

## Hauptseminar: Der Urknall und seine Teilchen

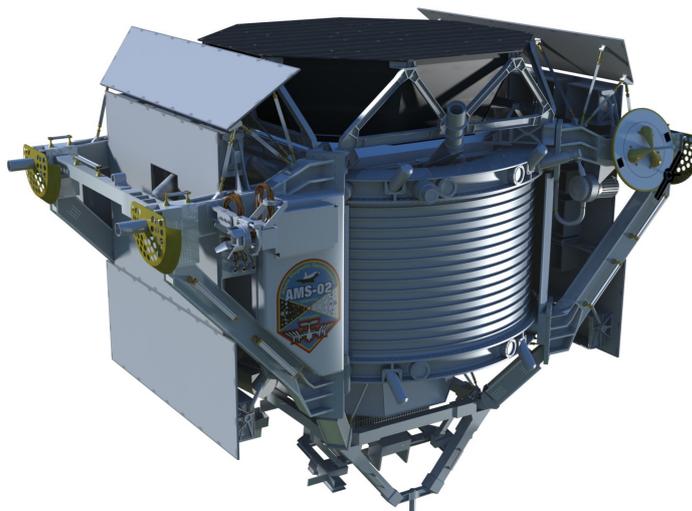
# Das AMS Experiment

Christian Buntin

8. Juli 2011

### Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	2
2	Geschichte	2
3	Aufbau	2
4	Nachweis verschiedener Teilchen	3
5	Datenverarbeitung	4
6	Ziele und Erwartungen	4
7	Zusammenfassung	6
8	Literatur	6



Bildquelle: <http://www.ams02.org/what-is-ams>

# 1 Einführung

Das AMS-Experiment (Alpha Magnetic Spectrometer) besteht aus einem Teilchendetektor zur Vermessung der kosmischen Strahlung aus dem Weltall, welcher auf der Internationalen Raumstation ISS arbeitet. Mit AMS-01 wurde ein Prototyp dieses Detektors für 10 Tage im All an Bord eines Space-Shuttles getestet und seit Mai 2011 ist AMS-02 auf der ISS aktiv.

## 2 Geschichte

Initiiert wurde das Experiment 1995 von der Arbeitsgruppe von Samuel Ting am MIT, worauf 1998 AMS-01 an Bord eines Space-Shuttles für zehn Tage im All Daten von über 80 Millionen Ereignissen sammelte. Daraufhin wurde mit dem Bau von AMS-02, das dauerhaft auf der ISS arbeiten soll, begonnen. Die Columbia-Katastrophe 2003 und die Laufzeitverlängerung der ISS führten dabei zu einigen Verzögerungen, doch seit Mai 2011 ist AMS-02 auf der ISS installiert und sammelt Daten.

## 3 Aufbau

AMS-02 ist aus mehreren verschiedenen Subdetektoren aufgebaut, um möglichst viele Informationen der eintreffenden Teilchen zu erhalten. Eine Skizze des Detektors ist auf Abbildung 1 auf Seite 4 zu sehen.

**Übergangsstrahlungsdetektor (TRD):** Übergangsstrahlung entsteht beim Übergang eines Teilchens von einem Material in ein Material mit einer anderen Dielektrizitätszahl  $\epsilon$ , wobei die Intensität dieser Strahlung proportional zum Lorentzfaktor  $\gamma = \frac{E}{mc^2} = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$  ist. Der Ursprung dieser Strahlung lässt sich mit dem veränderlichen Dipol erklären, welchen Ladung und Spiegelladung bilden.

Diese Strahlung wird mit Proportionalzählrohren gemessen, welche mit Xe/CO<sub>2</sub> gefüllt sind. Dabei emittieren Elektronen und Positronen – im Gegensatz zu Protonen – Übergangsstrahlung, die neben der reinen Ionisation, welche bei beiden auftritt, ein deutlich breiteres Signal gibt.

Damit ist die Messung von  $\gamma$ , sowie die Unterscheidung von Protonen und Elektronen/Positronen möglich.

**Spurdetektor (Tracker):** Der Spurdetektor besteht aus mehreren Lagen Silizium-Streifendetektoren im Magnetfeld eines Permanentmagneten. Geladene Teilchen erzeugen in diesen Silizium-Lagen Elektronen-Loch-Paare, welche als Signal ausgelesen werden, womit die Teilchenbahn rekonstruiert werden kann.

Über den Krümmungsradius  $r$  der Teilchenbahn im Magnetfeld  $B$  bekommt man den Impuls über Ladung  $\frac{p}{q} = B \cdot r$ . Da die Intensität des Signals in den Si-Lagen proportional zum Quadrat der Ladung des Teilchens ist, erhält man sowohl den Impuls, als auch die Ladung des Teilchens durch den Spurdetektor.

**Ring-Abbildender Čerenkov-Detektor (RICH):** Fliegt ein geladenes Teilchen mit einer Geschwindigkeit  $v$  durch ein Medium mit Brechzahl  $n$ , in welchem die Lichtgeschwindigkeit  $c = \frac{c_0}{n}$  kleiner als die Teilchengeschwindigkeit  $v$  ist, so tritt in Flugrichtung ein Lichtkegel aus Čerenkov-Licht auf, dessen Öffnungswinkel  $\theta = \arccos \frac{1}{\beta n}$  von  $\beta = \frac{v}{c_0}$  abhängt. Zusätzlich ist die Intensität des Čerenkov-Lichts von der Ladung des Teilchens abhängig.

Im AMS-Experiment wird Silikat-Aerogel ( $n$  von 1,03 bis 1,05) und NaF ( $n = 1,336$ ) als Material mit hoher Brechzahl  $n$  verwendet. Dabei befindet sich das NaF in der Mitte, damit größere Lichtkegel erzeugt werden.

Darunter wird dieses Licht mit einer Lage aus insgesamt 680 Photomultipliern aufgefangen, wobei in der Mitte ein Loch ist, damit einfallende Teilchen in das darunter liegende Kalorimeter treffen können. Da sich über diesem Loch aber das NaF befindet, sind die entstandenen Ringe so groß, dass sie dennoch detektiert werden können.

Damit können die Lichtkegel rekonstruiert werden, wodurch die Messung von  $\beta$  und der Ladung möglich ist.

**Elektromagnetisches Kalorimeter (ECAL):** Das Kalorimeter besteht aus vielen Bleilagen, die mit Szintillationsfasern durchzogen sind. Tritt ein Photon oder Elektron/Positron ein, so bildet sich z. B. durch Paarbildung und Bremsstrahlung ein elektromagnetischer Schauer aus Elektronen und Photonen, dessen gesamte Energie im Kalorimeter deponiert wird. Die Signale der Szintillationsfasern werden mit Photomultipliern ausgelesen und geben die Gesamtenergie des Teilchens sowie ein Bild des Schauers wieder.

Tritt jedoch ein Proton in das Kalorimeter ein, so wird ein hadronischer Schauer aus Teilchen wie Kaonen und Pionen erzeugt, welcher zum größten Teil das Kalorimeter verlässt.

Somit lassen sich mit dem Kalorimeter Elektronen/Positronen und Photonen von Protonen unterscheiden und es kann gegebenenfalls die Energie bestimmt werden.

**Flugzeitdetektor (TOF):** Der Flugzeitdetektor besteht aus zwei Teilen, einem über dem Magneten und einem darunter. Diese bestehen jeweils aus Szintillator-Lagen, welche mit Photomultipliern ausgelesen werden.

Fliegt ein Teilchen durch solch eine Lage, so gibt es ein Signal. Aus der Zeitdifferenz zwischen dem Durchqueren der oberen und der unteren Detektorlage kann die Geschwindigkeit des Teilchens bestimmt werden. Zusätzlich dient der Flugzeitdetektor als Trigger für die anderen Detektoren, damit diese ausgelesen werden, wenn der TOF einen Teilchendurchflug registriert hat.

**Antikoinzidenzzähler (ACC):** Der Antikoinzidenzzähler besteht aus Szintillatorlagen, welche um den Magneten herum angeordnet sind. Diese geben über Photomultiplier ein Signal, wenn Teilchen von der Seite durch den Magneten kommen. Da dies einen großen unnützen Teilchenschauer im Spurdetektor erzeugt, gibt der Antikoinzidenzzähler ein Veto-Signal und das Ereignis wird verworfen.

## 4 Nachweis verschiedener Teilchen

Mit Hilfe der vorgestellten Subdetektoren ist AMS-02 in der Lage, zahlreiche Teilchen nachzuweisen und zu vermessen. In Abbildung 1 auf der nächsten Seite ist für einige Teilchen das Erscheinungsbild in den verschiedenen Subdetektoren dargestellt.

**Elektronen und Positronen:** Elektronen und Positronen erzeugen im TRD neben Ionisation auch Übergangsstrahlung, was ein deutlich stärkeres Signal ergibt. Im Tracker zeigt sich eine stark gekrümmte Bahn, welche je nach Ladungsvorzeichen nach rechts oder links gekrümmt ist. Im RICH ist, wie bei allen geladenen Teilchen, ein Ring in Abhängigkeit von Geschwindigkeit und Ladung zu beobachten und im ECAL tritt ein großer Elektromagnetischer Schauer auf, aus dem die Teilchenenergie bestimmt werden kann.

**Protonen:** Protonen oder z. B. Antihelium-Kerne erzeugen im Gegensatz zu Elektronen und Positronen nur ein Ionisationssignal im TRD. Im Tracker ist die Teilchenbahn weniger stark gekrümmt. Im RICH ist jeweils ein großer Ring zu sehen. Im Kalorimeter dagegen tritt nur ein Hadronischer Schauer auf, der aus dem Detektor austritt.

**Photonen:** Photonen als ungeladene Teilchen sind nur im Kalorimeter als elektromagnetischen Schauer zu sehen. Tritt jedoch vorher Paarbildung auf, so sind Photonen auch als Elektron-Positron-Paar wie oben beschrieben nachweisbar.

## AMS-02

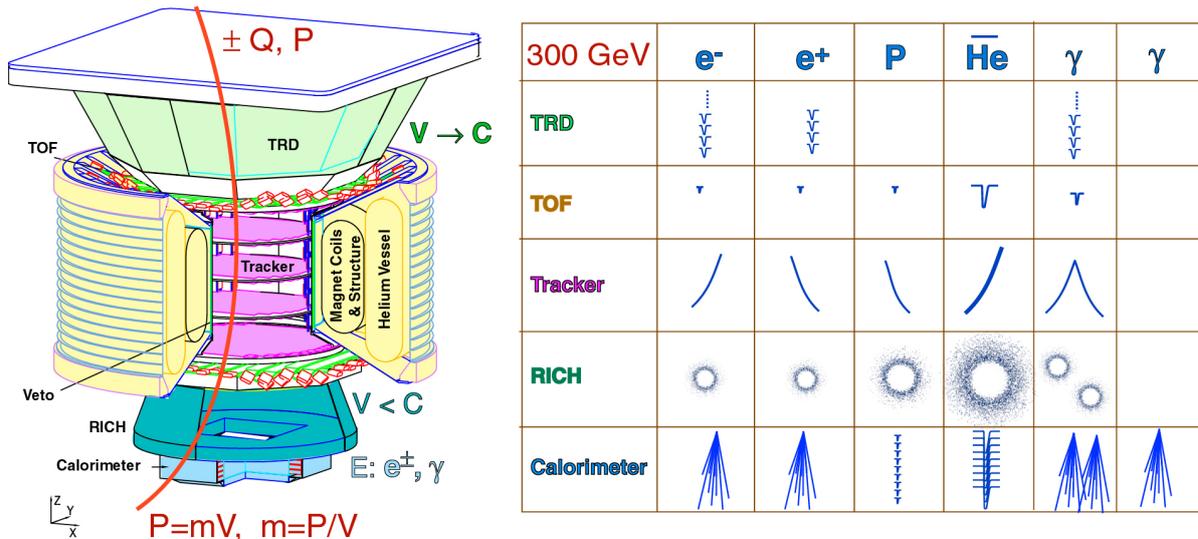


Abbildung 1: Aufbau des Detektors und Nachweis verschiedener Teilchen

Bildquelle: Wim de Boer. Vorlesung „Einführung in die Kosmologie“. Wintersemester 2010/11.

[http://www-ekp.physik.uni-karlsruhe.de/~deboer/html/Lehre/Kosmo\\_WS2010/VL13\\_DM2.pdf](http://www-ekp.physik.uni-karlsruhe.de/~deboer/html/Lehre/Kosmo_WS2010/VL13_DM2.pdf)

## 5 Datenverarbeitung

Im Detektor werden bis zu 2000 Ereignisse pro Sekunde erwartet, was einem Datenstrom von bis zu 7 Gbit/s entspricht. Dieser Datenstrom wird aufbereitet und durch Datenreduktion auf 2 Mbit/s gebracht, welcher in der ISS auf Festplatten gesichert wird, um ein Backup der Daten direkt von der Quelle zu erhalten. Parallel werden diese Daten zur Erde und dort über das Internet weiter zum AMS-02-Kontrollzentrum am CERN übertragen, wo Physiker aus aller Welt die Daten analysieren und auswerten können.

## 6 Ziele und Erwartungen

AMS wurde gebaut, um einige unbekannte physikalische Effekte zu erklären, genauere Daten zu messen und nach neuer Physik zu suchen.

## 6.1 Antimaterie

Man geht davon aus, dass direkt nach dem Urknall Materie und Antimaterie zu gleichen Teilen entstanden sind. Allerdings konnte bis heute im Universum nur Materie beobachtet werden. Dafür gibt es Theorien, nach denen die Antimaterie kurz nach dem Urknall mit der Materie anihiliert ist. Dabei muss es einen winzigen Überschuss an Materie gegeben haben, welche übrig geblieben ist und damit unser heutiges Universum bildet. Allerdings sind diese Theorien an anderen Stellen nicht konsistent mit der bekannten Physik. Daher wird auch die Theorie in Betracht gezogen, dass weit entfernt von unserer Galaxie immernoch Sterne oder Galaxien aus Antimaterie existieren.

Aus diesem Grund soll AMS-02 nach Antimaterie-Teilchen suchen. Bereits der Nachweis eines Antihelium- oder Antikohlenstoff-Atoms würde die Theorie untermauern, dass es Antimaterie-Sterne gibt. Denn diese Elemente können nur in Explosionen von Antimaterie-Sternen entstehen und müssen somit aus solche einem Stern stammen.

AMS-01 hat während seiner zehntägigen Arbeitsphase kein Antihelium gefunden. Stattdessen konnte die Obergrenze für das Verhältnis von Antihelium zu Helium zu  $10^{-6}$  bestimmt werden. Für AMS-02 gibt es zwei Möglichkeiten: Entweder es werden Antimaterie-Atome detektiert, womit eben Antimaterie-Sterne nachgewiesen wären, oder es werden keine Antimaterie-Teilchen detektiert. Damit ließe sich dann die Obergrenze für das Verhältnis von Antihelium zu Helium weiter bis hin zu  $10^{-9}$  festlegen, womit nahezu ausgeschlossen ist, dass Antimaterie-Galaxien existieren.

## 6.2 Dunkle Materie

Mit das wichtigste Ziel von AMS-02 ist die Suche nach Hinweisen auf dunkle Materie. Durch Beobachtung von Gravitationslinseneffekten oder Rotationskurven von Spiralgalaxien wurde festgestellt, dass die Masse der sichtbaren Materie in Form von leuchtenden Sternen für diese Effekte nicht ausreichend ist. Das Vorhandensein von zusätzlicher Materie in Form von nicht sichtbarer, dunkler Materie, kann eben diese Gravitationslinseneffekte und Rotationskurven erklären.

Ein Modell, welches diese dunkle Materie erklären kann, ist die Supersymmetrie (SUSY). Dabei wird jedem Teilchen des Standardmodells ein weiteres supersymmetrisches Teilchen zugeordnet. Diese Teilchen wechselwirken allerdings nicht mit den Teilchen des Standardmodells, weshalb der Nachweis nur über die Anihilation von supersymmetrischen Teilchen möglich ist. Als aussichtsreichster Kandidat für die dunkle Materie gilt das Neutralino als leichtestes supersymmetrisches Teilchen (LSP).

Wenn zwei Neutralinos aufeinander treffen, anihilieren diese. Aus der dabei frei werdenden Energie können daraufhin Teilchen des Standardmodells entstehen, welche von AMS-02 nachgewiesen werden können. Dabei ist das Spektrum der Teilchen, die bei einer bestimmten Energie entstehen können, von Beschleunigerexperimenten auf der Erde bekannt. Daher sucht man vor allem im Positronen-, Antiprotonen- und Photonen-Spektrum nach Auffälligkeiten, die eben mit dem Energiespektrum der Anihilation zweier Neutralinos einer bestimmten Energie erklärbar sind.

## 6.3 Strangelets

Ein weiteres Ziel von AMS-02 ist die Suche nach sogenannten Strangelets. Auf der Erde besteht alle bekannte Materie aus Protonen und Neutronen, somit also aus up- und down-Quarks. Strangelets dagegen sind Teilchen, welche aus etwa gleichen Teilen von up-, down- und strange-Quarks (daher der Name) bestehen. Mit einer großen Zahl an Quarks könnten solche Teilchen auch stabil sein, womit sie eine völlig neue Art von Materie darstellen würden, wie man sie auf der Erde bisher nicht kennt.

Da up-, down- und strange-Quarks in großen Mengen und in etwa gleichen Anteilen in Strangelets erwartet werden, äußern sich diese als Teilchen mit geringer Ladung, da sich die  $\frac{2}{3}$ -Ladung des up-Quarks mit den beiden  $-\frac{1}{3}$ -Ladungen des down- und strange-Quarks größtenteils ausgleicht. Zusätzlich erwartet man aufgrund der hohen Zahl an Quarks eine hohe Masse für solche Strangelets.

AMS-01 hat ein Teilchen mit zweifacher Ladung ( $Z = 2$ ) und einer hohen Masse von  $m = 16,45 \pm 0,15$  GeV gefunden, was aufgrund seinem kleinen Verhältnis von Ladung zur Masse einen möglichen Kandidaten für ein Strangelet darstellt. Da aber nur ein einziges solches Teilchen gefunden wurde, liegt es an AMS-02, nach weiteren solchen Kandidaten zu suchen, um zu überprüfen, ob es tatsächlich solche Teilchen gibt oder ob es sich nur um eine statistische Fluktuation gehandelt hat.

## 6.4 Vermessung des Spektrums

Für alle vorhergehende Ziele ist die grundlegende Vermessung der kosmischen Teilchenstrahlung von Bedeutung. Denn damit lassen sich Propagationsmodelle für die Fortbewegung von Teilchen durch das Universum erstellen. So werden geladene Teilchen durch interstellare Magnetfelder abgelenkt, während hingegen ungeladene Teilchen nur von starken Gravitationsfeldern abgelenkt werden können. Wenn Teilchen durch Materie in Form von Gaswolken dringt, sind weitere Wechselwirkungen möglich, wodurch Teilchen anihiliert werden und neue Teilchen entstehen können.

Ein wichtiger Parameter für solche Propagationsmodelle ist zum Beispiel das Verhältnis von Kohlenstoff zu Bor oder das Verhältnis von Beryllium-10, was mit einer Halbwertszeit von 1,5 Millionen Jahren zerfällt, zu dem stabilen Beryllium-9, womit Aussagen über das Alter der kosmischen Strahlung und ob sie z. B. durch Gaswolken propagiert ist, möglich sind.

Da AMS-02 Atomkerne bis hin zum Eisen nachweisen und unterscheiden kann, können unter anderem die oben beschriebenen Spektren in hoher Genauigkeit vermessen werden. Denn nur mit einer guten Kenntnis von Propagationsmodellen von Materie im Weltall lassen sich die Ergebnisse der anderen Ziele von AMS-02 korrekt deuten.

## 7 Zusammenfassung

Somit stellt AMS-02 einen Teilchendetektor im All dar, welcher die Teilchen der kosmischen Strahlung in bisher unerreichter Genauigkeit vermessen kann. Damit kann die Beschaffenheit von dunkler Materie, das Vorhandensein von Antimaterie, die Existenz von Strangelets und das Spektrum der kosmischen Strahlung präzise untersucht werden, was vor AMS-02 nicht ohne weiteres möglich gewesen ist.

## 8 Literatur

- [1] AMS COLLABORATION: *AMS on ISS: Construction of a particle physics dectector on the International Space Station*. 2010. – URL <http://ams.cern.ch/AMS/AMS.pdf>
- [2] BATTISTON, Roberto ; OLIVA, Alberto: *AMS-02 – The Alpha Magnetic Spectrometer Experiment*. 2011. – URL <http://www.ams02.org>
- [3] HEIL, Melanie: *Tests mit dem Übergangsstrahlungsdetektor des AMS Projekts*, Universität Karlsruhe (TH), Diplomarbeit, 2010. – URL <http://www-ekp.physik.uni-karlsruhe.de/pub/web/thesis/iekp-ka2010-15.pdf>