

AMS

- *Alpha Magnetic Spectrometer* -

09.07.2010

Felix Reidt & Moritz Weil





Agenda

- Theorie und physikalische Grundlagen
- AMS-01: Flug mit der Discovery
- AMS-02: Messung an der ISS
- Fazit und Ausblick

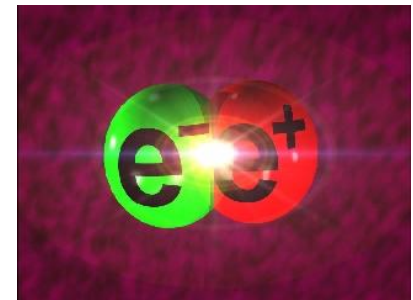


Antimaterie

- Dirac verband die Spezielle Relativitätstheorie mit der Quantenmechanik in der sog. Dirac-Gleichung:

$$(i\gamma^\mu \partial_\mu - m)\psi = 0$$

- *Problem:* Die Gleichung hat **zwei äquivalente Lösungen** unterschiedlichen Vorzeichens
 - Teilchen und Antiteilchen
 - Ladungskonjugation

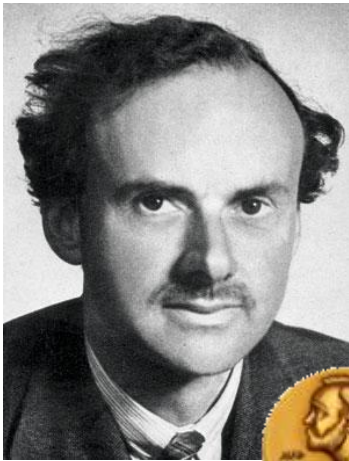


Quelle: www.weekendhobby.com (Juni 2010)



Theorie und Experiment

1928



Paul Dirac

1932



*Carl David
Anderson*

1956



*Emilio
Segrè*



*Owen
Chamberlain*

Theoretische Vorhersage
der Antimaterie

Experimentelle Entdeckung
des Positrons

Experimentelle Entdeckung
des Antiproton



Antimaterie-Nachweis

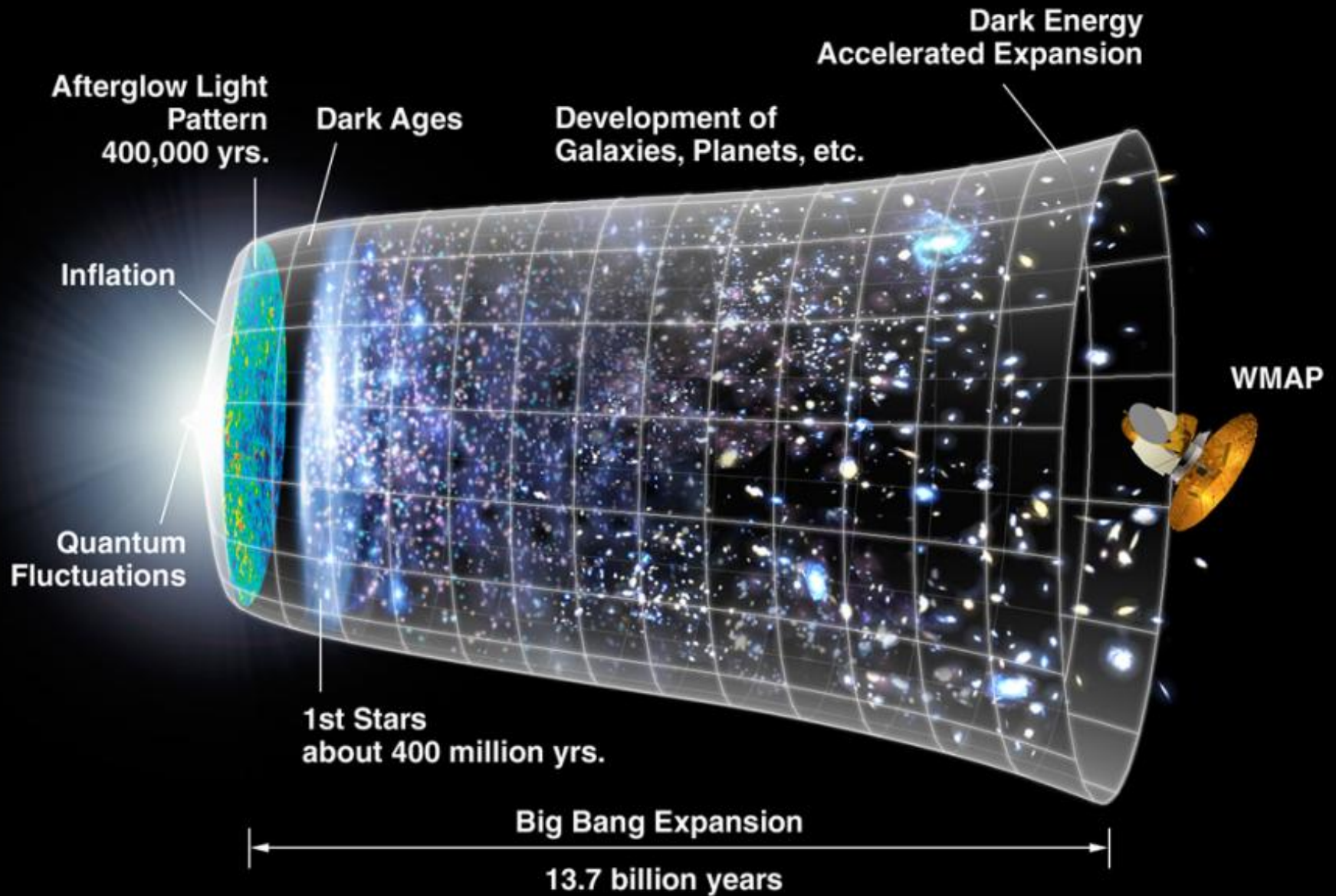
- *Indirekt:* Annihilationsstrahlung

$$\bar{p}p \rightarrow n\pi^0 + m(\pi^+\pi^-), \pi^0 \rightarrow 2\gamma \quad E_\gamma \approx 65\text{MeV}$$

$$e^+e^- \rightarrow 2\gamma \text{ (} 3\gamma \text{)} \quad E_\gamma \approx 0.5\text{MeV}$$

- *Direkte* Suche nach Antiteilchen:

- Spurkammern
- Detektoren



Quelle: www.der-kosmos.de (Juni 2010)



Die Baryogenese

- Drei notwendigen Kriterien nach Sacharow:

- 1) Verletzung der **Baryonenzahlerhaltung**
- 2) Thermodynamisches **Nichtgleichgewicht**
- 3) Verletzung der **C- und CP-Erhaltung**



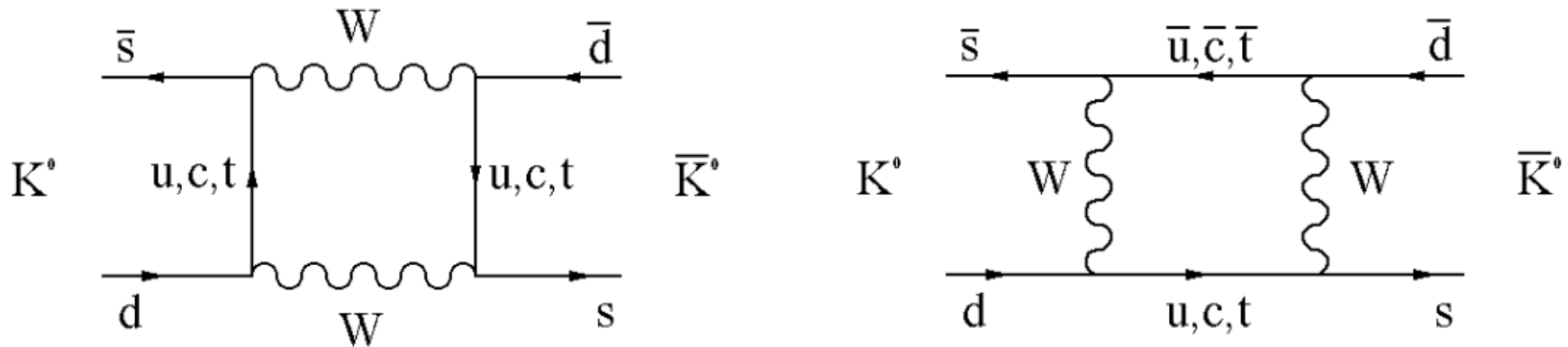
*Andrei
Sacharow*

Quelle: www.wikipedia.org (Juni 2010)



CP-Verletzung

Die Kaon – Oszillation



- Mischung beschreibbar durch Matrix mit Eigenwerten K_1, K_2
 - K_1 zerfällt mit $CP = 1$
 - K_2 zerfällt mit $CP = -1$
- } Indirekte CP-Verletzung



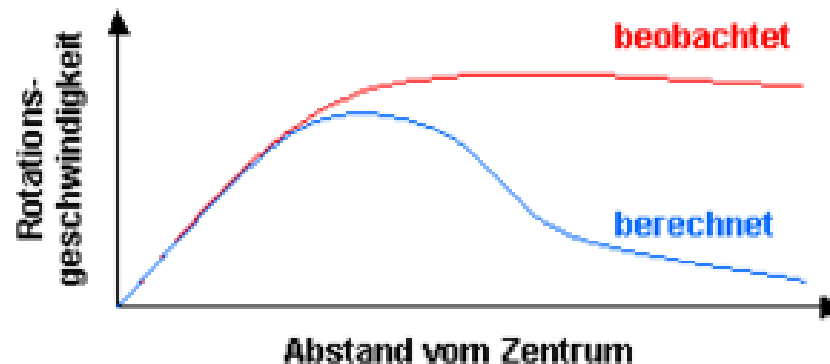
Auf einen Blick

- Beobachtung: starke Baryonenasymmetrie
- kurz nach Urknall jedoch noch symmetrische Situation
 - dominante starke Wechselwirkung C-invariant
- Zerfälle mit CP-Verletzung möglicherweise Ursache für kleine Asymmetrie, die jetzt Materie im Universum ausmacht
- restliche Materie-Antimaterie zerstrahlt
 - konsistent mit Beobachtung, dass es ca. 10^9 Photonen pro Baryon gibt
- *Suche nach höherwertigen Atomen*



Dunkle Materie

- Viele astronomische Beobachtungen sind nicht rein durch die sichtbare Masse (Materie+Antimaterie) erklärbar
- Folglich müssen *massereiche, nichtstrahlende Regionen* existieren, die gravitativ wirken (Dunkle Materie)



Quelle: www.wikipedia.org (Juni 2010)



Dunkle Materie

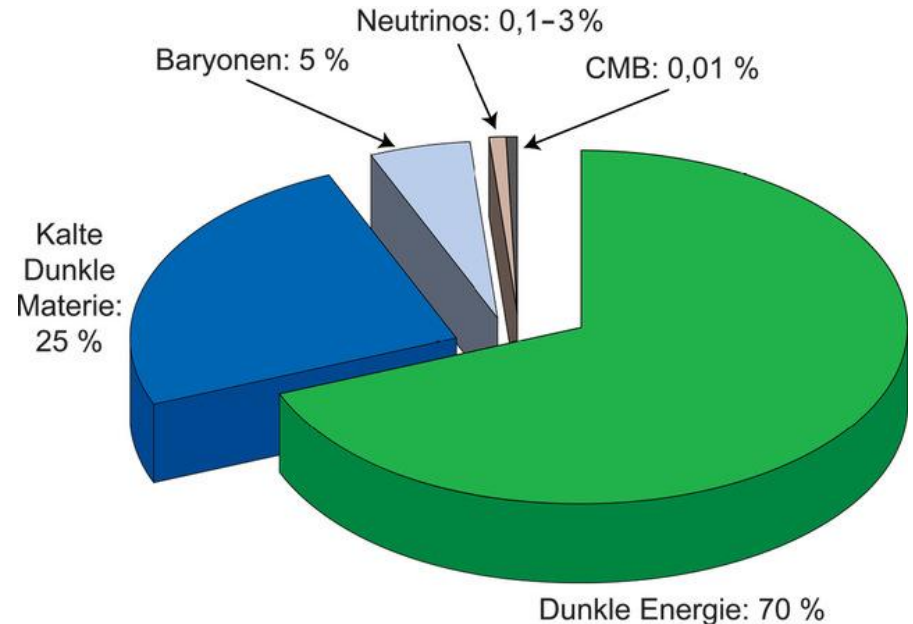
■ Mögliche Kandidaten:

➤ HDM: Neutrinos

➤ CDM: Weakly Interacting Massive Particles (**WIMPs**)

➤ Axionen

➤ ...



Quelle: www.weltdrphysik.de (Juni 2010)



Auf einen Blick

- Beobachtung: Geschwindigkeiten äußerer Sterne in Spiralgalaxien nicht mit vorhandener Materie erklärbar
- Es ist Dunkle Materie notwendig, die nur gravitativ mit der sichtbaren Materie wechselwirkt
- Konsistent mit einer Vielzahl weiterer Beobachtungen
- *Suche nach Dunkler Materie in der kosmischen Strahlung*



Forschungsziele

- 0) Die Messungen sind möglich
- 1) Die Untersuchung der Zusammensetzung und Energieverteilung der kosmischen Strahlung
- 2) Die Suche nach Kandidaten für die dunkle Materie
- 3) **Die Suche nach kosmischer Antimaterie im Weltraum**



AMS-01





Outer Space

- Vibrationen (Start/Landung, Flug, Andocken)
- Temperatur
- Vakuum
- Strahlung



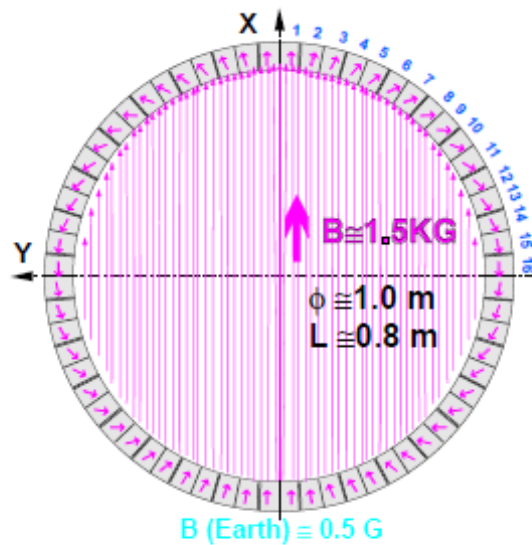
Aufbau





Der Magnet

- Permanentmagnet mit einem homogenen Magnetfeld von $0,15 \text{ Tm}^2$

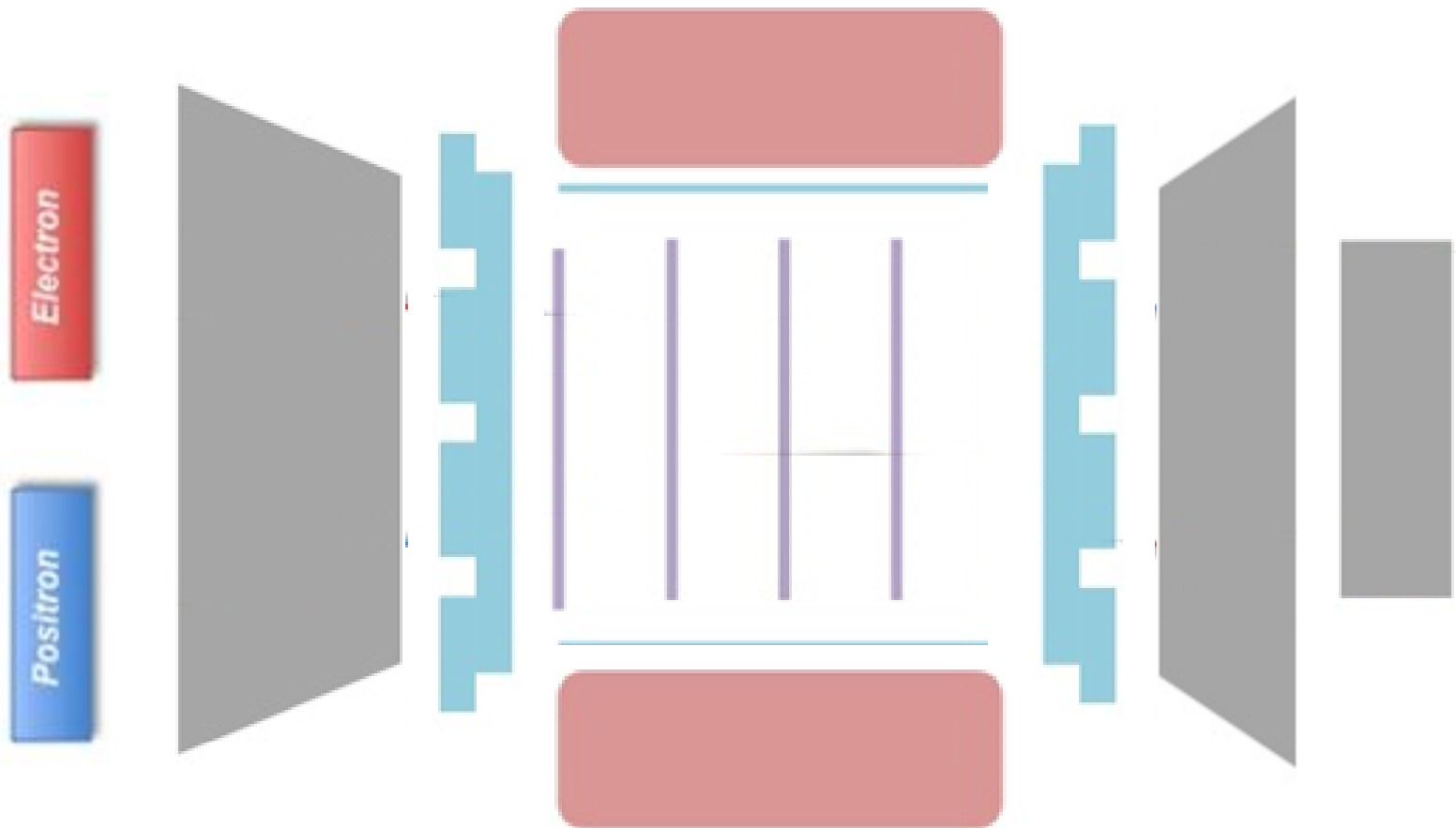


External Magnetic Dipole Moment = 0

- Verschwindend kleines äußeres Dipolmoment
 - Sonst Ausrichtung im Erdmagnetfeld!
 - Störung der empfindlichen Elektronik

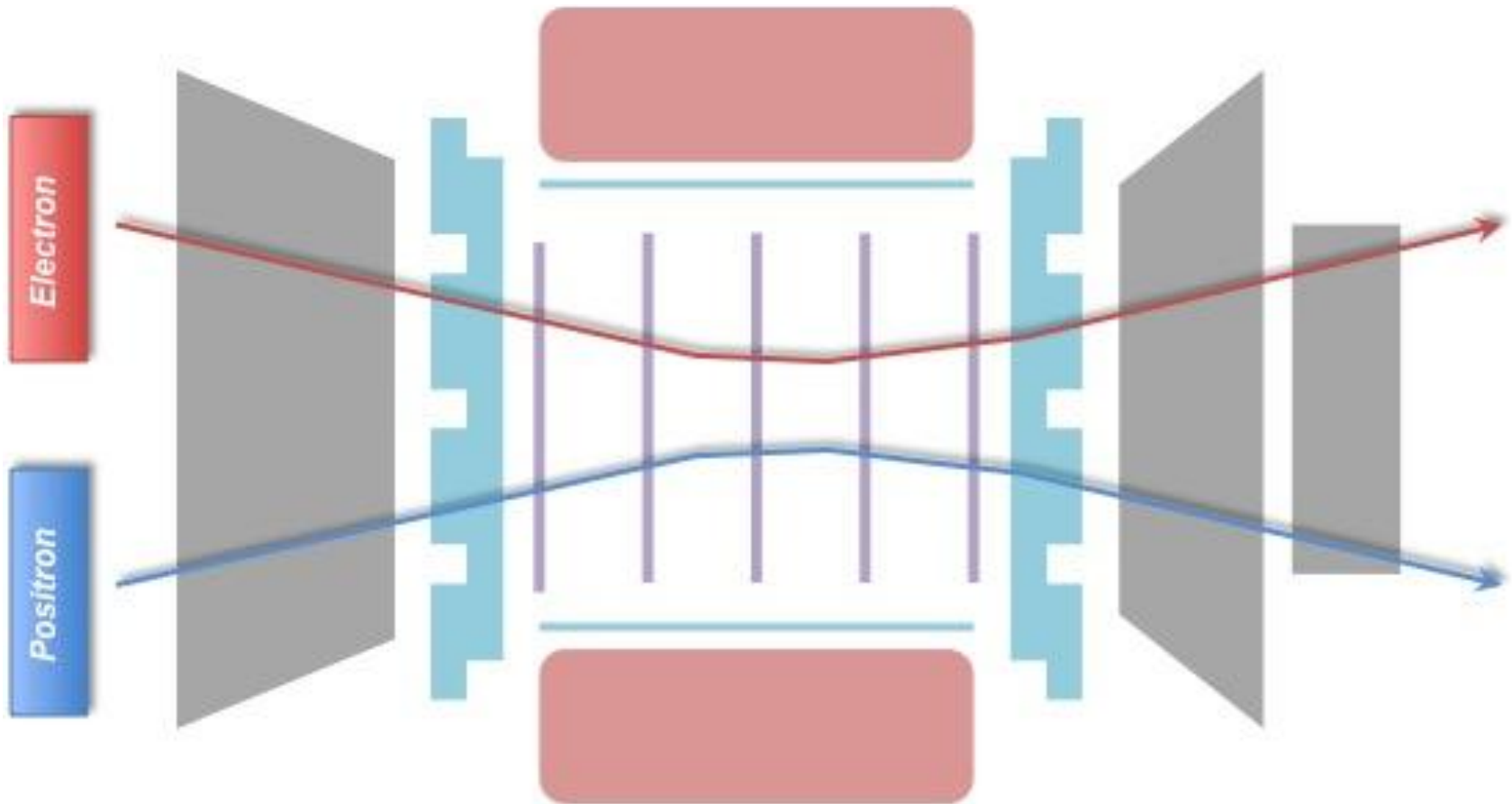


Aufbau





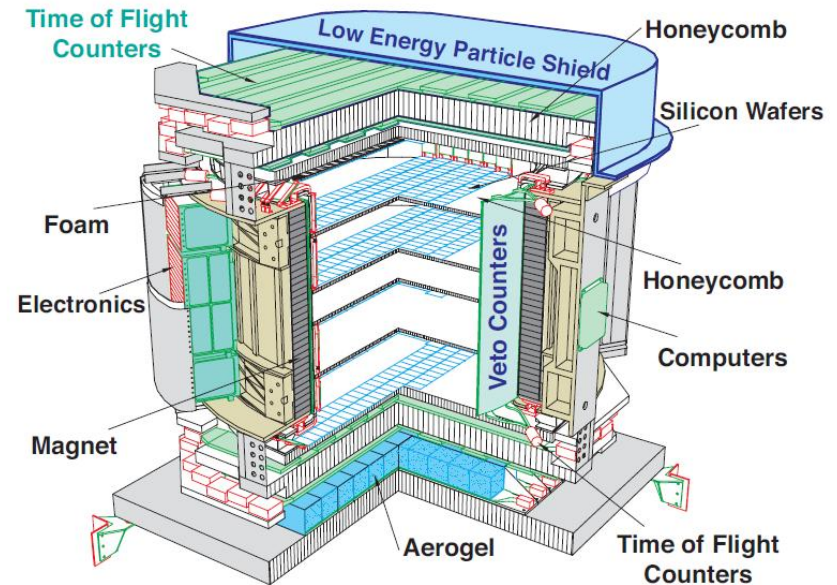
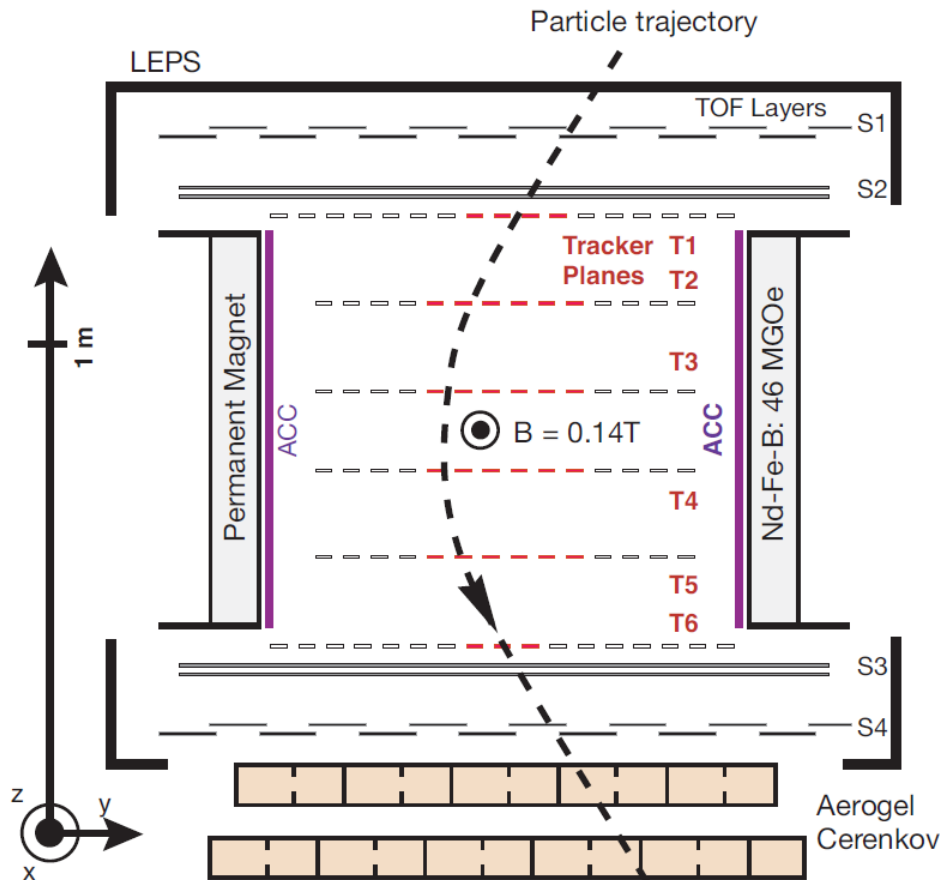
Trajektorien



Quelle: www.ams02.org (Juni 2010)



AMS-01



Quelle: AMS on ISS, The AMS Collaboration



Antimaterie Messung

Messung der:

- Teilchen-Rigidität (Tracker)
 - Mind. vier verschiedene Hits

- Teilchen-Geschwindigkeit, Richtung

- Teilchen-Ladung
 - Energieverluste im TOF-Counter und der Tracker-Planes

R

β

$|Z|$

- Ladung Z

- Masse m



Antimaterie Messung

Berechnung:

- Ladung Z :
 - Aus der absoluten Ladung $|Z|$
und der Krümmungsrichtung im Magnetfeld
- Masse m :
 - Aus der Rigidität $R = p/Z \cdot e$ ergibt sich der Impuls, mit β daraus die Masse



Mission STS-91

- Start am 2. Juni 1998 vom *Kennedy Space Center* in Florida
- 3 Messabschnitte
 - 25 h: 45° zum Zenit
 - 4 Tage angedockt an der MIR
 - Freier Flug mit 0°, 20°, 45°, 180°
- Rückkehr am 12. Juni 1998



Quelle: Dissertation RWTH Aachen, Vandenhirtz



Quelle: <http://wwwae.ciemat.es> (Juni 2010)



Bilanz

- **9** Tage im Orbit,
- **154** Erdumrundungen,
- **3 Millionen** erkannte Heliumatomkerne,
- **Ca. 100 Millionen** Ereignisse
 - Geladene Teilchen der kosmischen Höhenstrahlung

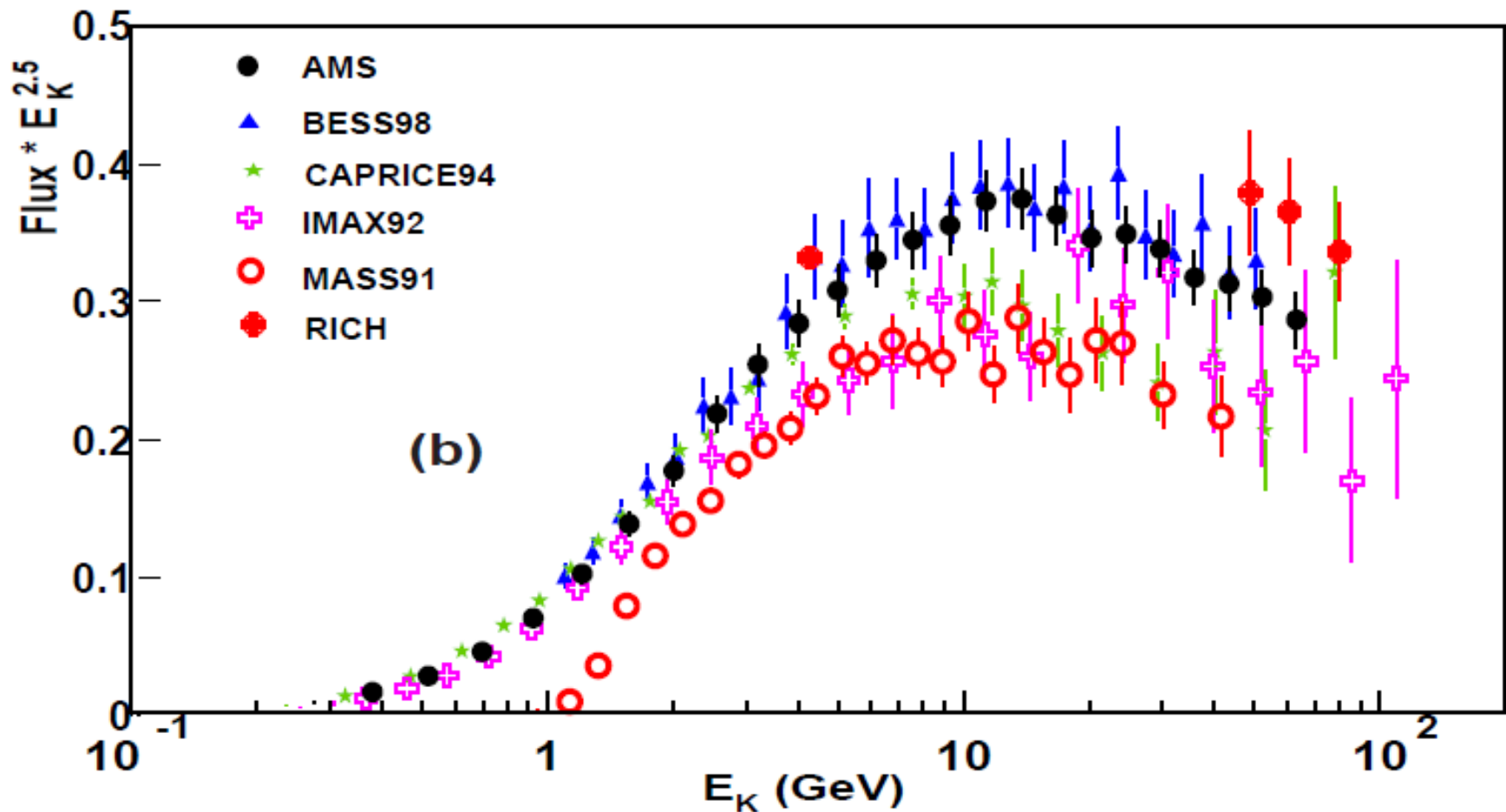
AMS-01

Ergebnisse





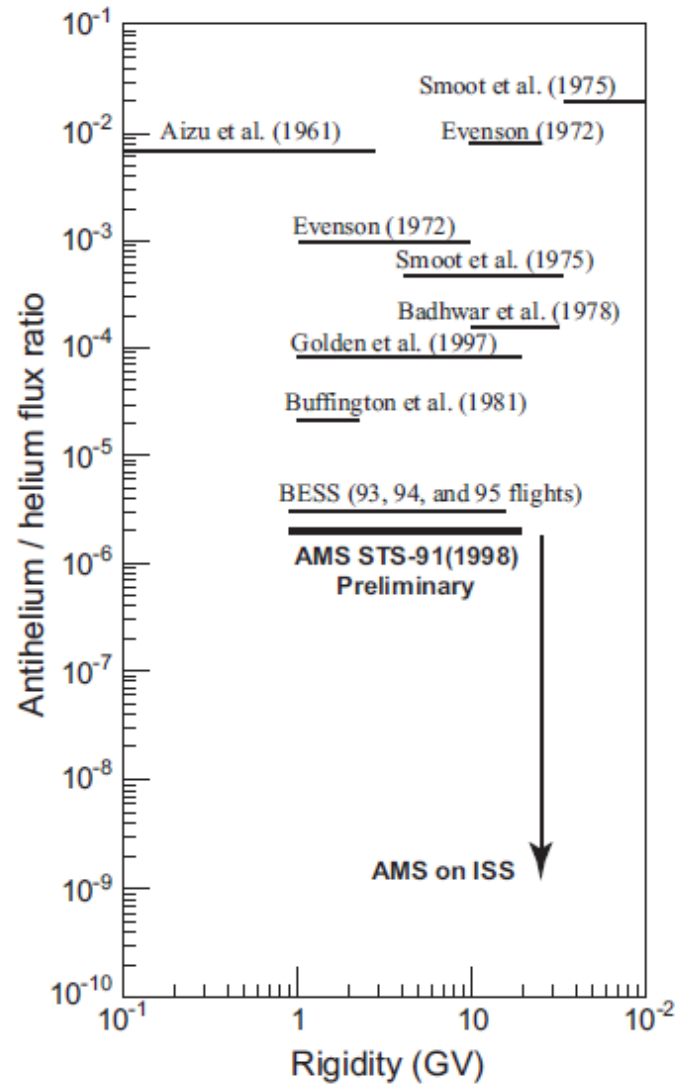
Vergleich mit vorherigen Messungen



Quelle: R. Battiston, Recent Results from the AMS on the STS-91



Antihelium?



Quelle: R. Battiston, Recent Results from the AMS on the STS-91



Ergebnisse

- Zum ersten Mal systematische Untersuchung von kosmischer Strahlung erster Ordnung (0.1 – 200 GeV)
- Anti-Helium Abschätzung verbessert
- Messaufbau ist funktionstüchtig und kann ausgebaut werden...



AMS-02



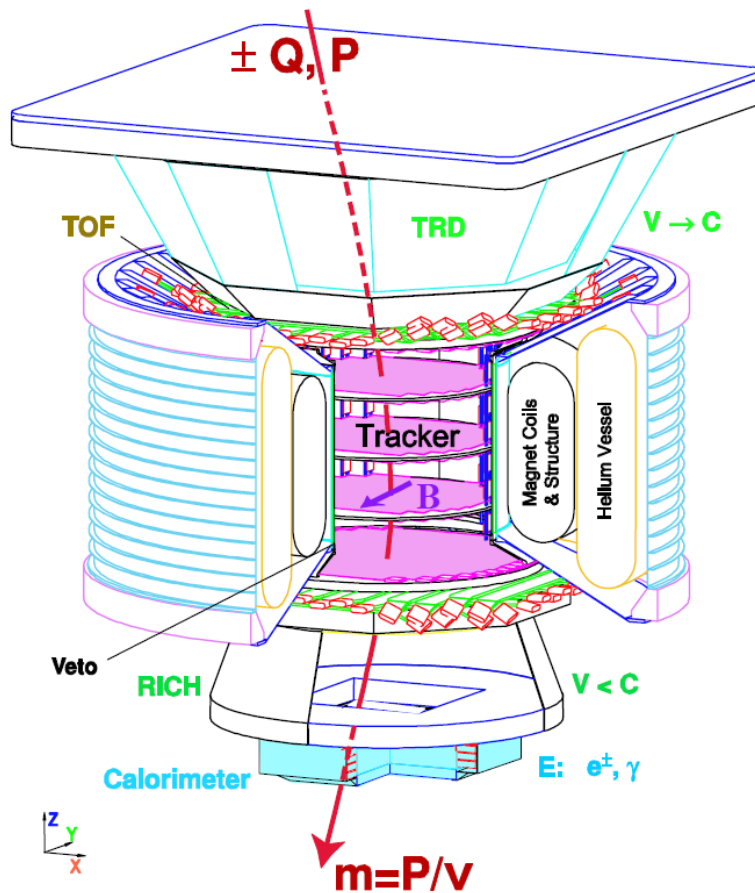


Forschungsziele

- Senkung von $\text{Anti-He}/\text{He} < 10^{-9}$ (10^{-6} 95% CL wurde in AMS-01 erreicht) über einen weiten Rigiditäts-Bereich ($R = p/Z \cdot e = E/Z \cdot e$)
- Entdeckung von Antimaterie mit $Z \geq 6$ (Anti-C) als Beweis für die Existenz von aus Antimaterie aufgebauten Sternen
- Nachweis von Dunkler Materie über den Fluss von Antiprotonen und/oder Positronen die durch den Zerfall von Weakly Interacting Massive Particle (WIMP) entstehen



Detektorüberblick



Quelle: AMS on ISS, The AMS Collaboration

bereits in AMS-01

- Tracker (Spurdetektor)
- Time-of-Flight (Flugzeit-Detektor)
- ACC (Antikoinzidenz-Zähler)

zusätzlich in AMS-02

- Supraleitender Magnet?
- TRD (Übergangsstrahlungs-Detektor)
- RICH (Cherenkov-Detektor)
- ECAL (Kalorimeter)



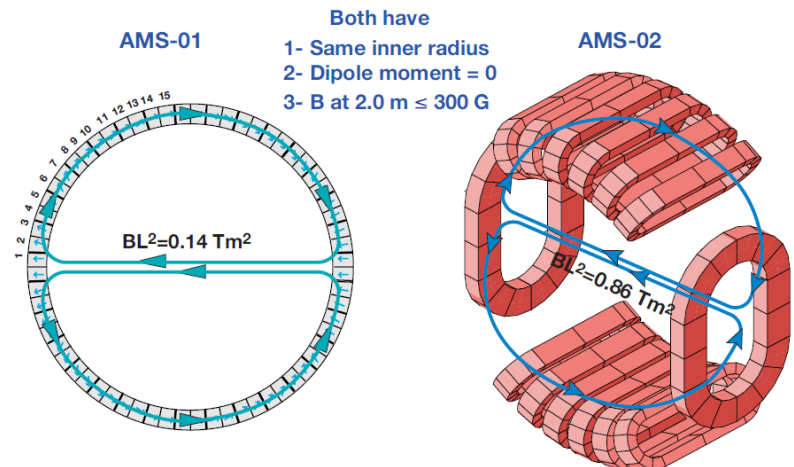
Vergleich der Magneten

Permantmagnet (PM)

- Feld stabil während des letzten Jahrzehnts: Übereinstimmung innerhalb der 1% Messgenauigkeit des Messinstruments innerhalb der letzten 13 Jahre
- geringeres Feld
- Höhere Messzeit
➡ höhere Statistik
- geringere geometrische Akzeptanz

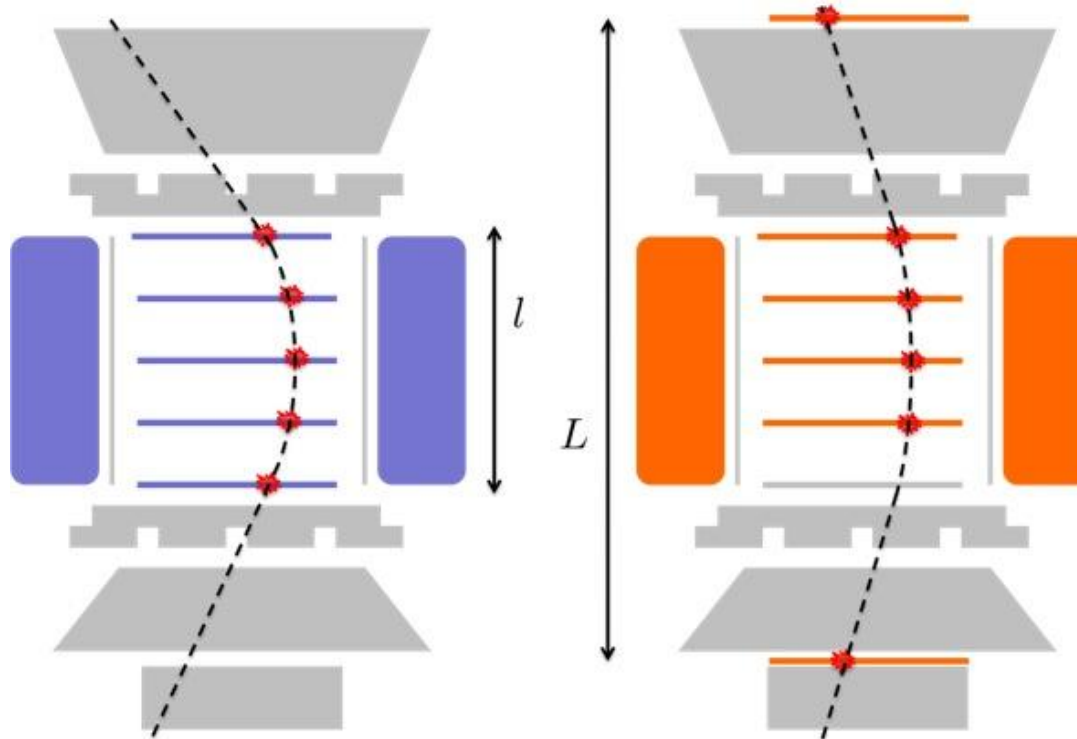
Supraleitender Magnet (SCM)

- höheres Feld
- Begrenzte Laufzeit durch Verdampfen des flüssigen Heliums (etwa 1,5 Jahre)
- ➡ geringere Statistik



Quelle: AMS on ISS, The AMS Collaboration

Vergleich der Magneten



Superconducting Magnet Scenario

$$\frac{\Delta R}{R} \propto \frac{1}{B_{\text{scm}} l^2}$$

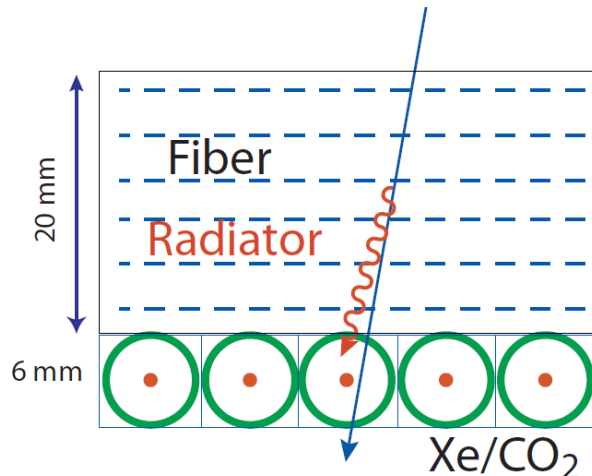
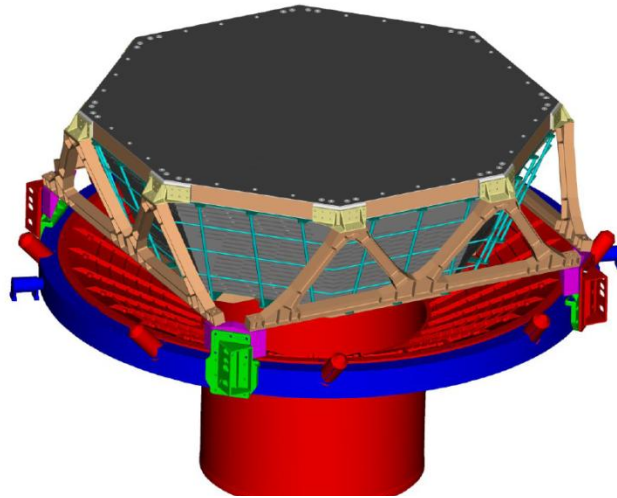
Permanent Magnet Scenario

$$\frac{\Delta R}{R} \propto \frac{1}{B_{\text{pm}} l L}$$

Quelle: www.ams02.org (Juni 2010)

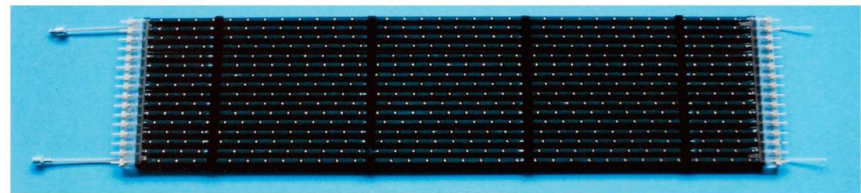


Übergangsstrahlungs-Detektor (TRD)



Quelle: AMS on ISS, The AMS Collaboration

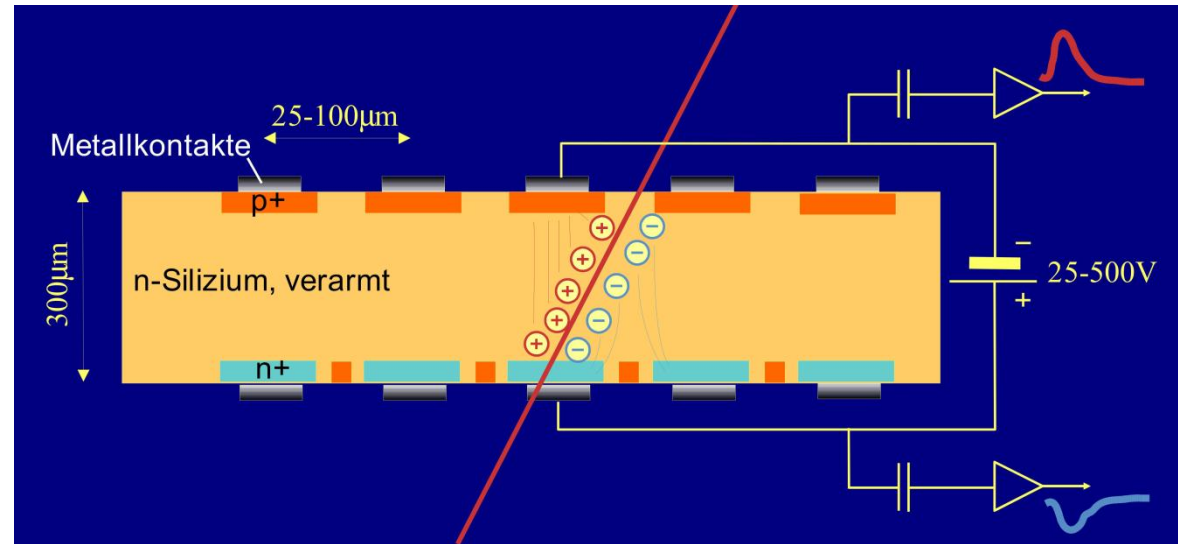
- Radiator:
Polypropylen / Polyethylen
10 μm Faservlies
- Strohalm-Aufbau (straw tubes)
- Gas:
 XeCO_2 (80%, 20%)
- Höchste Ansprüche an die Dichtigkeit



Quelle: Diplomarbeit RWTH Aachen, Bruch

Spurdetektor (Tracker)

- 6 Lagen
- Doppelseitige Silizium-Mikrostreifen-Detektor
- Streifenabstand: 110 μm (n-Seite)/ 208 μm (p-Seite)
- 300 μm dicke Detektoren
- Ortsauflösung < 30 μm



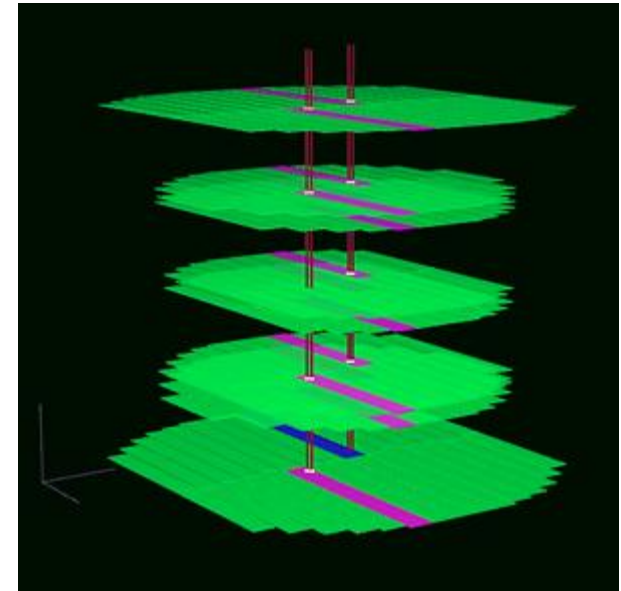
Quelle: Vl.: Detektoren für die Teilchenphysik, Benno List

- Geringe Betriebsspannung
- Spezielle Anordnung
- CO₂ Kühlsystem



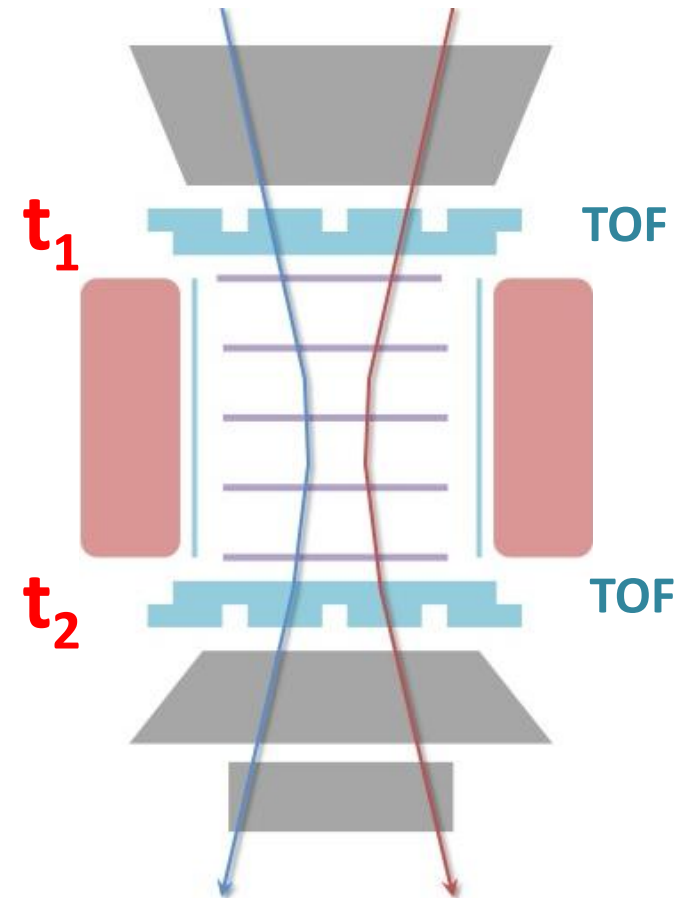
Tracker Alignment System (TAS)

- benötigt um Ortsauflösung sicher zu stellen:
 - Große Temperaturschwankungen im Orbit
 - Starke Vibrationen beim Start des Shuttles
 - Redundantes System zum Alignment mit kosmischer Strahlung
- Infrarot-Laser die die inneren Ebenen des Trackers durchdringen
- Wellenlänge knapp oberhalb der Bandlücke des Siliziums
- Positionsbestimmung $3\mu\text{m}$ genau



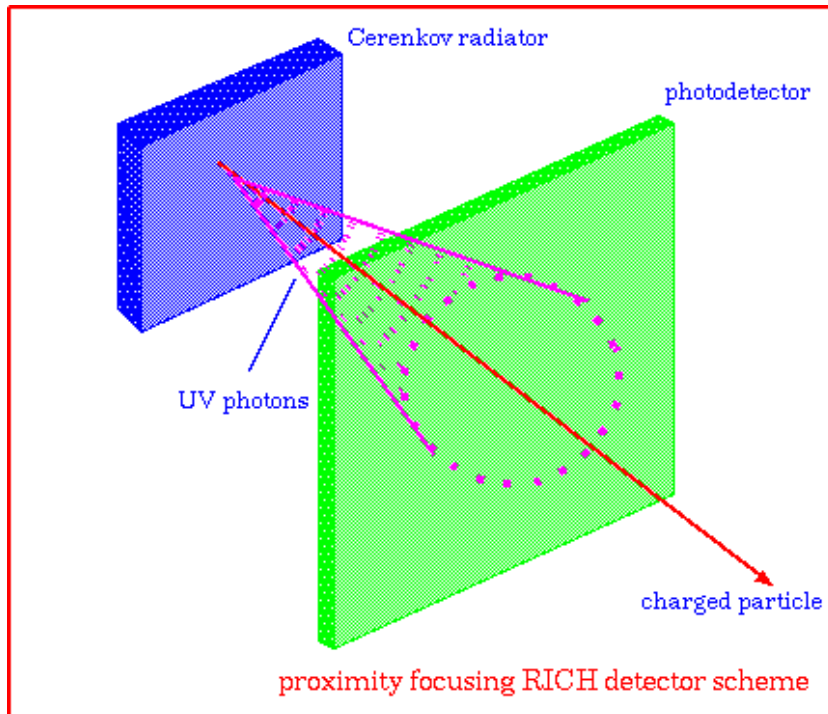
Flugzeitdetektor (TOF)

- Stellt schnelles Triggersignal für geladene Teilchen und Photonen zur Verfügung
- Aufgebaut aus Szintillatoren und PMTs
- Zeitauflösung von 120ps
- Erkennung der Bewegungsrichtung mit einer Sicherheit von 10^9

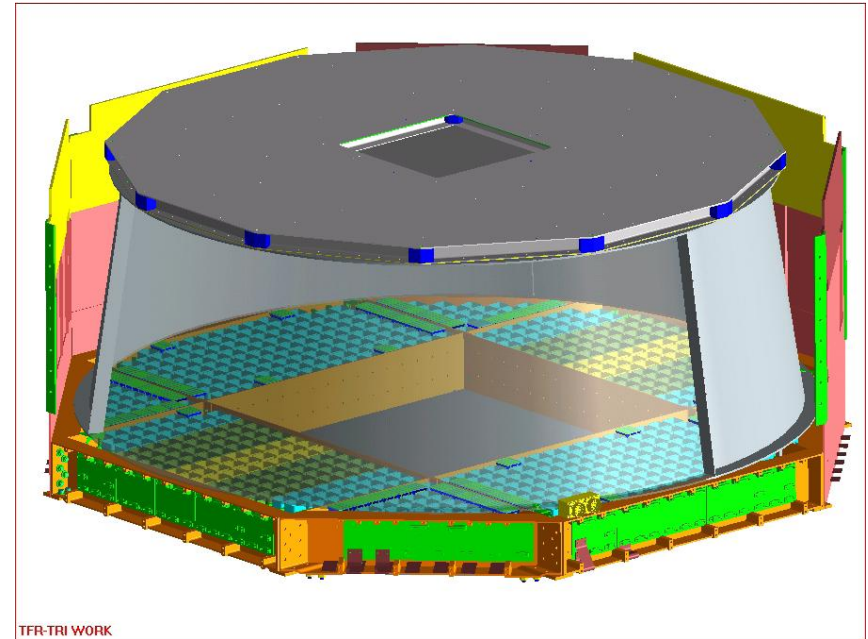


Quelle: www.ams02.org (Juni 2010)

Cherenkov- Detektor (RICH)



Quelle: <http://alice-hmpid.web.cern.ch/>



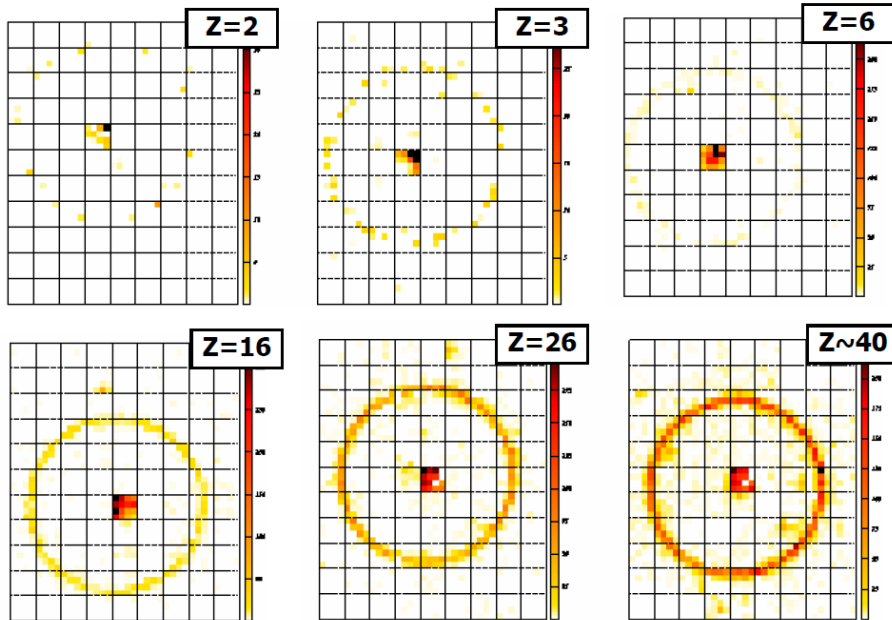
Quelle: AMS on ISS, The AMS Collaboration

$$\cos \theta = 1 / \beta n(\omega)$$

$$m = (p / \beta) \sqrt{1 - \beta^2}$$

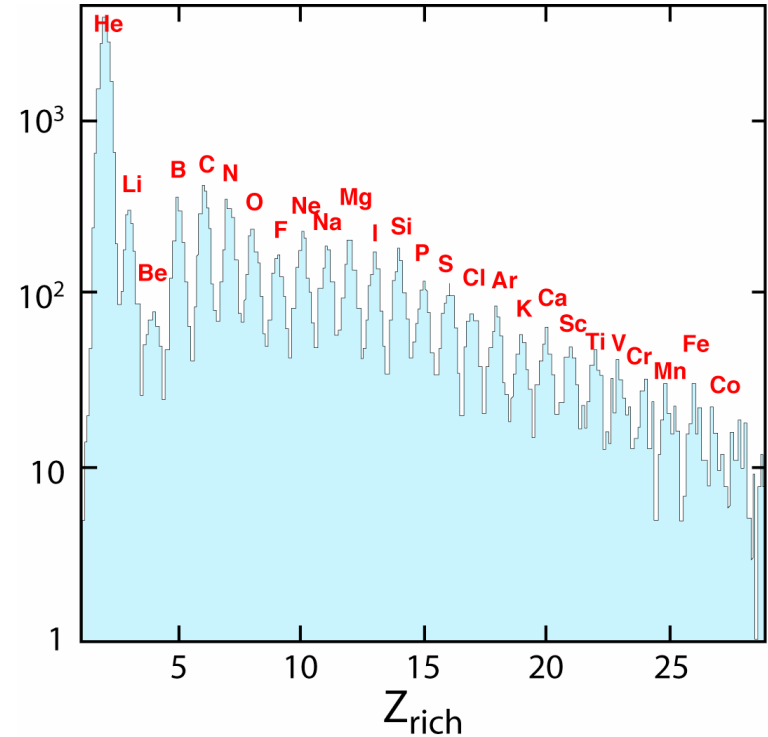


Cherenkov- Detektor (RICH)



Quelle: AMS on ISS, The AMS Collaboration

$$\frac{d^2 N}{dE dx} = \frac{z^2 \alpha}{\hbar c} \sin^2 \theta_C$$

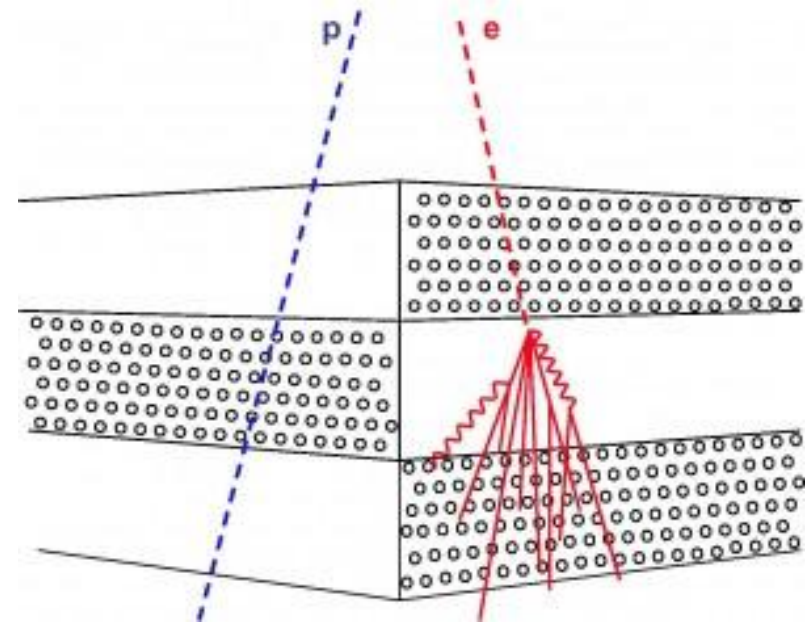


Quelle: AMS on ISS, The AMS Collaboration



Elektromagnetische Kalorimeter (ECal)

- Samplingkalorimeter aus Blei durchzogen mit Szintillatorfibern
- fein granular (18 Lagen)
- liefert Trigger-Signal
- detektiert Elektronen, Positronen und Gamma-Strahlen mit einer Energie bis zu 2 TeV



Quelle: www.ams02.org (Juni 2010)



Star Tracker und GPS

Star Tracker

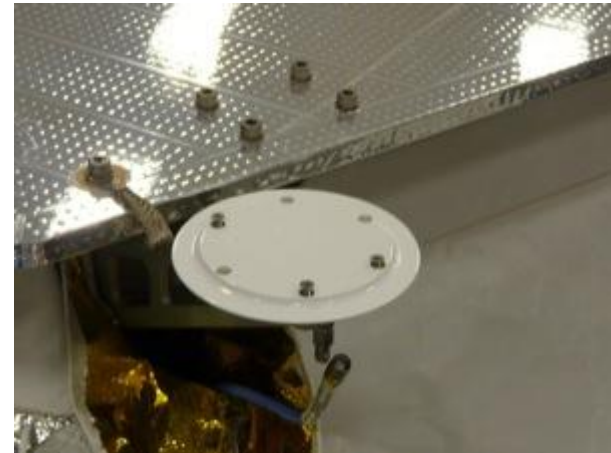
- 2 CCD Kameras
- Messen die Orientierung des Experiments am Sternenhimmel



Quelle: www.ams02.org (Juni 2010)

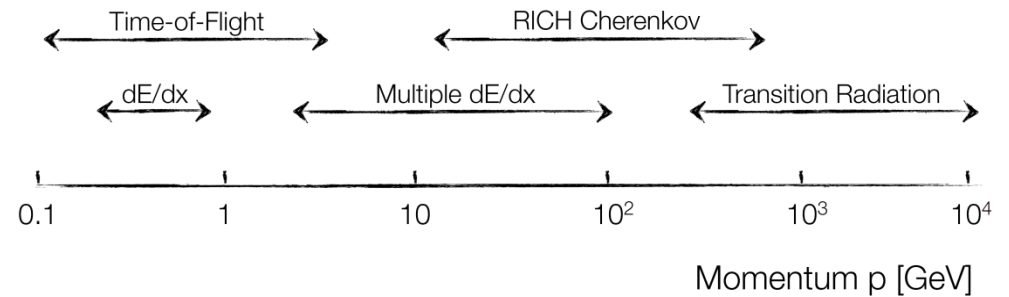
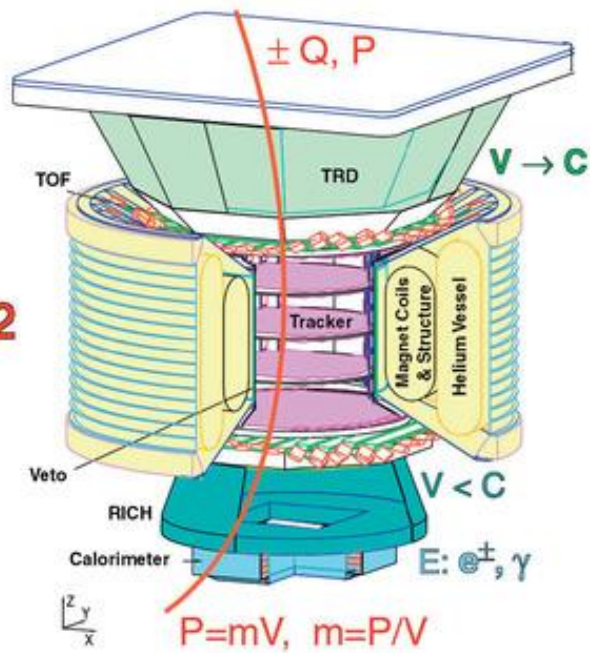
GPS

- Zeitbestimmung für den Timestamp in μ s-Genauigkeit



Quelle: www.ams02.org (Juni 2010)

AMS-02



Quelle: Lecture Notes – The Physics of Particle Detectors, H. C. Schultz-Coulon

Teilchen- identifikation (PID)

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

Quelle: Diplomarbeit RWTH Aachen, Bruch

AMS-02

Simulierte Ergebnisse





Grenzwerte für den Antihelium/Helium-Fluss

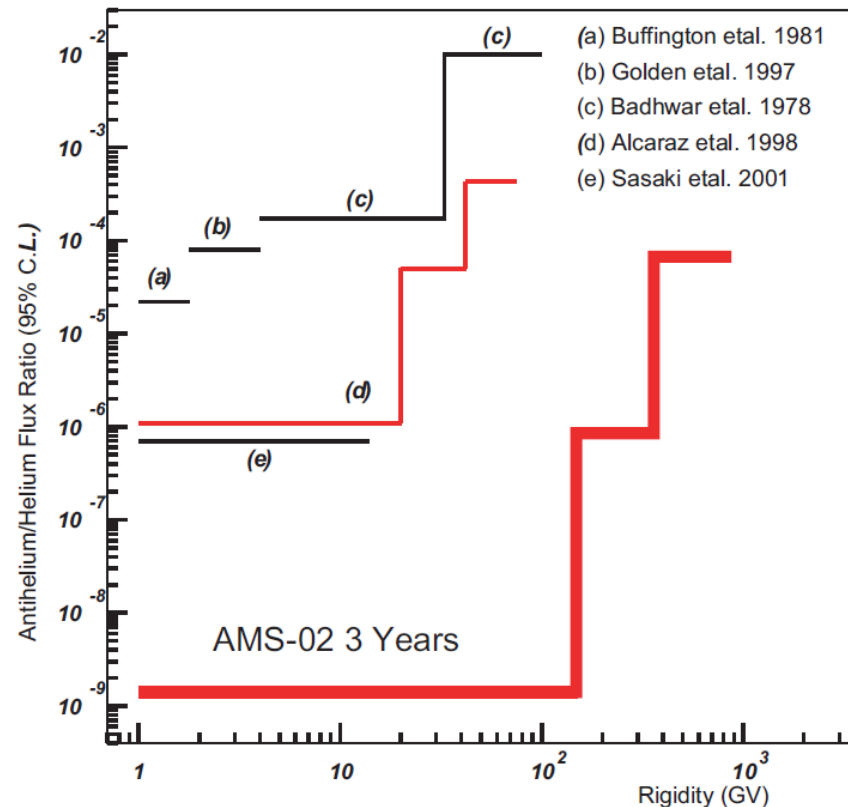


Figure 2.216: Projected AMS-02 limits on the $\bar{\text{He}}/\text{He}$ flux ratio compared to previous measurements [4] including AMS-01 (d).

Quelle: AMS on ISS, The AMS Collaboration



Antiprotonen-Fluss

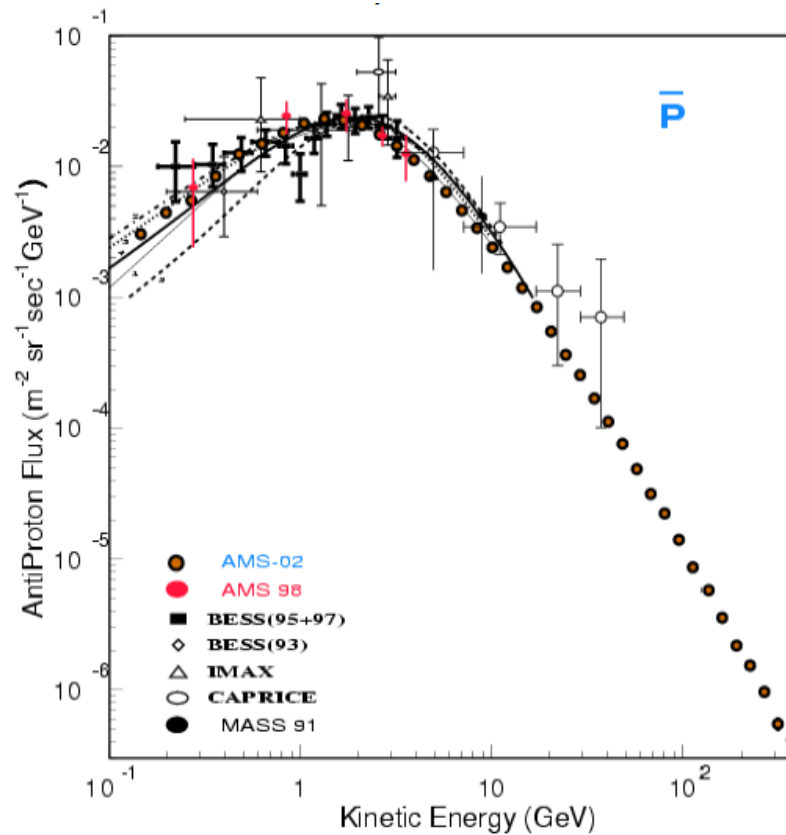
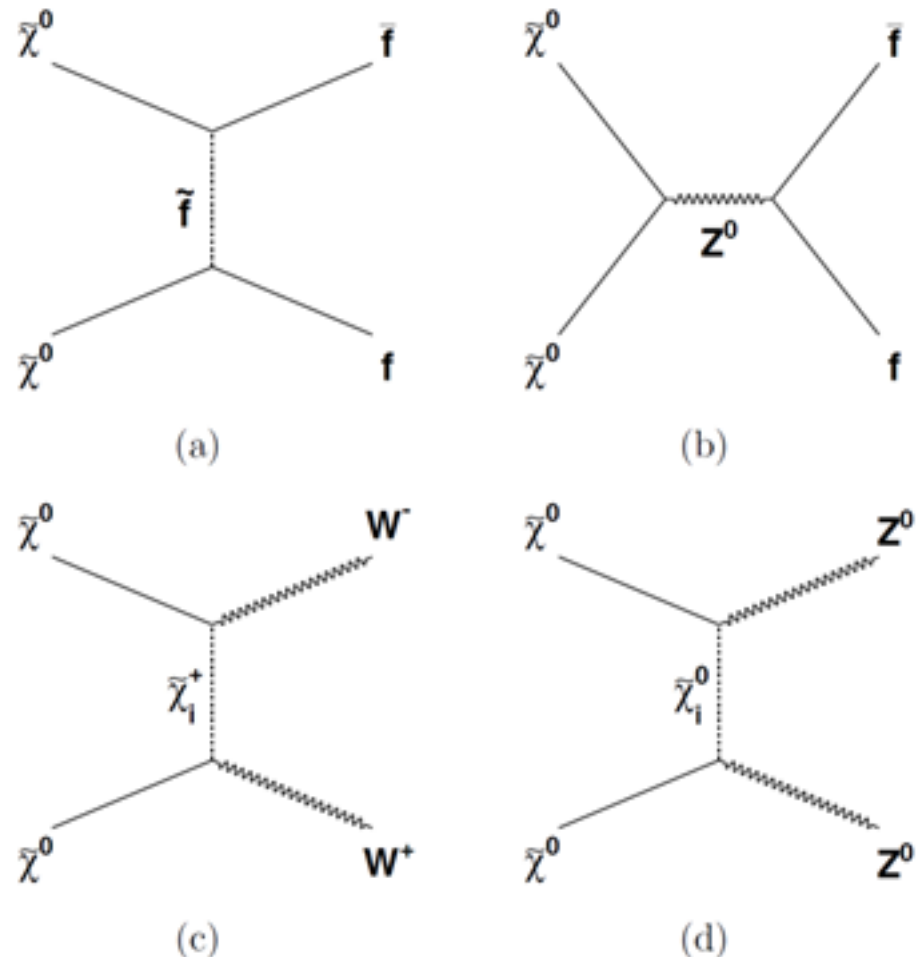


Figure 2.220: Example of a AMS-02 antiproton flux measurement together with recent experimental data [9].

Quelle: AMS on ISS, The AMS Collaboration

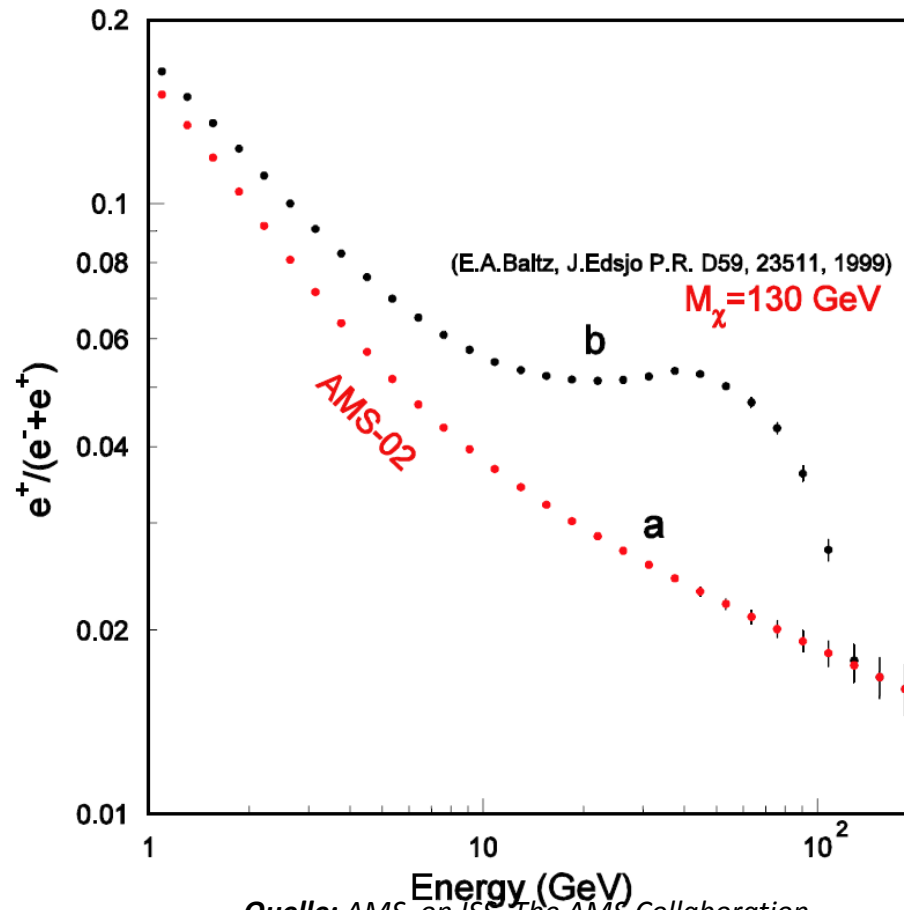
SUSY und WIMPs

- Alle Teilchen des Standardmodells haben supersymmetrische Partner mit gleichen QZ aber anderem Spin
- SUSY-Teilchen können nur paarweise erzeugt und vernichtet werden
- leichtestes Neutralino ist das leichteste und stabilste Teilchen (LSP)



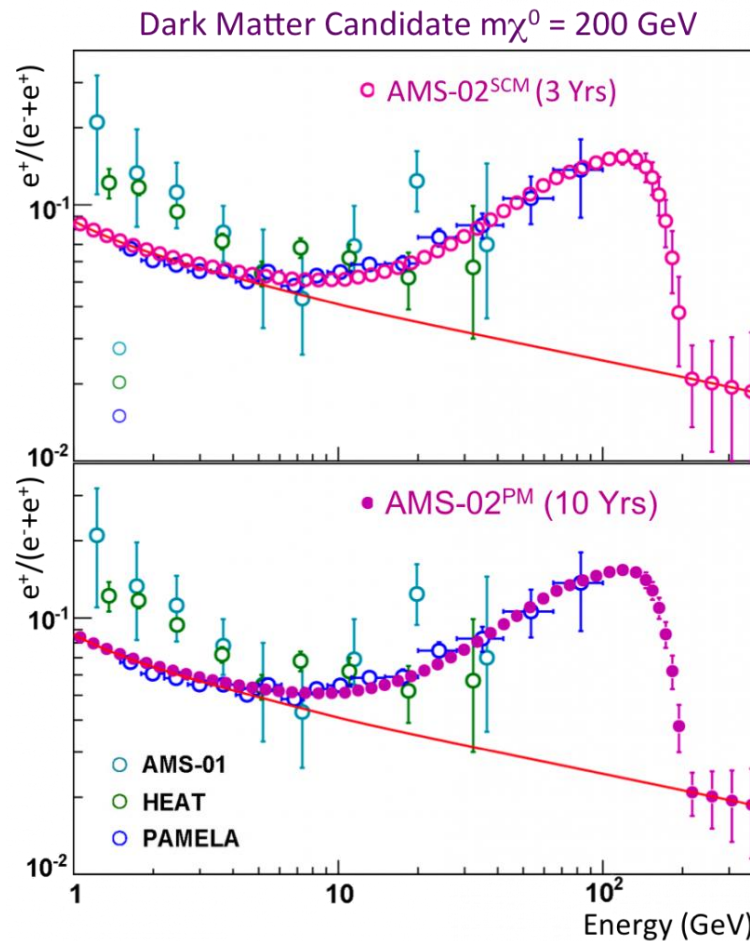


Existenz eines Neutralinos





Vergleich der Magneten



AMS

Zusammenfassung und Ausblick





Zusammenfassung

- AMS-01:
Teilchenphysik-Experiment im Weltraum überhaupt möglich ist
- AMS-01:
unerreichte astrophysikalische Messungen
(Antiproton/Proton-Verhältnis, Positronen-Spektrum,...)
- AMS-02:
deckt mit den zusätzlichen Detektoren einen noch größeren Messbereich ab



Ausblick

- Außer den gezeigten, sind weitere Messungen möglich wie zum Beispiel:
 - Suche nach Strangelets (Seltsamer Materie)
 - Gamma-Strahlungsphysik
- Transport von AMS-02 zur ISS im November diesen Jahres
- Eventuell verlängerte Laufzeit der ISS bis 2028



Quelle: AMS on ISS, The AMS Collaboration



Quellen

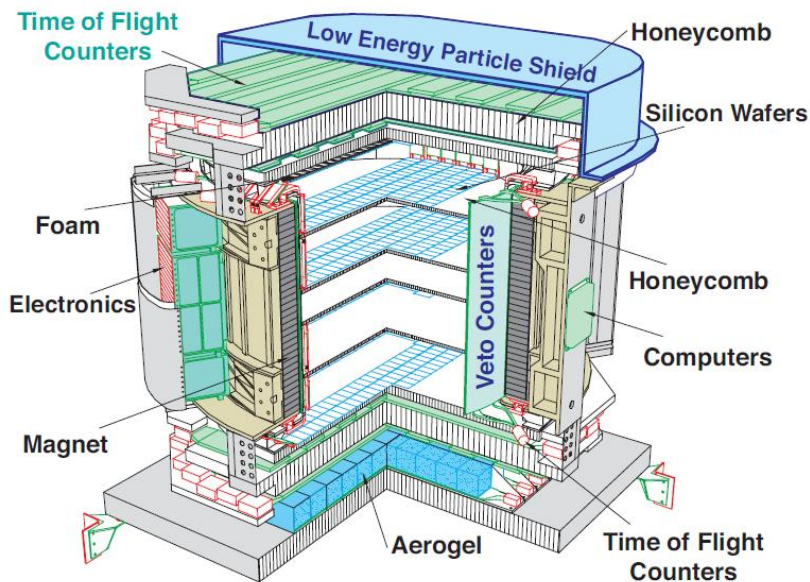
- AMS on ISS, The AMS Collaboration
<http://ams.cern.ch/AMS/AMS.pdf>
- AMS-02 Website <http://www.ams02.org>
- Diplomarbeiten/Dissertationen (RWTH Aachen):
 - Bruch
 - Vandenhirtz
- Arxiv.org (AMS)

Backup-Folien



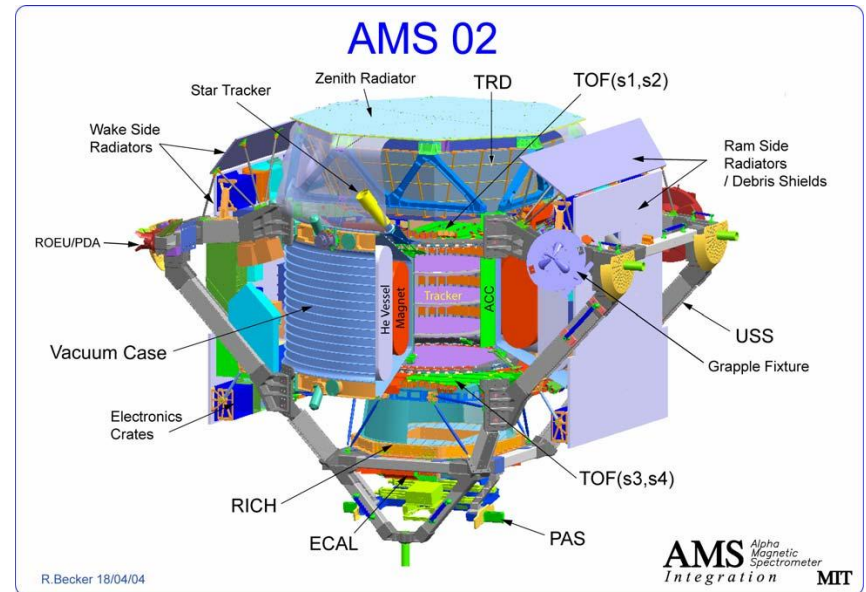
Vergleich mit AMS-01

AMS-01



Quelle: AMS on ISS, The AMS Collaboration

AMS-02



Quelle: www.ams02.org (Juni 2010)



Kandidaten für Seltsame Materie

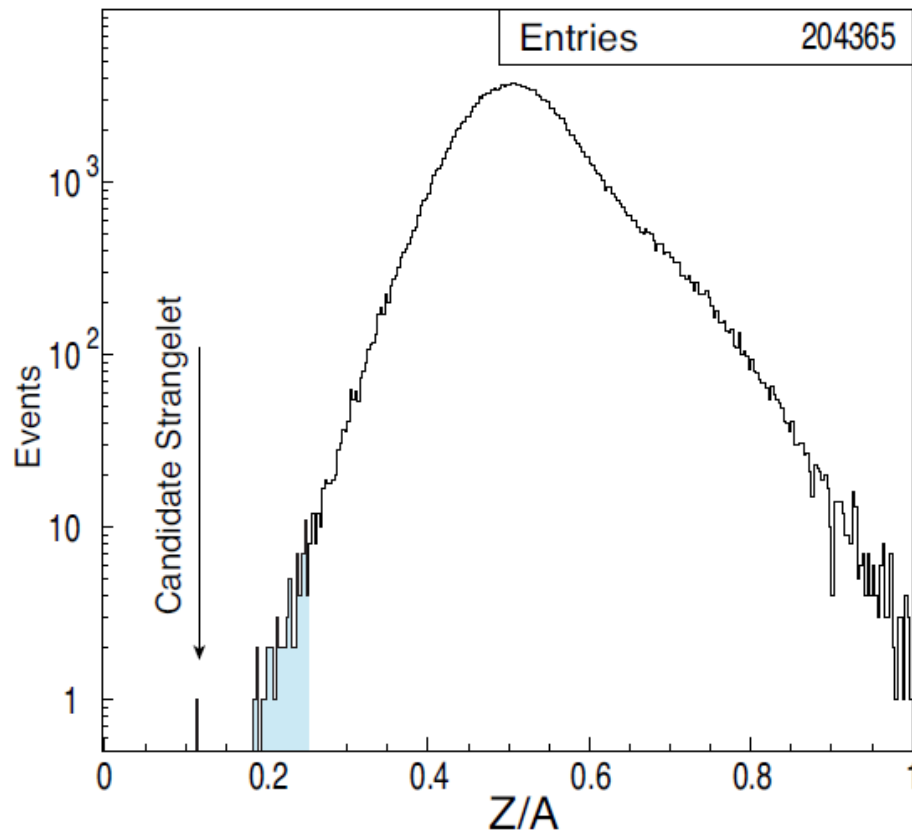
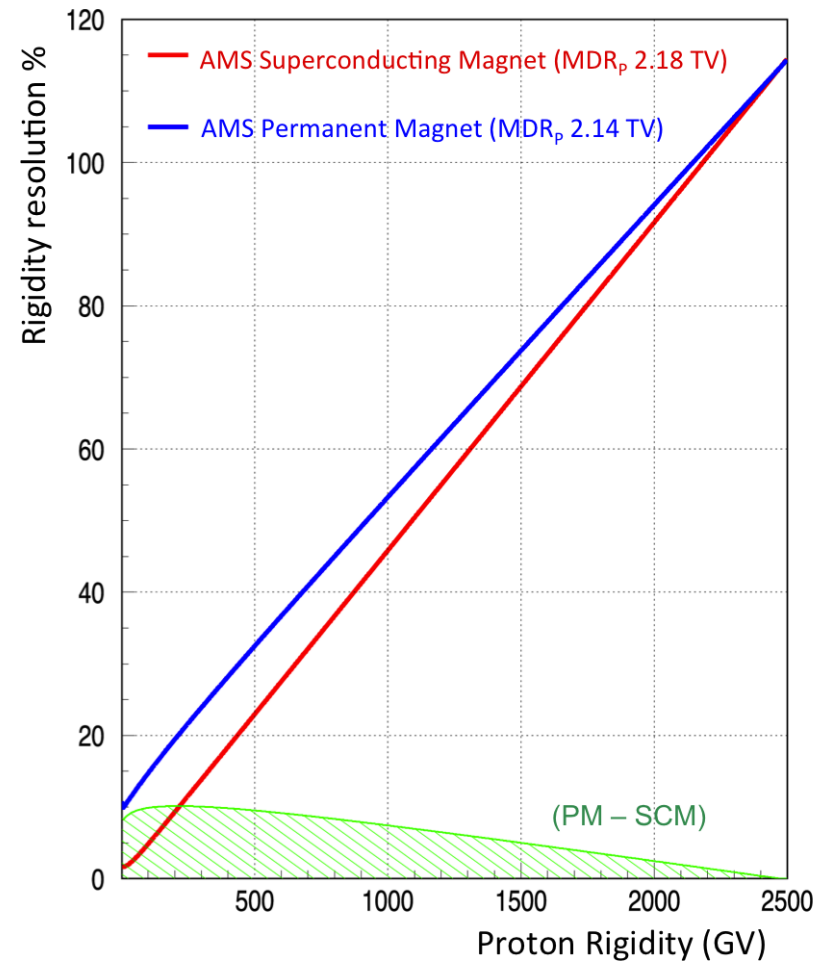


Figure 2.229: Measurement of Z/A using AMS-01 data for selected He events.

Quelle: AMS on ISS, The AMS Collaboration



Rigiditätsauflösung



Quelle: unbekannt



Gamma-Messgenauigkeit

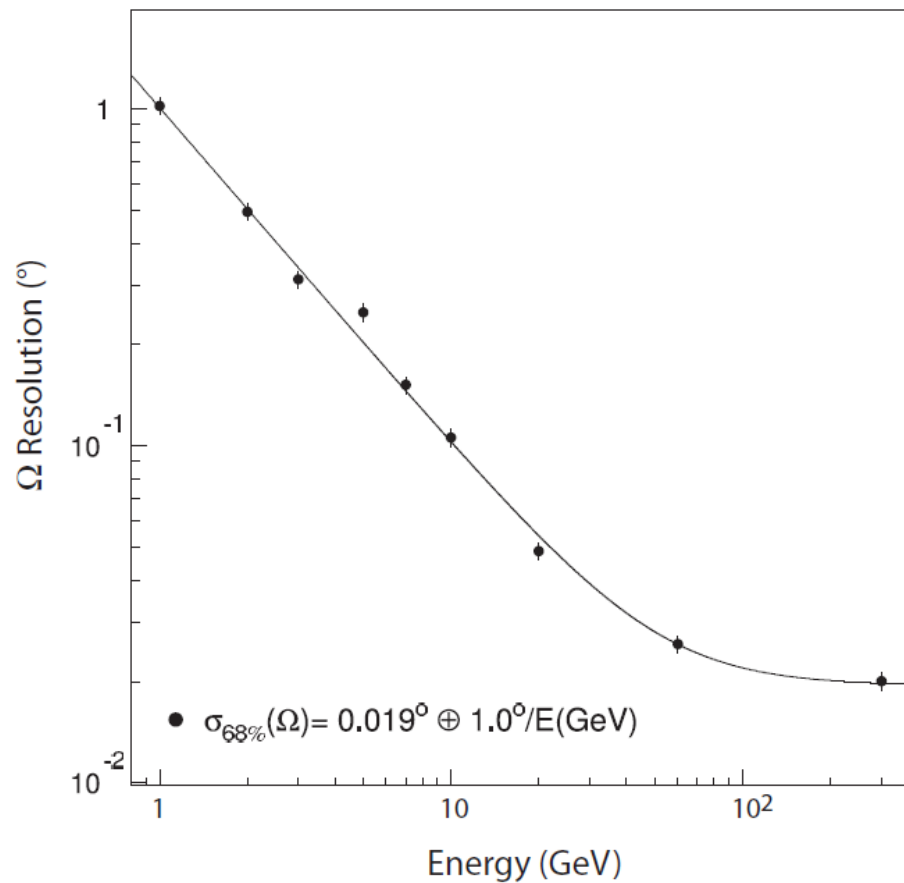


Figure 2.221: Estimated AMS-02 photon angular resolution vs. energy.

Quelle: AMS on ISS, The AMS Collaboration



Protonenfluss

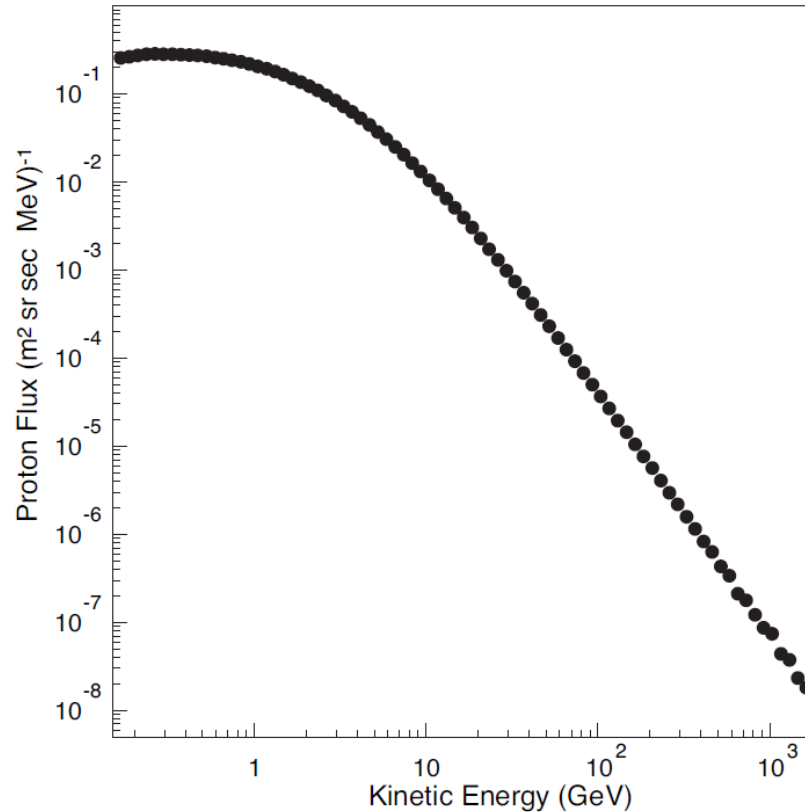


Figure 2.223: Projected AMS-02 proton flux measurement in 1 week (statistical errors not visible).

Quelle: AMS on ISS, The AMS Collaboration



Bor / Kohlenstoff - Verhältnis

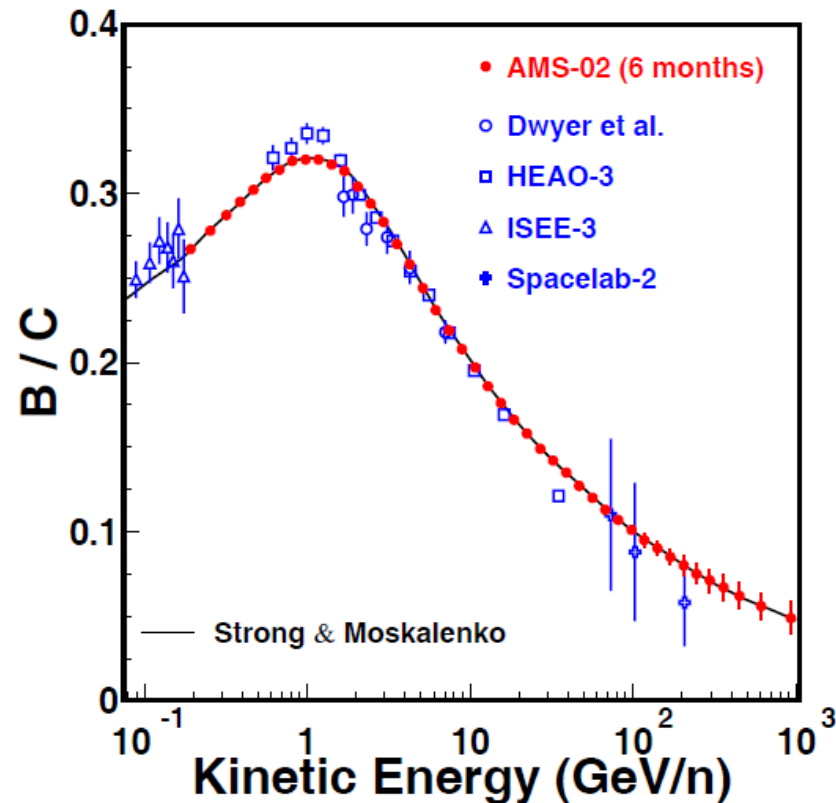


Figure 2.228: Projected AMS-02 6 month measurement of the Boron to Carbon ratio, together with recent data from different experiments [13].

Quelle: AMS on ISS, The AMS Collaboration



$^{10}\text{Be} / ^9\text{Be}$ - Verhältnis

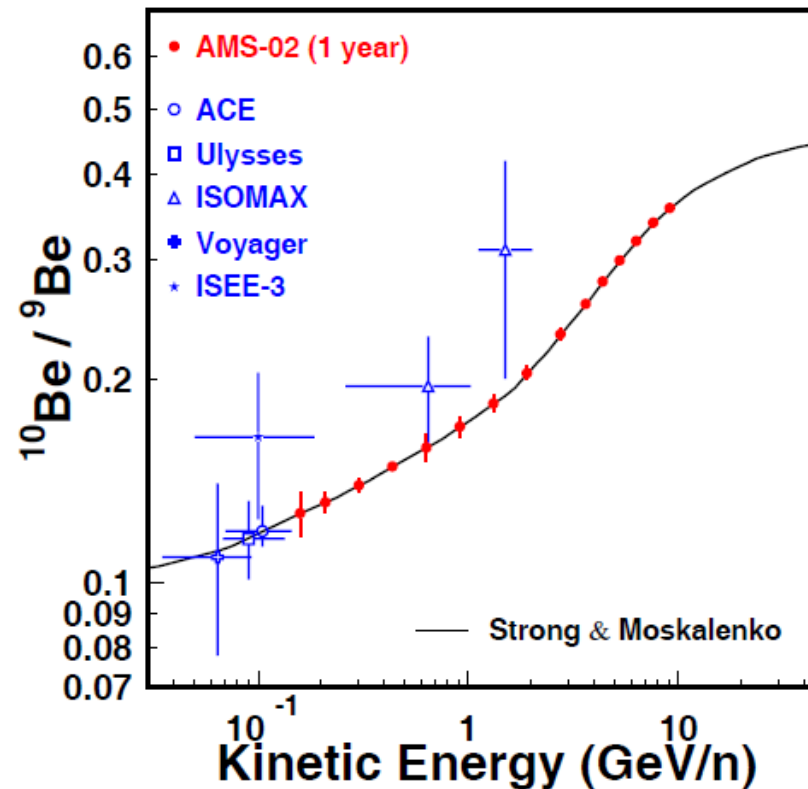


Figure 2.230: Projected AMS-02 1 year measurement of the $^{10}\text{Be} / ^9\text{Be}$ ratio energy dependence compared with a diffusion/convection model prediction (curve) together with the results from satellite measurements [17].

Quelle: AMS on ISS, The AMS Collaboration