

Das AMS-Experiment

Christian Buntin | 8. Juli 2011

HAUPTSEMINAR: DER URKNALL UND SEINE TEILCHEN



Was ist das AMS-Experiment?

- AMS = Alpha Magnetic Spectrometer
- Teilchendetektor im All
- Untersuchung der kosmischen Strahlung
- AMS-01: Raumfähre Discovery
- AMS-02: ISS
- Kollaboration von 56 Instituten aus 16 Ländern



- 1 Ziele
- 2 Geschichte
- 3 Aufbau
- 4 Detektion
- 5 Datenverarbeitung
- 6 Erwartungen

Suche nach ...

- Antimaterie
- Dunkler Materie
- Strangelets
- Spektrum der kosmischen Strahlung

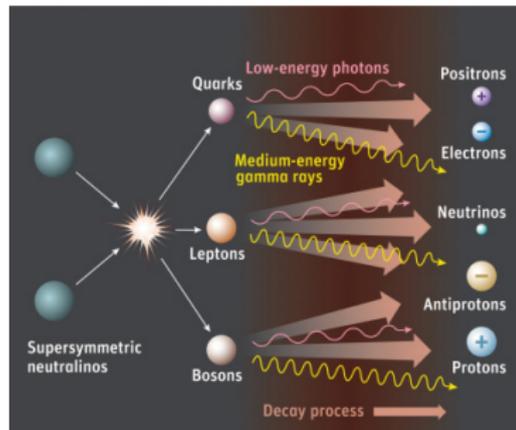
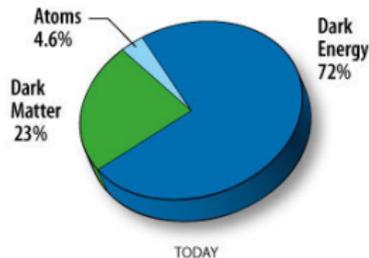


- Urknall: Gleich viel Materie und Antimaterie
- Heute: Nur Materie beobachtet

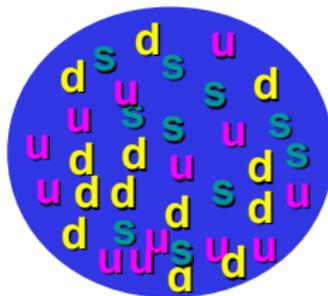
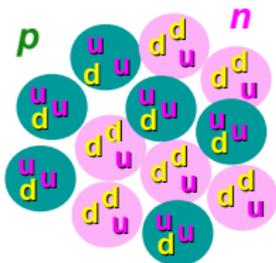
⇒ Suche nach Anti-Helium- oder Anti-Kohlenstoff-Atomen

Suche nach dunkler Materie

- Nur etwa 5% der Energie im Universum ist Materie, die wir kennen
- Rest: Dunkle Materie, Dunkle Energie
- Kandidat für Dunkle-Materie-Teilchen: *Neutralino*
- Nachweis durch Auffälligkeiten im Energiespektrum

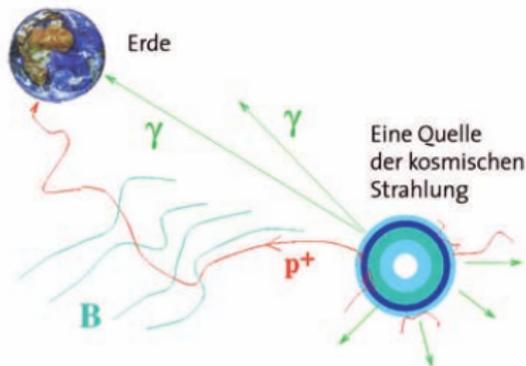


- Auf der Erde: Materie aus up- und down-Quarks
- Strangelet: Materie, die Strange-Quarks enthält
- \Rightarrow Völlig neue Art von Materie



Vermessung des Energiespektrums

- Welche Teilchen mit welchen Energien gibt es?
- Ursprung der Teilchen
- Alter der Strahlung über $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ -Verhältnis
- Propagationsmodelle

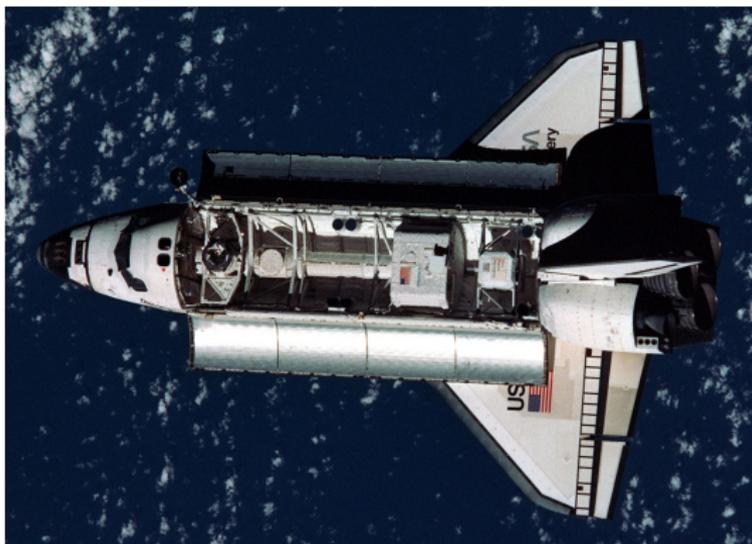


- 1995: Vorschlag von Samuel Ting für einen Teilchendetektor im All
- 1998: AMS-01 → Erfolgreich
- ⇒ Bau von AMS-02
- Columbia-Katastrophe 2003: Einstellung des Shuttle-Programms
- 2008: Shuttle-Flug für AMS-02 genehmigt
- 2010: Verlängerung der ISS-Laufzeit bis mindestens 2020
- 16. Mai 2011: Start der Endeavour mit AMS-02 an Bord



AMS-01

- 1998: Prototyp AMS-01 im Space Shuttle Discovery
- Sammelte in 10 Tagen über 80 Millionen Ereignisse
- Zeigte, dass das Konzept funktioniert.



Start der Endeavour



Ziele
○○○○

Geschichte
○○●

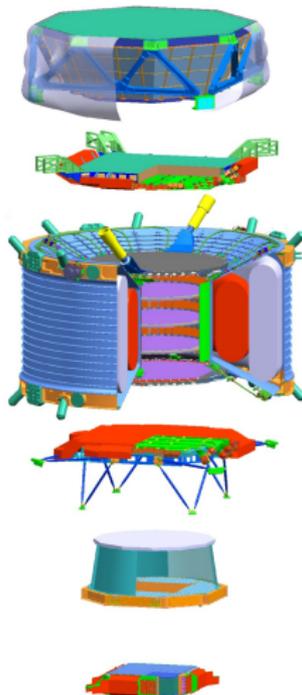
Aufbau
○○○○○○○○○○○○○○

Detektion
○○○○

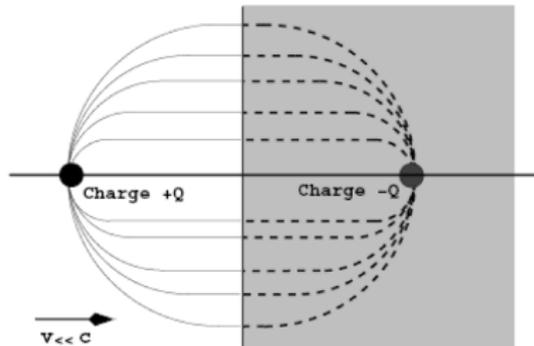
Datenverarbeitung
○

Erwartungen
○○○○○

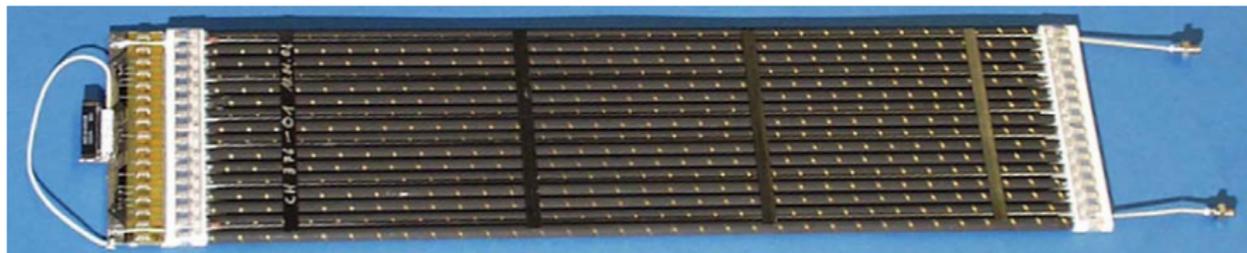
- Übergangsstrahlungsdetektor
- Spurdetektor
- Čerenkov-Detektor
- Kalorimeter
- Flugzeitdetektor
- Antikoinzidenzzähler



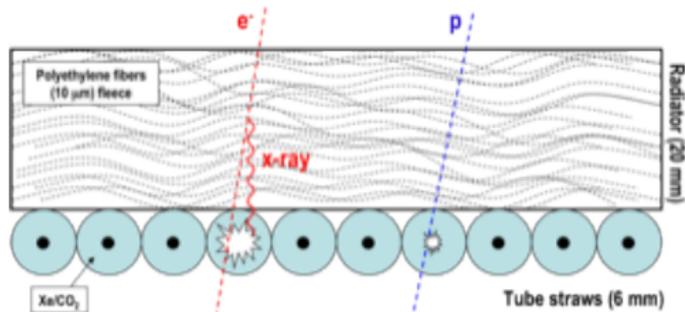
- Entsteht beim Übergang eines geladenen Teilchens in ein Material mit anderer Dielektrizitätskonstanten
- Röntgenstrahlung
- Erklärung: Teilchen bildet mit Spiegelladung veränderlichen Dipol
- Intensität proportional zum Lorentzfaktor $\gamma = \frac{E}{mc^2}$



- Übergang: Vlies-Material aus PE und PP
- 20 Lagen, je 20 mm dick
- Dazwischen: Xe/CO₂ Proportionalzählrohre, Spannung: 1600 V
- 328 Module mit je 16 Zählrohren
- Rechtwinklig angeordnet → Räumliche Auflösung



Übergangsstrahlungsdetektor – TRD

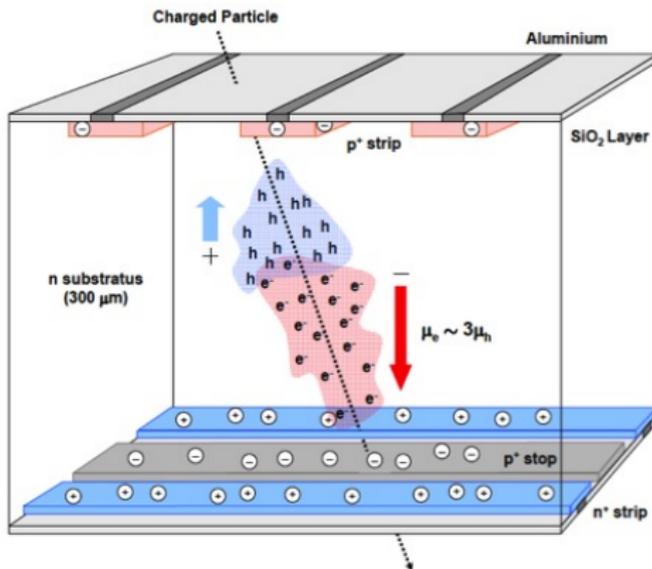


- Protonen, Elektronen: Ionisation in den Zählrohren
- Elektronen und Positronen: Zusätzlich Übergangsstrahlung

⇒ Unterscheidung von Protonen und Positronen bei hohen Energien

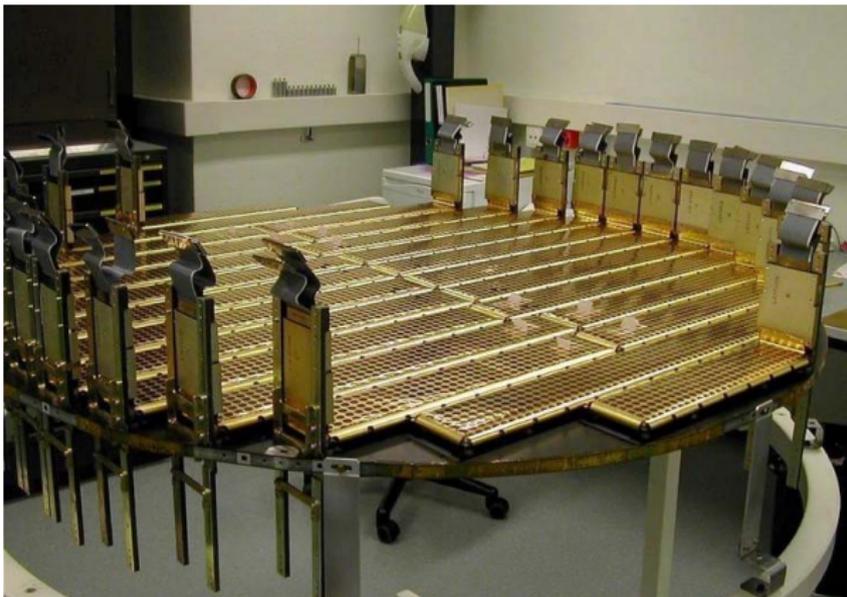
Spurdetektor – Tracker

- Silizium-Streifendetektoren aus hochdotiertem Silizium
- Beidseitig beschichtet mit zueinander orthogonalen Aluminiumstreifen



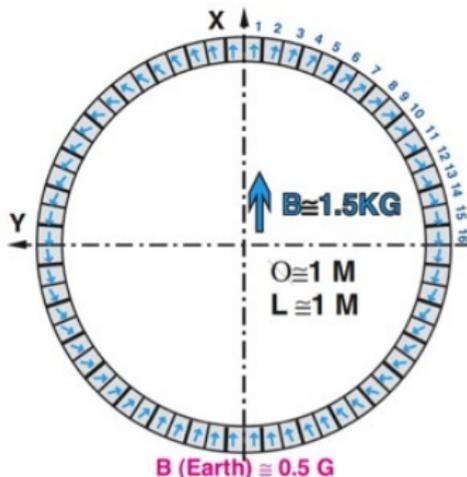
Spurdetektor – Tracker

- 8 Lagen Streifendetektoren, 6 davon im Magnetfeld
- Messung der Teilchenbahn



Tracker-Magnet

- Ursprünglich geplant: Supraleitender Magnet mit 0,87 T
 - Kühlung mit Helium
 - Laufzeitverlängerung der ISS: Heliumvorrat reicht aber nicht
- ⇒ Stattdessen Permanentmagnet mit 0,15 T aus Neodym-Eisen-Bor

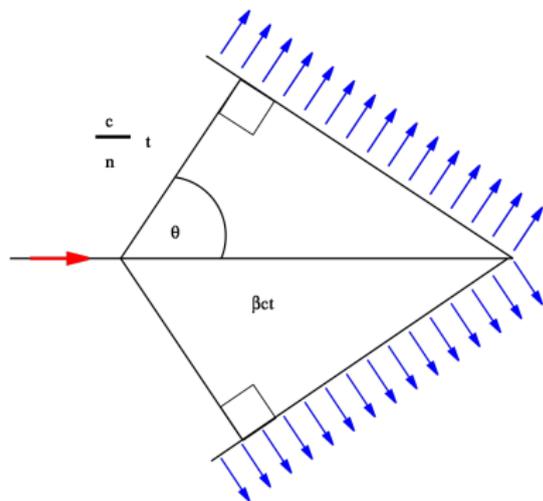


Rigidität R (Impuls über Ladung) aus Krümmung r der Teilchenbahn:

$$\frac{mv^2}{r} = qvB \Leftrightarrow R = \frac{p}{q} = Br$$

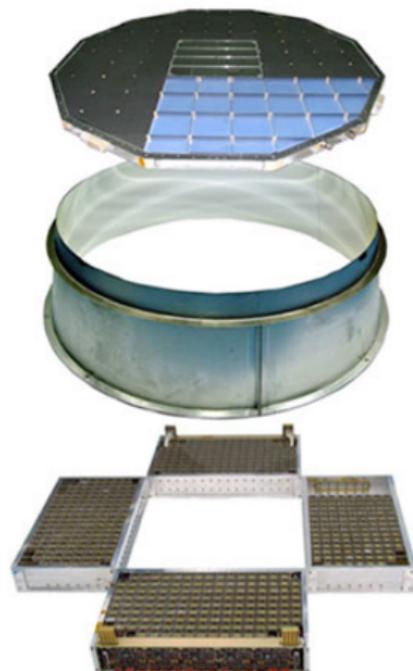


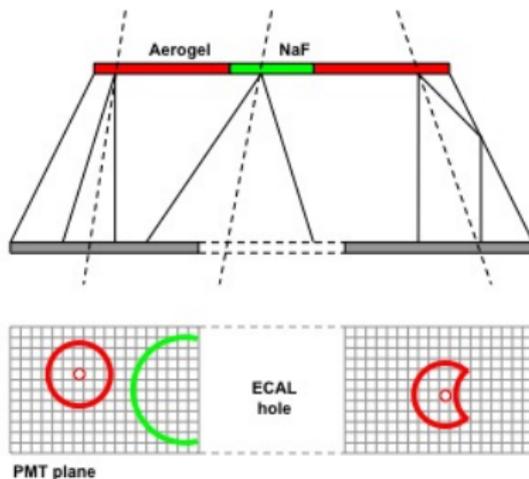
- Teilchen schneller als Lichtgeschwindigkeit $\frac{c}{n}$ im Medium
- Lichtkegel mit Öffnungswinkel $\cos \theta = \frac{1}{\beta n}$
- Intensität abhängig von Ladung



Ringabbildender Čerenkov-Detektor – RICH

- Radiator aus Silicat-Aerogel (n von 1,03 bis 1,05)
- In der Mitte aus NaF ($n = 1,336$)
- Spiegel, um ganzen Lichtkegel zu erfassen
- Darunter: 680 Photomultiplier
- Loch für Kalorimeter

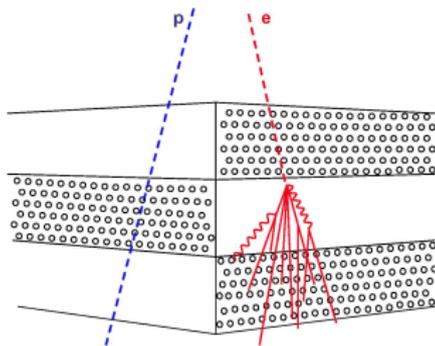




Lichtkegel in Abhängigkeit von β , Intensität hängt von Ladung ab

Elektromagnetisches Kalorimeter – ECAL

- 9 Bleilagen (18,5 mm dick), mit Szintillator-Fasern durchzogen
- Elektronen und Photonen:
 - Elektromagnetischer Schauer
 - Bremsstrahlung, Paarbildung, ...
 - Schauer komplett im ECAL → Energiemessung
- Protonen:
 - Hadronischer Schauer
 - Pionen, Kaonen, ...



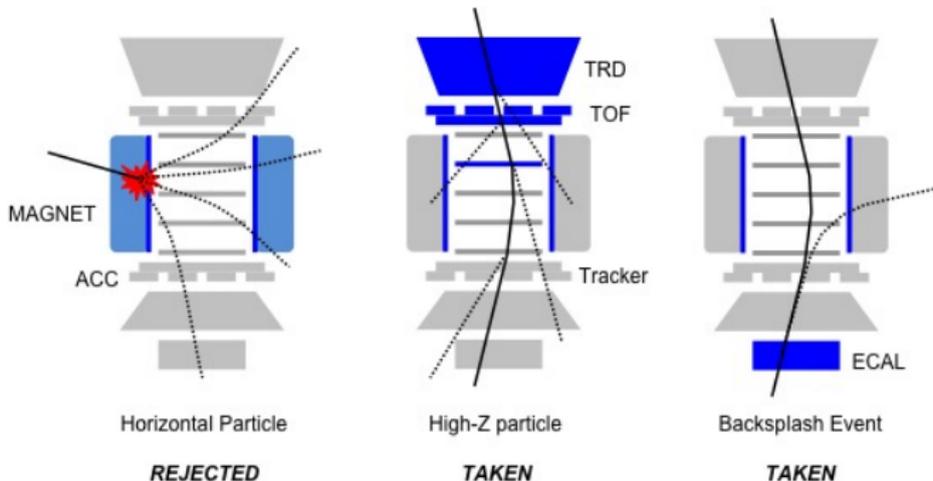
⇒ Unterscheidung von Protonen und Positronen, Energiemessung

- Ober- und Unterhalb des Magneten
- Jeweils zwei rechtwinklig zueinander angeordnete Szintillationszähler-Lagen
- Bestimmung der Durchflugzeit und Richtung
- Trigger für restliche Detektoren

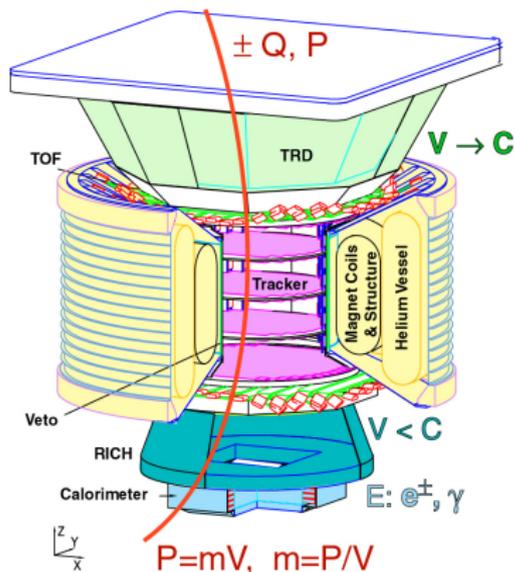


Antikoinzidenzzähler – ACC

- 16 Szintillatorbahnen
- Zylinderförmig an der Innenseite des Magneten
- Registriert Teilchen, die durch den Magneten fliegen
⇒ Veto Signal

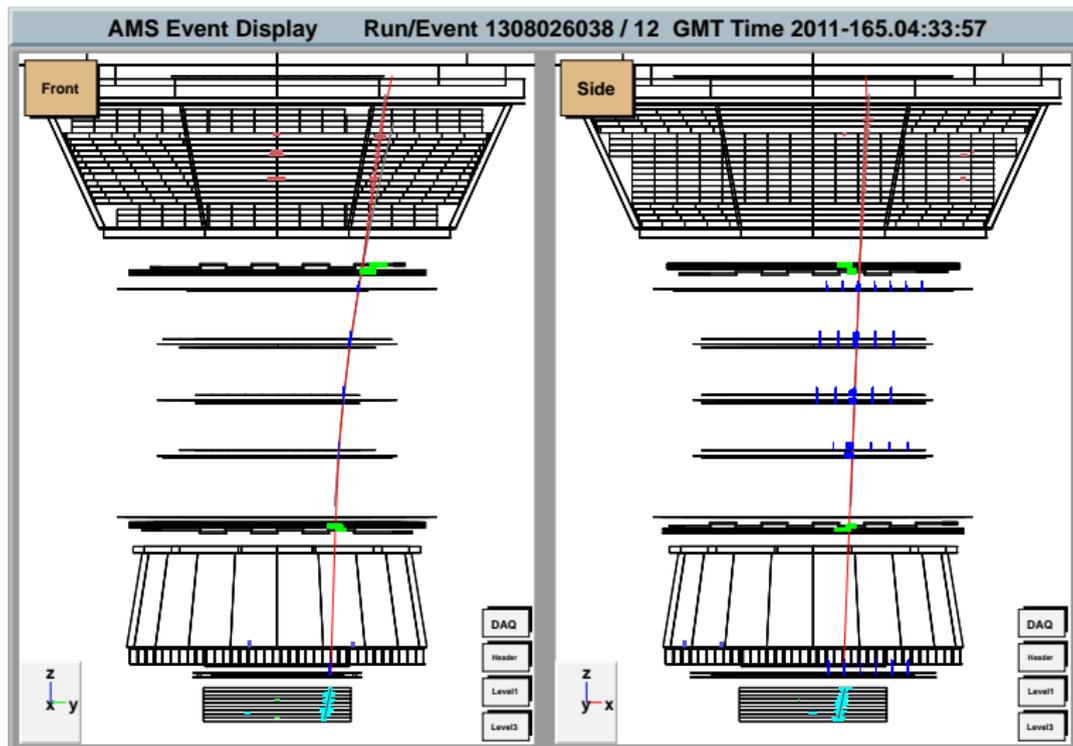


AMS-02



300 GeV	e^-	e^+	P	\bar{He}	γ	γ
TRD						
TOF						
Tracker						
RICH						
Calorimeter						

Detektion von Elektronen/Positronen



Particle TrToFTrdTrdHEcal No 0 Id=2 p= 0.325± 0.032 M=-0.0666± 0.071 θ=0.04 φ=0.64 Q= 1 β=-1.021± 0.046/ -1.02 Coo=(13.69,24.07,-135.36) LiveTime 0.24

Ziele

○○○○

Geschichte

○○○

Aufbau

○○○○○○○○○○○○○○

Detektion

●●○○

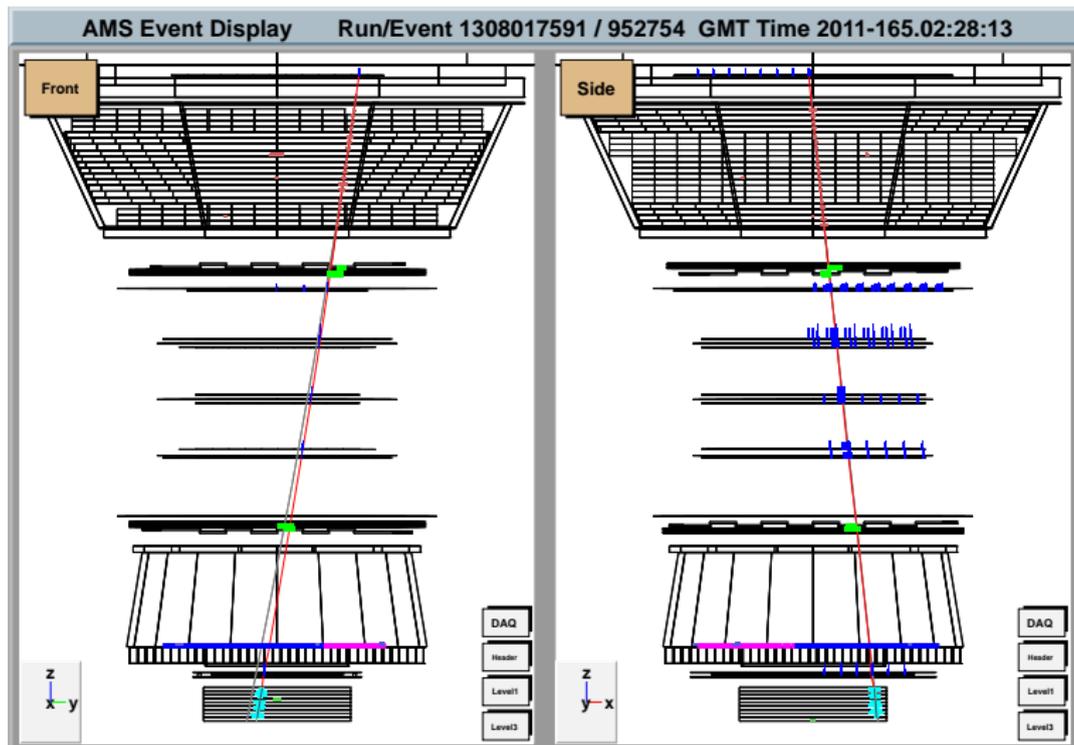
Datenverarbeitung

○

Erwartungen

○○○○○

Detektion von Protonen



Particle TrToFTrdTrdHEcal No 0 Id=14 p= 1.97: 0.15 M= 1.03± 0.21 θ =2.98 ϕ =5.33 Q= 1 β = 0.886± 0.035/ 0.89 Coo=(-1.80,36.67,159.05) LiveTime 0.77

Ziele

○○○○

Geschichte

○○○

Aufbau

○○○○○○○○○○○○○○

Detektion

○○●○

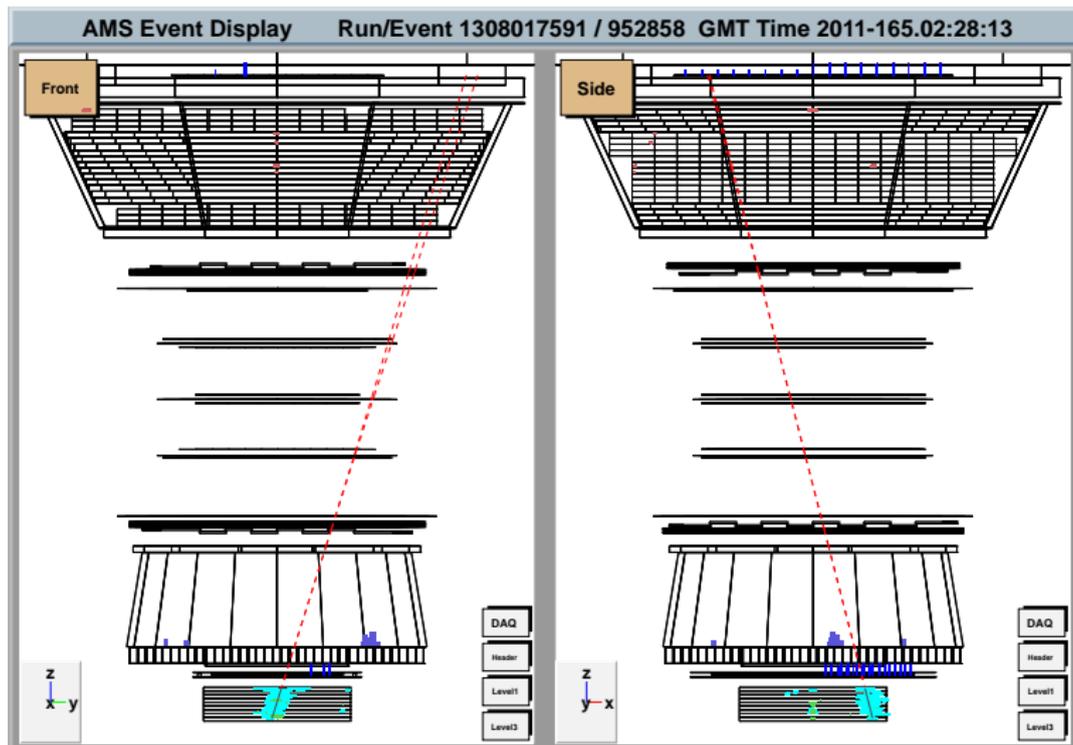
Datenverarbeitung

○

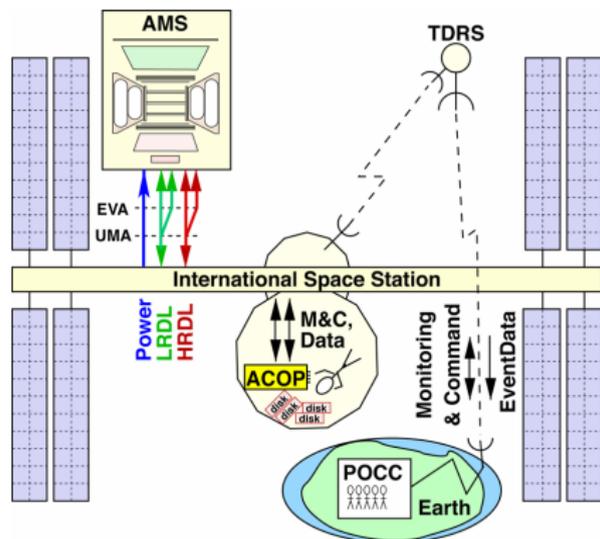
Erwartungen

○○○○○

Detektion von Photonen

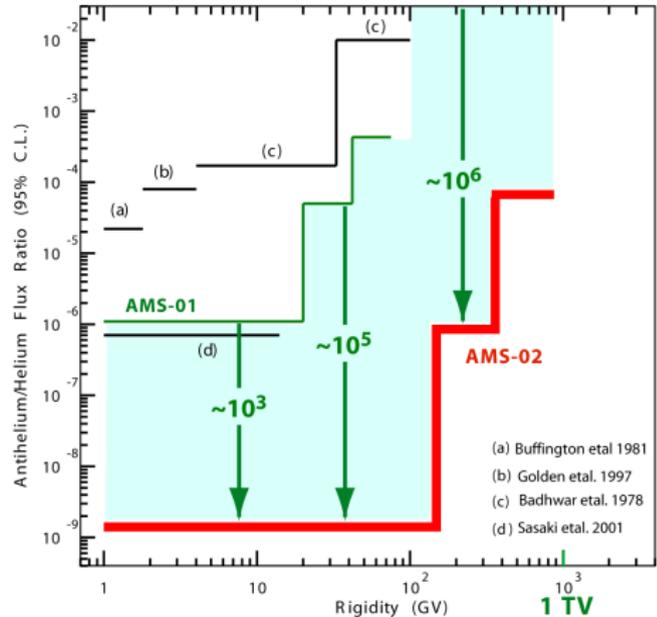


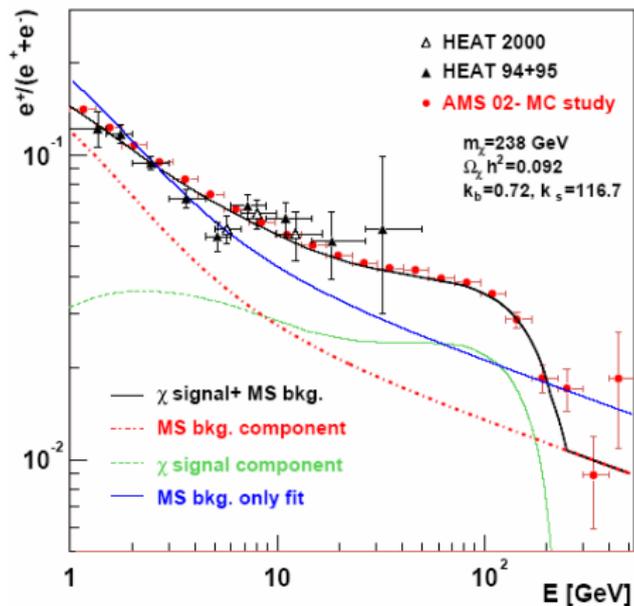
- Bis zu 2000 Events pro Sekunde
- 1 Event: 3,7 kBit
- Rohdatenrate: ~ 7 GBit/s
- Nach Aufbereitung: 2 MBit/s
- Speichern auf Festplatten in der ISS
- Über Satelliten zur Erde übertragen
- Per Internet weiter verteilt



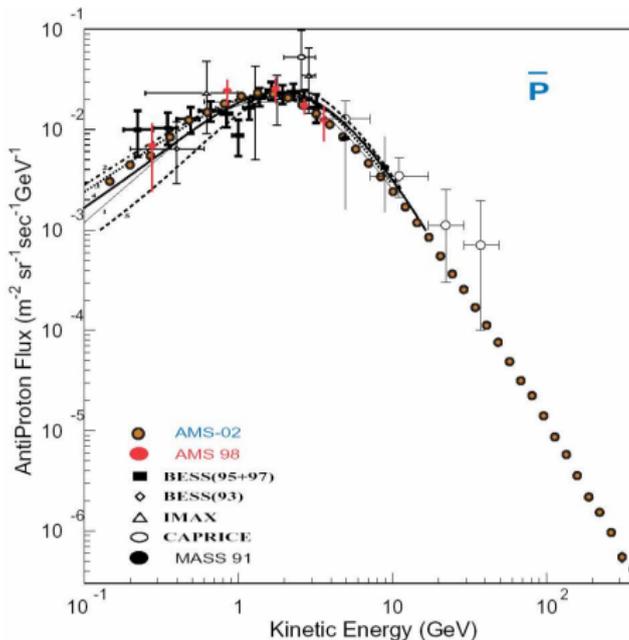
- Antimaterie
- Dunkler Materie
- Strangelets
- Spektrum der kosmischen Strahlung

- Antihelium : Helium $< 10^{-9}$
- Antihelium- oder Anti-Kohlenstoff-Atom als Nachweis für Antimaterie-Galaxien

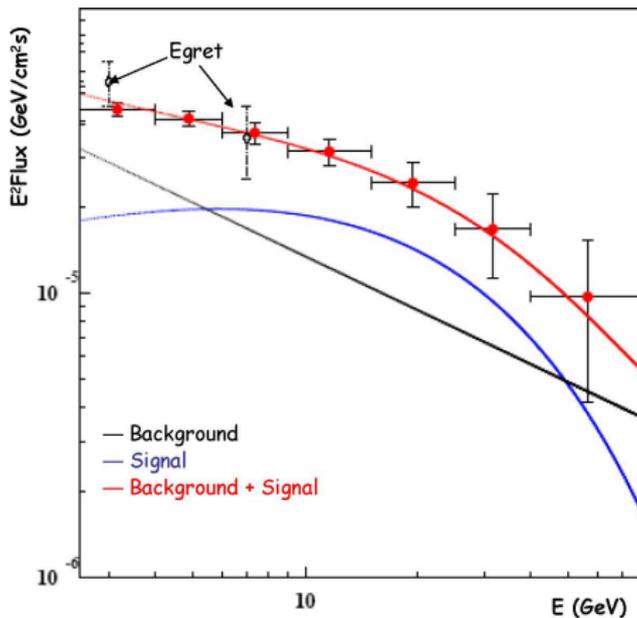




Positronenspektrum



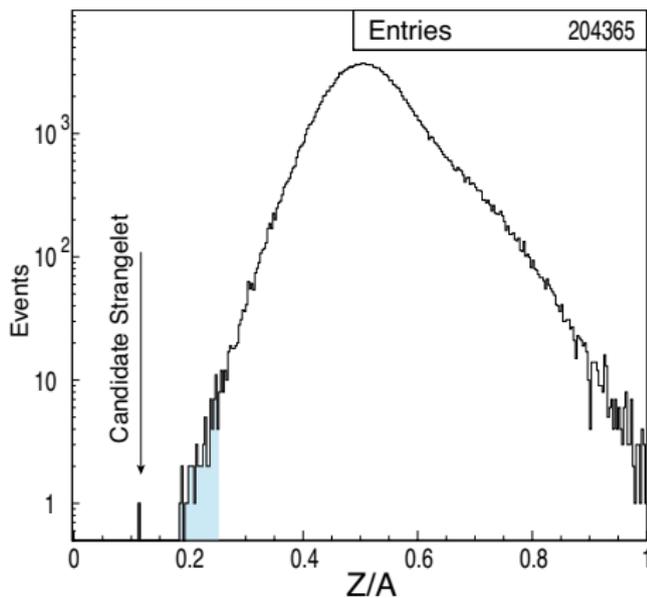
Antiprotonenspektrum

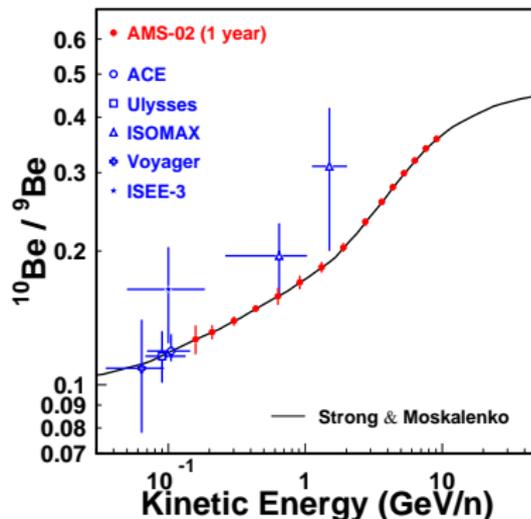
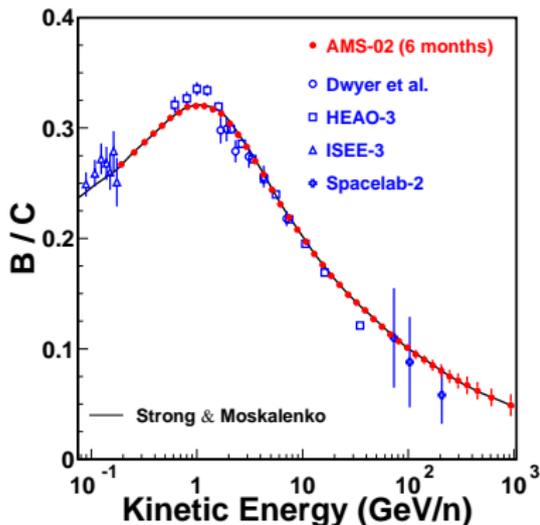


Gamma-Spektrum

Kandidat von AMS-01:

- Ladung $Z = 2$
- Masse
 $M = 16,45 \pm 0,15 \text{ GeV}/c^2$
- $Z/A = 0,114 \pm 0,01$





Bor/Kohlenstoff-Verhältnis und Beryllium-10/Beryllium-9-Verhältnis

- Messung des Spektrums der kosmischen Strahlung
- Bisher unerreichte Genauigkeit
- Suche nach Dunkler Materie in Positron-, Antiproton- und Gamma-Spektren

Samuel Ting:

„The most exciting objective of AMS is to probe the unknown; To search for phenomena which exist in nature that we have not yet imagined nor had the tools to discover.“

- **Bilder auf Folien 1, 2, 6 oben, 15, 16, 18, 19, 21, 22, 23 oben und unten, 24 und 25:**
Roberto Battiston, Alberto Oliva. AMS-02. <http://www.ams02.org>
- **Bilder auf Folien 5, 6 unten, 8 und 13:**
Melanie Heil. Tests mit dem Übergangsstrahlungsdetektor des AMS Projekts.
<http://www-ekp.physik.uni-karlsruhe.de/pub/web/thesis/iekp-ka2010-15.pdf>
- **Bild auf Folie 7:**
Roberto Battiston. Cosmic Ray Astrophysics with AMS-02.
<http://ams.cern.ch/AMS/Talks/AMSConferences2007.html>
- **Bilder auf Folien 9 und 10:**
<http://www.facebook.com/AMS02>
- **Bilder auf Folien 12 und 17:**
<http://ams.cern.ch>
- **Bild auf Folie 14:**
1. Physikalisches Institut der RWTH Aachen. <http://accms04.physik.rwth-aachen.de/~ams/ams02/trd.html>
- **Bild auf Folie 20:**
Arpad Horvath. <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cherenkov.svg>
- **Bild auf Folie 27:**
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
- **Bilder auf Folien 30, 32 und 36 oben und unten:**
AMS Collaboration. AMS on ISS: Construction of a particle physics detector on the International Space Station.
<http://ams.cern.ch/AMS/AMS.pdf>
- **Bilder auf Folien 33 34 und 35:**
S. di Falco. Indirect dark matter search with AMS-02. <http://arXiv.org/abs/astro-ph/0607100v1>