atmosphäre daran gehindert. Somit fehlt, wenn man von der Erde aus versucht die Energiespektren zu messen, der niederenergetische Bereich. Um die Spektren bei niederen Energien zu messen, muss man also außerhalb der Atmosphäre messen. AMS-01 hat schon viele Energiespektren aufgenommen. AMS-02 wird diese Messungen mit noch genauer Präzision fortsetzen.

Die Messung oberhalb der Atmosphäre ist vor allem für die Hauptaufgabe des AMS-02-Detektors unverzichtbar. Seit man herausgefunden hat, dass 22% des Universums aus kalter, dunkler Materie besteht, hat AMS-02 die Suche nach dieser Materie zu seiner Hauptaufgabe gemacht.

Ein möglicher Kandidat für die kalte, dunkle Materie ist das leichteste supersymmetrische Teilchen, Neutralino genannt. Die Theorie der Supersymmetrie besagt, dass beim Big Bang sehr viele dieser Neutralinos entstanden sind. Neutralinos gehören zu den WIMPs, den weakly interacting massive particles. Sie sind stabil, massiv und ungeladen und emittieren oder absorbieren kein Licht. Darum unterliegen sie nur der schwachen Wechselwirkung und werden gravitativ an Ansammlungen größerer Masse, wie z.B. Galaxien gebunden. Die Galaxien schwimmen also in einem „See“ von Neutralinos. Diese Neutralinos, bzw. ihre Massen, sorgen dafür, dass man bei der Messung der Rotationsgeschwindigkeit der Galaxien nicht die erwartete Kurve misst.

Dieses Diagramm zeigt den Vergleich zwischen erwarteter und gemessener Rotationsgeschwindigkeit:



AMS sucht nicht, wie z.B. das EDELWEIS-Experiment direkt nach den Neutralinos, sondern indirekt:

Neutralinos reagieren untereinander und AMS-02 sucht nach ihren Annihilationsprodukten. Um diese Annihilationsprodukte zu finden sucht AMS-02 nach Abweichungen in ihrem Spektrum. Besonders untersucht wird das Spektrum der Gamma-Strahlung. Diese entsteht hauptsächlich durch den Pionen Zerfall. Anhand der Abweichungen vom normalen Spektrum kann man die Masse der WIMPs abschätzen.

Auch hochenergetische Positronen sind ein Annihilationsprodukt der Neutralinos: Die Neutralino-Annihilation ist der einzige Prozess, bei dem hochenergetische Positronen entstehen. Somit muss AMS-02 nach einer erhöhten Positronenzahl bei hohen Energien suchen. Jedoch ist das Betrachten des Gamma-Spektrums die bessere Methode, da Gammas direkt zu ihrem Entstehungsort zeigen, während die Positronen von allen möglichen

Magnetfeldern im Universum abgelenkt werden können, bevor sie den Detektor erreichen. Darum ist auch der Positronen-Untergrund nicht so genau bekannt.

Nun aber zum Detektorsystem des Alpha-Magnetspektrometers:

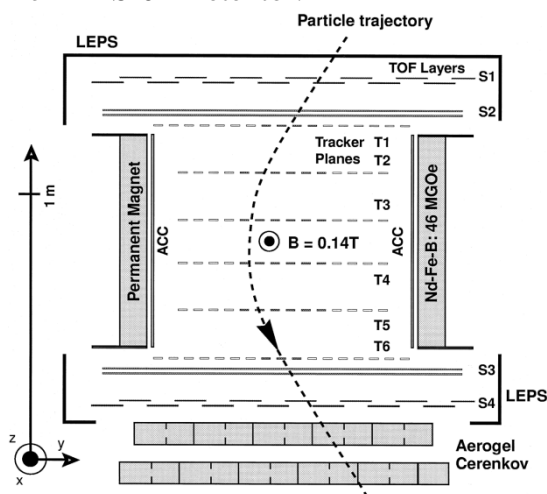
Beim AMS-01 Detektor hatte man einen Permanentmagneten aus Niodym, Eisen und Bor. Dieser erzeugte ein Magnetfeld von 0,15 Tesla.

Im Inneren des Magneten befand sich der Silizium-Spurdetektor. Dieser Halbleiterdetektor bestand aus 6 Lagen mit Aluminium beschichtetem Silizium: Eine Lage oberhalb, eine Lagen unterhalb und 4 Lagen im Magneten.

Ober- und unterhalb des Siliziumdetektors befanden sich je 2 Schichten Szintillatoren. Diese dienten zur Flugzeitmessung.

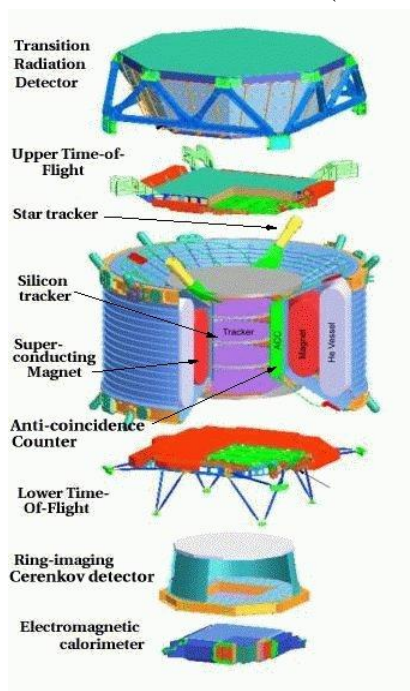
Unterhalb der Flugzeitmessung war der Cerenkov-Detektor angebracht. Als Cerenkov-Material wurde Aerogel verwendet.

Der AMS-01-Detektor:



Beim AMS-02-Detektor hat man dieselben Subdetektoren. Jedoch wurden sie noch verbessert und für einen 3-jährigen ISS-Aufenthalt fitgemacht. Desweiteren kam noch ein elektromagnetisches Kalorimeter unterhalb des Cerenkov-Detektors hinzu.

Hier der Detektoraufbau (AMS-02):



Siliziumspurdetektor:

Aufgebaut aus 8 Lagen Silizium: 6 im Magnetfeld, 2 außerhalb. Mit diesem Detektor können Ladung und Rigidität des Teilchens gemessen werden. Mit diesen Daten kann dann der Impuls des Teilchens bestimmt werden.

Magnet:

Beim AMS-02-Experiment wird ein supraleitender Magnet aus Niobium-Titan-Spulen benutzt. 2 Dipolspulen errichten das Hauptmagnetfeld im Inneren. Sie sind zylinderförmig mit 12 Racetrack-Spulen angeordnet. Diese sorgen dafür, dass das Streufeld minimiert wird. Die Betriebstemperatur beträgt 1,8 K. Gekühlt wird mit superfluidem Helium.

Flugzeitmessung:

Das Time-of-Flight-System besteht aus je 2 Schichten Szintillationsmaterial ober- und unterhalb des Magneten. Es misst die Flugzeit und führt zusätzlich noch eine Messung der Energiedeposition dE/dx durch.

Übergangsstrahlungsdetektor:

Übergangsstrahlung entsteht, wenn ein geladenes Teilchen die Grenzfläche zweier Materialien mit verschiedenen Brechungsindizes durchtritt. Bei Elektronen und Positronen ist der Effekt höher als bei Protonen. Der Detektor besteht aus einer Anordnung aus 20 Schichten Vlies-Material, die sich mit den Detektorröhrchen abwechseln. In einer Schicht des Vliesmaterials befinden sich weit über 100 Grenzflächen. Diese braucht man, damit überhaupt eine messbare Strahlung entsteht. Die Röhrchen sind zu 80% gefüllt mit Xenon, da dieses Gas leicht zu ionisieren ist. Als zweites Gas wird Kohlenstoffdioxid verwendet, um das Signal zu regulieren. Mit diesem Detektor wird zwischen Positronen und Protonen unterschieden.

Ringabbildender Cerenkov-Detektor:

Cerenkov-Strahlung wird in Form eines Kegels ausgestrahlt, wenn sich ein Teilchen in einem Medium schneller bewegt als das Licht. Der Öffnungswinkel des Kegels hängt von der Geschwindigkeit des Teilchens ab. Durch eine Photomultiplier-Schicht, auf der ein ringförmiges Abbild entsteht, wird dieser Öffnungswinkel bestimmt und über ihn wird dann die Geschwindigkeit des Teilchens berechnet. Der Cerenkov-Detektor bestimmt die Geschwindigkeit der Teilchen, die sich nahezu mit Lichtgeschwindigkeit bewegen. Als Cerenkov-Material wurden Aerogel und noch zusätzlich Natriumfluorid-Kacheln verwendet.

Elektromagnetisches Kalorimeter: Das ECAL besteht aus einer Aufschichtung von dünnen Bleischichten und Szintillationsfasern. Im Blei werden die einfallenden Teilchen gestoppt, indem sie beginnen zu schauern. Die Szintillationsfasern sind das aktive detektierende Medium. Sie detektieren die beim Schauern emittierten Lichtblitze. Elektronen und Positronen schauern elektromagnetisch. Sie deponieren ihre gesamte Energie zu Beginn des Kalorimeters. Protonen schauern, wenn überhaupt, hadronisch und deponieren zu Beginn nur wenig Energie. So kann zwischen Protonen und Positronen unterschieden werden.

Quellen:

<http://ams.cern.ch/AMS/Description/overview.html>

http://hpamsmi2.mi.infn.it/~wwwams/A_AMS.html

<http://ams-02project.jsc.nasa.gov/>

<http://dpnc.unige.ch/ams/ams.shtml>

<http://cyclo.mit.edu/~bmonreal/frames.phys.html>

<http://de.wikipedia.org>

<http://www-ekp.physik.uni-karlsruhe.de/~deboer/>