

# Das AMS-Experiment

Der indirekte Nachweis von Dunkler  
Materie

# Inhalt

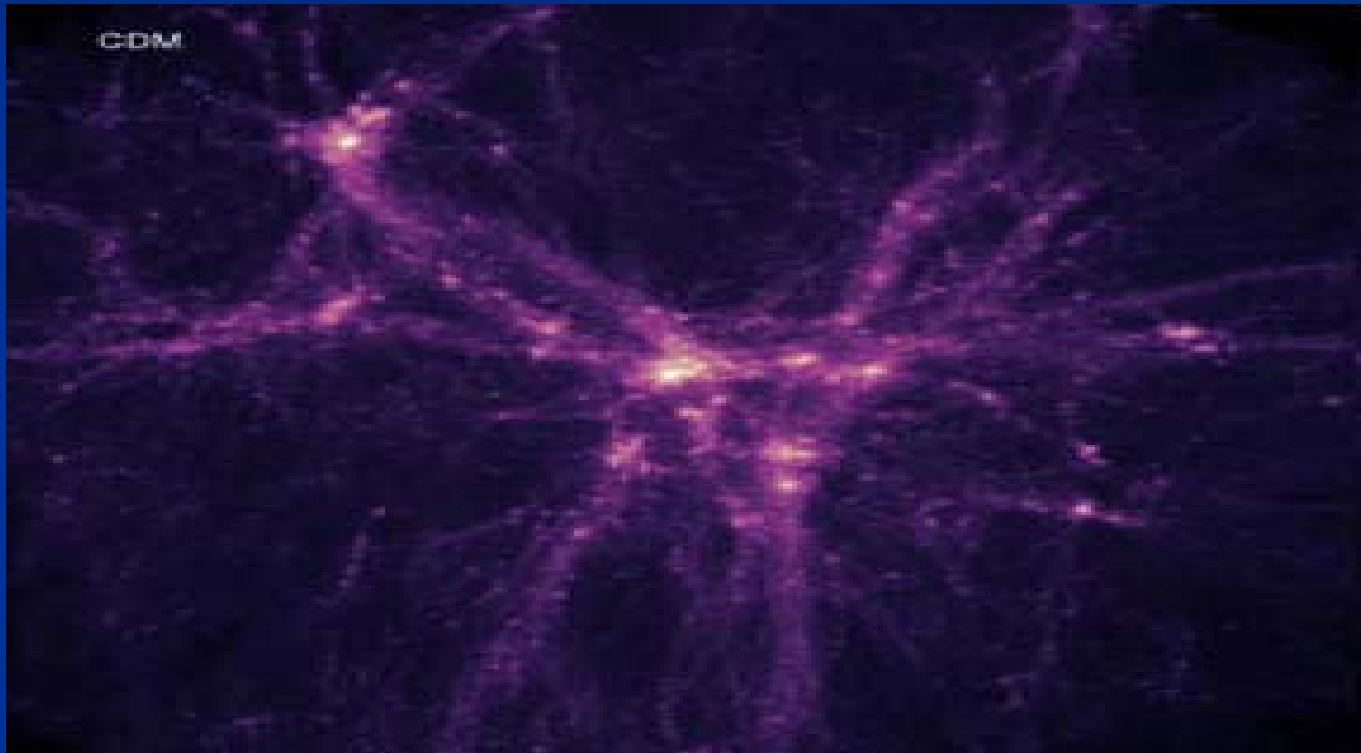
- 1. Die Antimaterie
- 2. Dunkle Materie
  - 2.1. Eigenschaften der Dunklen Materie
  - 2.2. CDM – Cold Dark Matter
  - 2.3. Warum ist die Dunkle Materie wichtig?
  - 2.4. Indirekter Nachweis
  - 2.5. Nachweis durch das AMS-Experiment
  - 2.6. Schlussfolgerung

# Die Antimaterie

## Grundlegende Theorie

- Annahme, dass bei dem Urknall die Aufteilung in Materie und Antimaterie fast gleich war
- Urknall ergibt einen leichten Überschuss an Materie im Vergleich zu Antimaterie, ca. 1.000.000 zu 1.000.001
- → Voraussetzung für die Theorie ist die CP-Verletzung, da sonst eine Erhaltung vorliegen müsste und es keine Bildung von Materie gegeben hätte

## 2. Die Dunkle Materie



# 2.1. Die Eigenschaften der Dunklen Materie

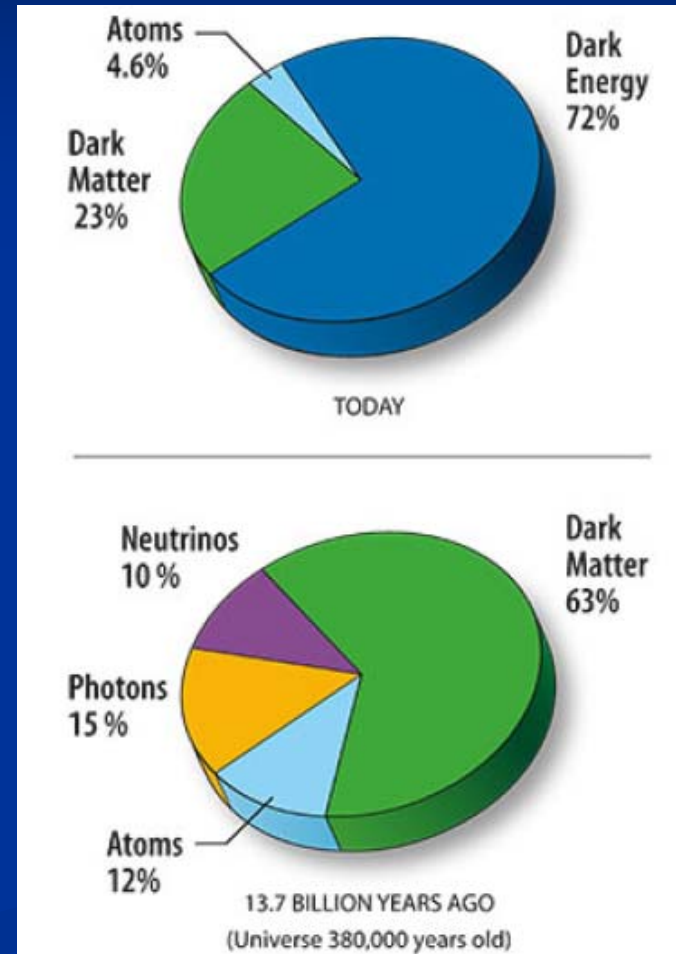
- nicht sichtbar
- dient zur Erklärung von Galaxiensuperhaufen, Galaxienhaufen und Galaxien mittels Gravitation
- ist ca. 4-5 mal häufiger vorhanden als normale Materie
- es gibt 4 verschiedene Arten:
  - Baryonische Dunkle Materie
  - Heiße Dunkle Materie (HDM)
  - Kalte Dunkle Materie (CDM)
  - Axionen

## 2.2. CDM - Cold Dark Matter

- kalt weil sich die Teilchen langsam bewegen
- unterliegt nur Gravitation und schwacher Wechselwirkung
- → WIMP ( Weakly Interaction Massive Particles )
- Masse liegt in etwa bei 60 GeV
- aktueller Favorit ist das LSP ( Lightest Super-symmetric Particle ), das Neutralino
- → evtl. „Produktion“ im LHC in Cern
- direkter Nachweis über elastische Streuung an Atomkernen
- indirekter Nachweis über die Zerstrahlung

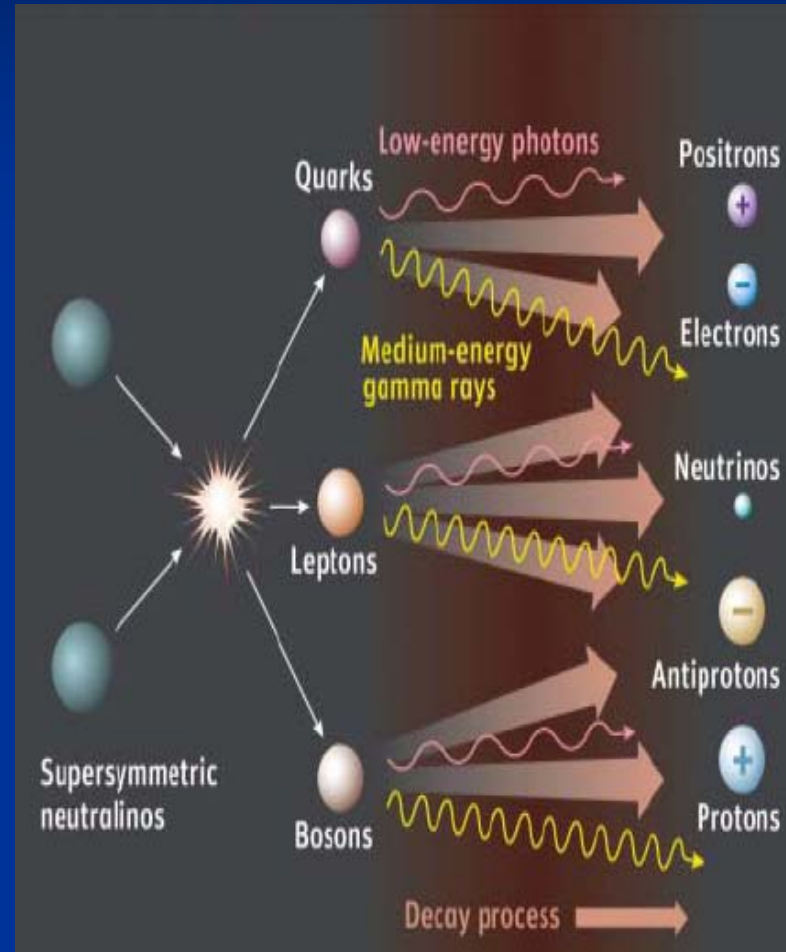
## 2.3. Warum ist die dunkle Materie wichtig?

- Dunkle Materie hält die Galaxien zusammen
- → wichtig zu Erklärung der kompletten Astronomie
- Dunkle Materie macht zusammen mit der dunklen Energie einen Großteil unseres Universums aus
- die Dunkle Energie erklärt die beschleunigte Ausdehnung des Universums



## 2.4. Wie erfolgt der indirekte Nachweis?

- indirekt bedeutet, dass nicht nach der Dunkler Materie selbst gesucht wird
- → Nachweis über Zerfallsprodukte
- WIMPs bzw. Neutralinos zerstrahlen in Quarks, Leptonen und Bosonen
- → weiterer Zerfall in Protonen, Antiprotonen, Positronen, Elektronen, Neutrinos und Gamma-Strahlung
- wichtig zum indirekten Nachweis:
  - Antiprotonen
  - Positronen
  - Gamma-Strahlung



# Warum zerstrahlt Dunkle Materie?

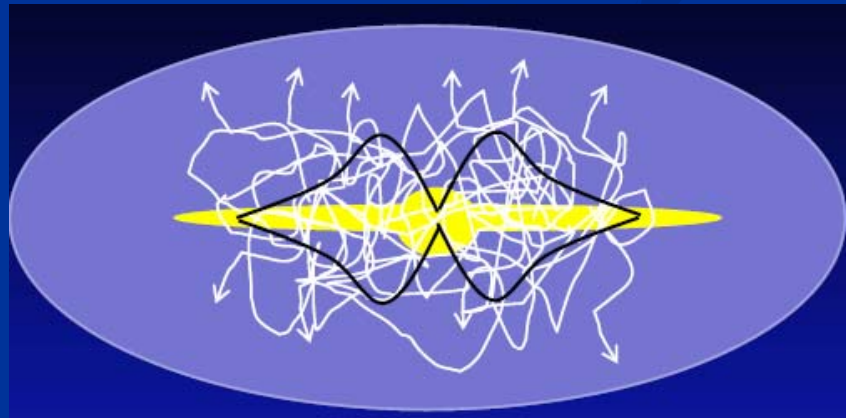
- Dunkle Materie bzw. Neutralinos sind Majorana-Fermionen
- besitzen nur eine schwache Wechselwirkung
- → sie sind ihr eigenes Anti-Teilchen und dürfen damit keine Ladung tragen
- → können mit ihresgleichen selbst zerstrahlen
- Beweis der Zerstrahlung in der Messung der Strahlenintensität

# Wo ist mit Zerstrahlung zu rechnen?

- Dichte der dunklen Materie nimmt nach dem Urknall kontinuierlich wegen der Ausbreitung des Universums ab
- → Inflation des Universums und damit sinken der Rekombinationsrate
- Dunkle Materie sammelt sich in HALOs an
- → Bildung von Galaxien
- hier damit möglichst hohe Wahrscheinlichkeit einer Zerstrahlung die Proportional zum Quadrat der Dichte ist

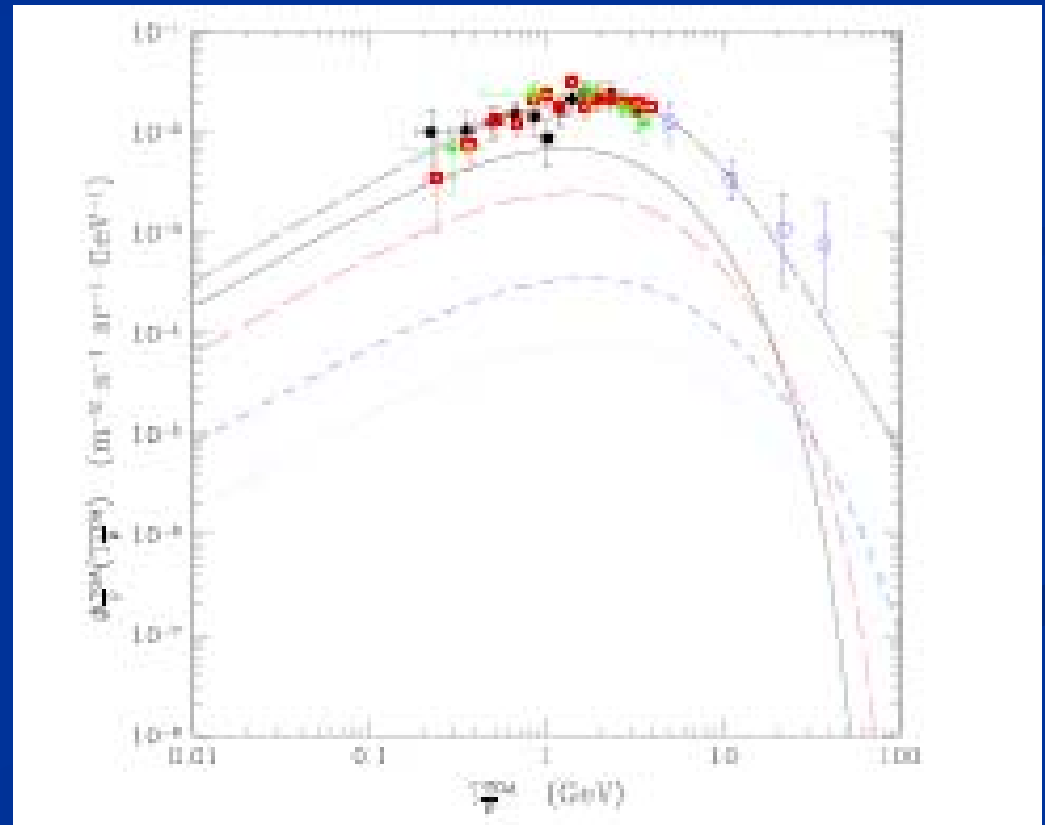
# Wo liegt die Schwierigkeit der Detektion?

- unsere Galaxie besitzt ein Magnetfeld
- Gamma-Strahlen fliegen den „direkten“ Weg und entstehen sowohl bei WIMP-Zerstrahlung als auch bei der Streuung eines Proton an einem Proton im Gasgürtel
- geladene Teilchen werden abgelenkt
- → Ankunftswinkel lässt keinen Rückschluss auf Richtung zu
- → direkte Ausrichtung auf zu messendes Ziel sehr schwer



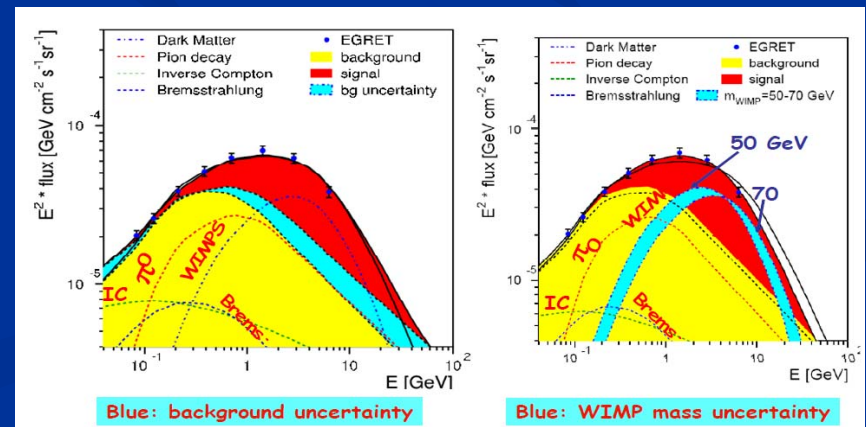
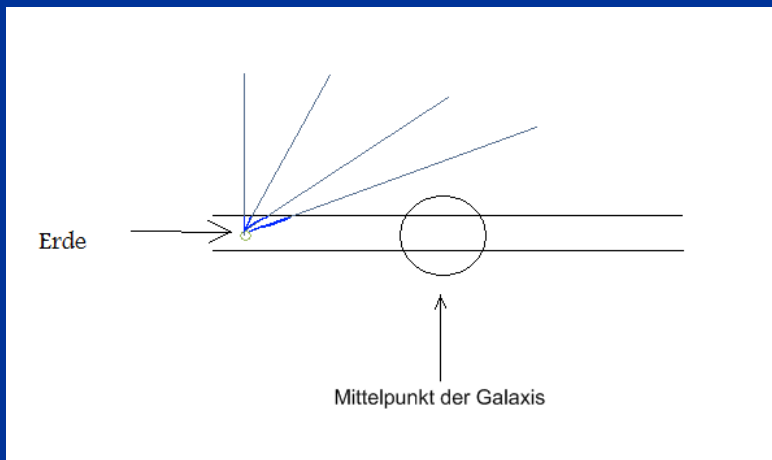
# Der Antiprotonenfluss

- Daten stammen von BESS, AMS und Caprice
- Gestrichelte Linie zeigt theoretischen Verlauf



# Weiteres Problem

- Gamma-Strahlen fliegen den „direkten“ Weg und entstehen sowohl bei WIMP-Zerstrahlung aber auch bei der Streuung eines Proton an einem Proton des Gasmürtel
- Alternativ kann damit die Gammastrahlung auch von einer Streuung stammen
- → Ausschluss über Analyse des Spektrums



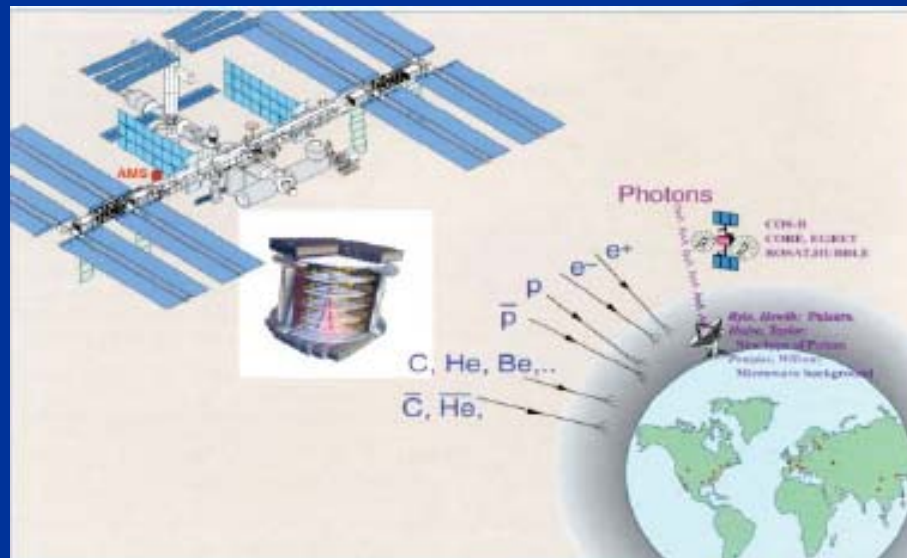
# 2.5. Der indirekte Nachweis von dunkler Materie über das AMS-Experiment

- AMS steht für „Alpha Magnetic Spectrometer“
- Es gibt zwei verschiedene AMS-Detektoren
- AMS 01 auf der Discovery und AMS 02 auf der ISS
- modular aufgebaut mit mehreren Detektoren



# Ziele

- die Suche nach Antimaterie und damit indirekt nach Dunkler Materie
- die Analyse von kosmischer Strahlung hinsichtlich ihrer Ladung, Geschwindigkeit und Masse
- → Ergebnis gibt Rückschluss auf Urknall
- Wichtig für die indirekte Suche, da auch Gamma-Strahlung analysiert wird



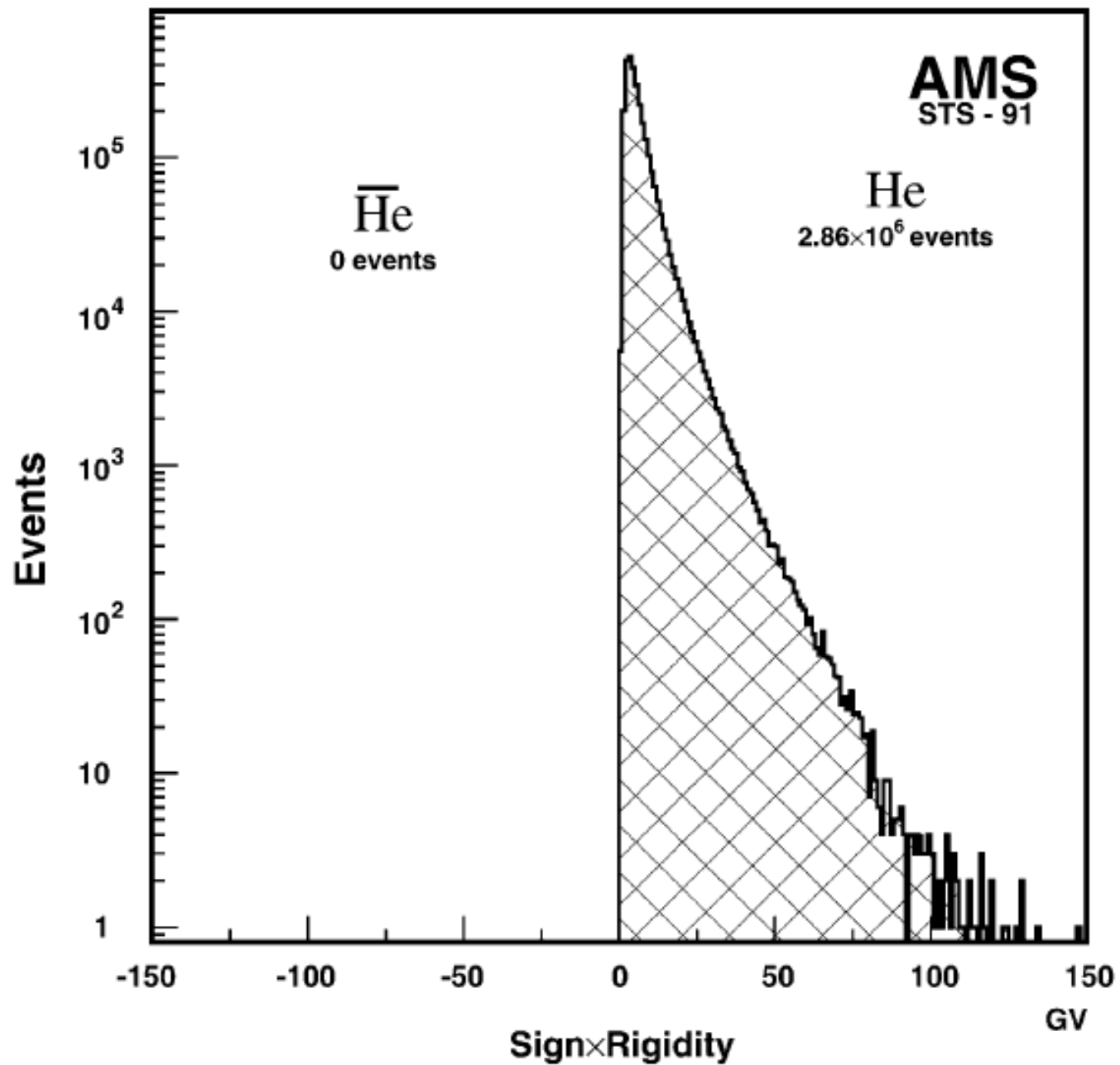
# AMS 1

- kam am 29.5.1998 an Bord des Space-Shuttle Discovery zum Einsatz
- Missionsdauer von 10 Tagen
- ca. 100 Millionen Partikel wurden erfasst
- diente als Testflug, daher auch nur mit dem Notwendigsten ausgerüstet



# Messdaten der AMS 01-Mission

- es wurden ca.  $2.86 \times 10^6$  Helium-Kerne identifiziert
- → aber kein einziges Anti-Helium
- Messung ermöglichte es aber den Bereich einzuschränken und die Messgeräte besser abzustimmen
- ermöglichte die Abschätzung, dass das Verhältnis von Anti-Helium zu Helium bei  $1.1 \times 10^{-6}$  liegt
- AMS 1 funktionierte einwandfrei in den Gegebenheiten des Weltraums
- → wichtig für die Konstruktion von AMS 2

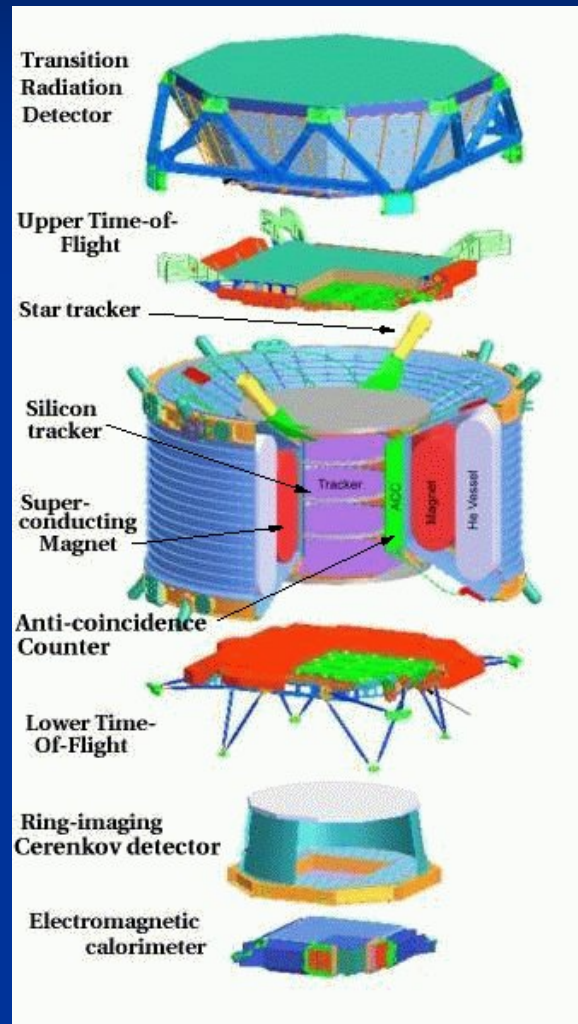


# AMS 2 – Allg. Daten

- sollte Oktober 2005 gestartet werden, wurde jedoch wegen dem Columbia Unglück gestrichen
- → neuer Start am 16. September 2010
- soll 3 Jahre auf der ISS installiert bleiben
- Datenübertragungsrate von 2MB/sec von ISS – Bodenstation
- → führt zu ca. 200 TB an Daten über die Mission

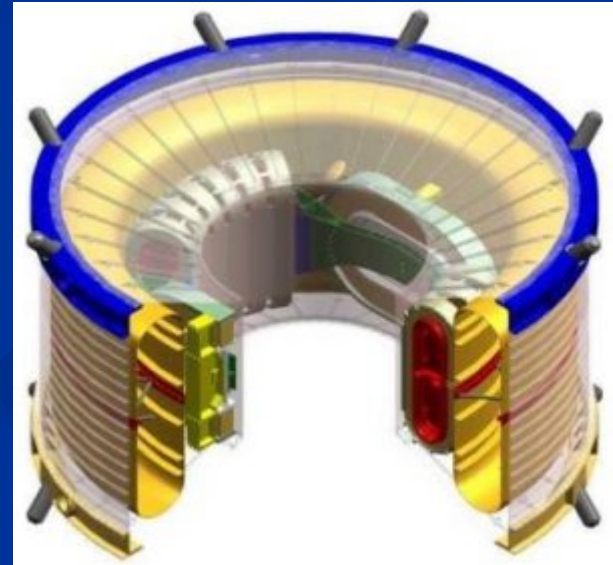


# Aufbau des AMS 2



# Der Magnet

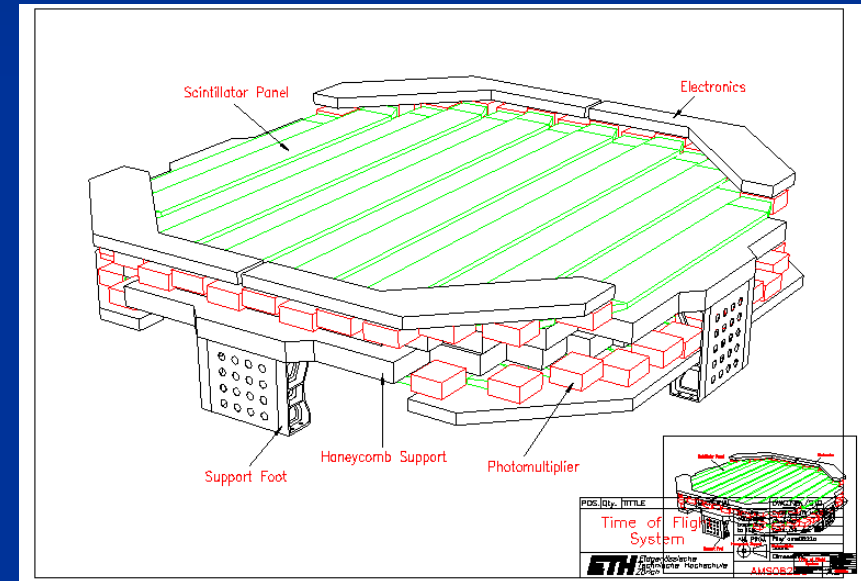
- wird 1.7K gekühlt
- besteht aus Nb-Ti ( Niobium-Titan ),  
was ein Magnetfeld von 0.865 T  
ermöglicht
- wiegt 2350 kg
- wird mit 360kg flüssigem Helium  
gekühlt
- → viel leistungsfähiger wie der Magnet  
des AMS 1 Experiments





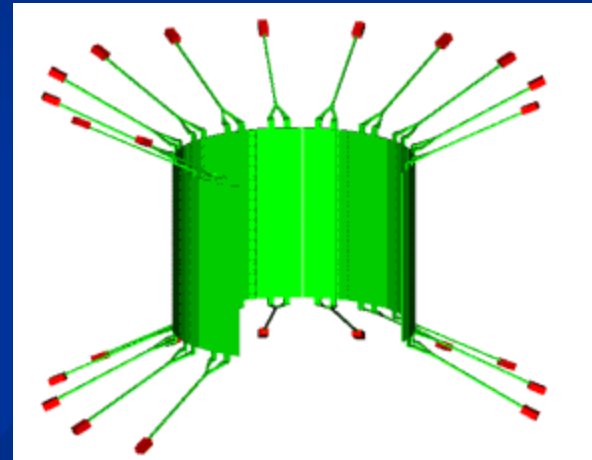
# TOF – Time of flight scintillator

- eintreffendes Partikel erzeugt Lichtblitz im Szintillator, welcher dann über einen PMT verstärkt wird
- es gibt 4 solcher Szintillatoren
- 2 befinden sich über dem Magneten und 2 darunter
- dient zum Erfassen der Geschwindigkeiten und der Richtung der Partikel
- dient als „Trigger“ um die Detektoren auszulösen



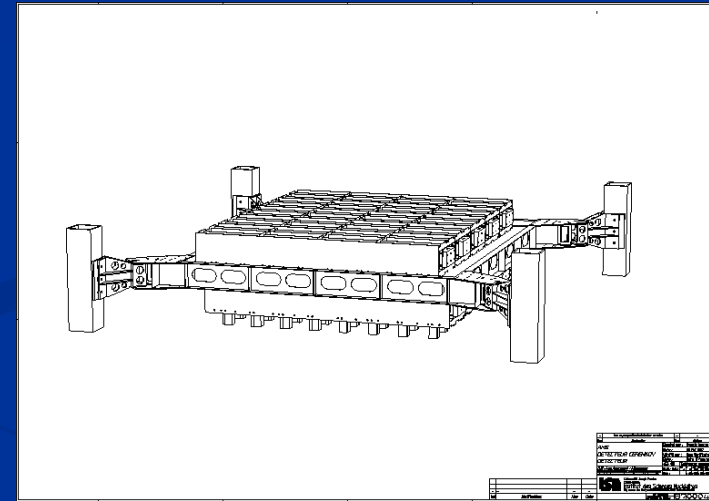
# ACC - Anti Coincidence Counter

- umgibt den Detektor
- dient als Partikelfilter
- sorgt dafür, dass von außen eindringende Partikel nicht gemessen werden
- sonst mögliche Gefahr einer Fehldeutung



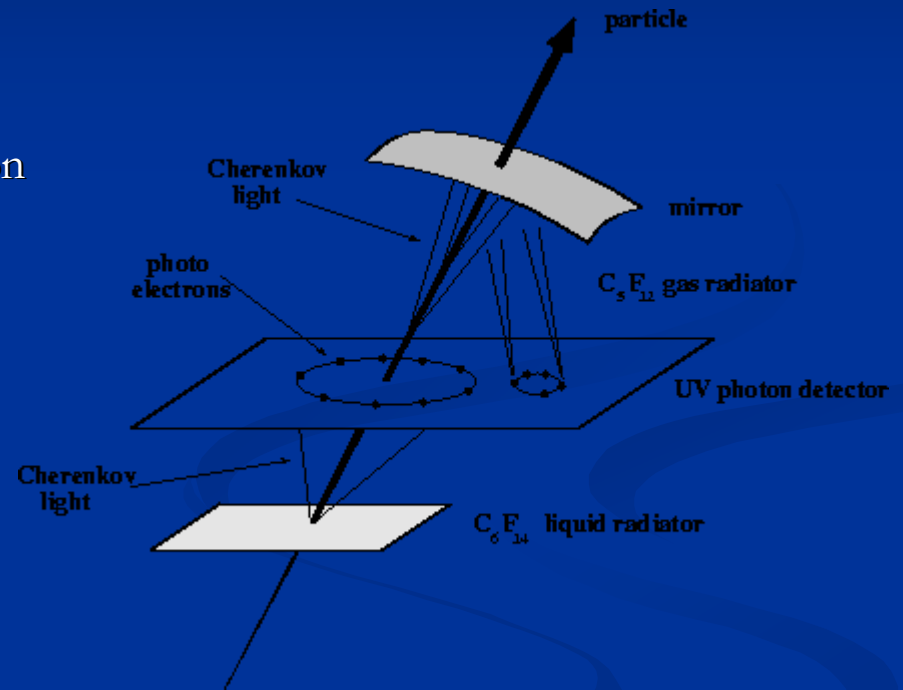
# ATC – Aerogel Threshold Cerenkov Counter

- besteht aus 10cm dicken Aerosol mit einem Brechungsindex von 1.036
- besteht aus 168 Zellen, welche jeweils aus 8 Blöcken Aerosol bestehen
- ermöglicht die Identifikation von Antiprotonen bis 4 GeV
- funktioniert über die Aussendung von Cerenkov-Strahlung
- Partikel trifft auf „Aerogel“
- bei Geschwindigkeiten  $> c$  kommt es zur Aussendung von Cerenkov-Strahlung, die sich Kegelförmig ausbreitet
- Winkel ist geschwindigkeitsabhängig



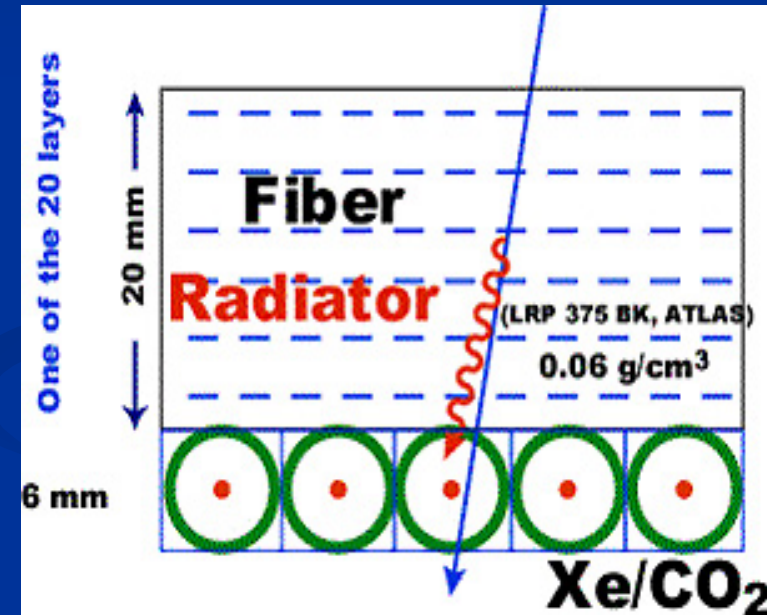
# RICH – Ring Imaging Cherenkov Counter

- funktioniert nach dem Prinzip der Cherenkov Strahlung ( siehe ATC )
- Cherenkov Strahlung wird mit Hilfe von Spiegeln auf einen Ring projiziert
- anhand des Radius erfolgt Geschwindigkeitsbestimmung



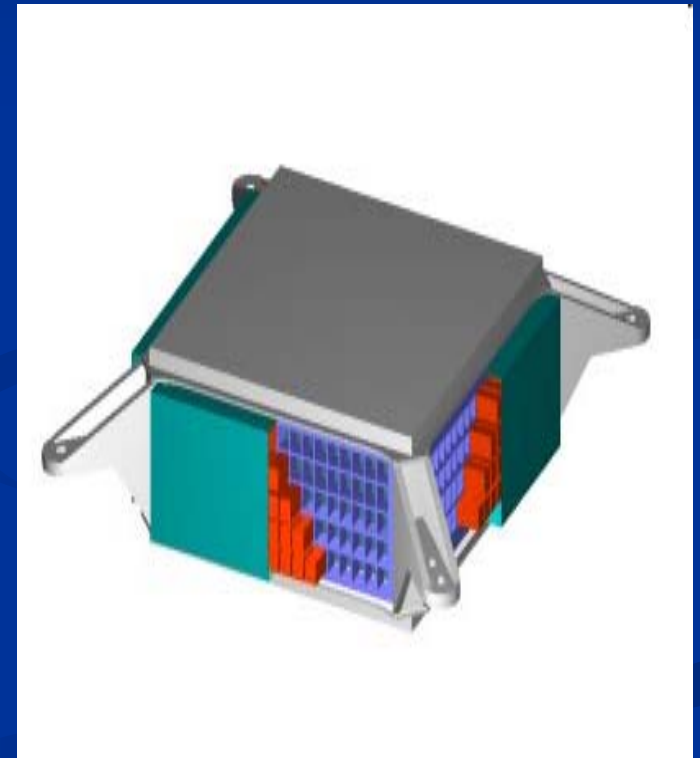
# TRD – Transition Radiation Detector

- dient zur Identifikation von hochenergetischen Elektronen
- → notwendig da Teilchen mit hohen Energien schwer auseinander zuhalten sind
- Genauigkeit von  $10^{-2}$  bis  $10^{-3}$  im Bereich von 10 bis 300 GeV
- besteht aus 20 Lagen Radiator und einem Detektormaterial mit unterschiedlichen Dielektrizitätskonstanten
- → einfliegendes **Elektron** erzeugt Photon
- → Photon führt zu Ionisierung des Gases
- → Signal kann gemessen werden
- - Identifikation anhand des Gamma-Faktors



# Das elektromagnetische Kalorimeter

- besteht aus einer Anordnung von Bleiblöcken und Szintillatoren die in mehreren Lagen angeordnet sind
- die Bleiblöcke dienen zum Aufhalten der Partikel bis zum kompletten Abbremsen
- Abgabe der Energie in mehreren Schritten und Emission von Sekundärteilchen
- die Sekundärteilchen werden in den Szintillatoren erfasst und absorbiert
- → Energiemessung

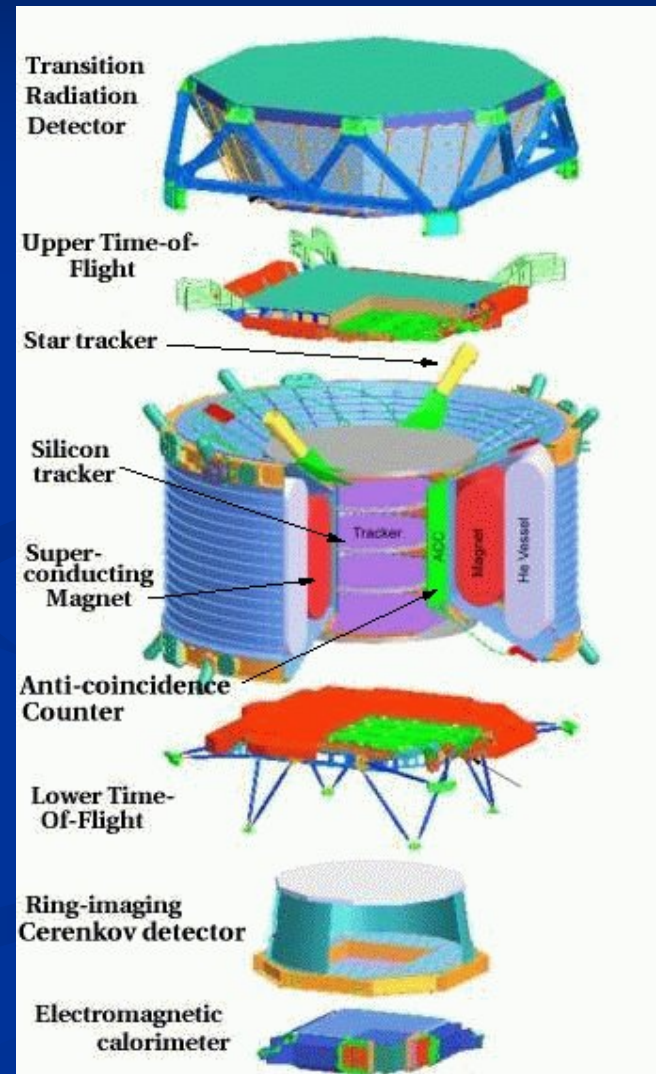




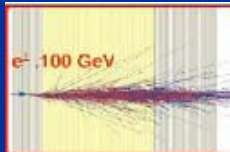
# Wie erkennt man nun die Annihilationsprodukte?

- Erkennung durch die Detektoren und Analyse nach folgendem Schaubild:

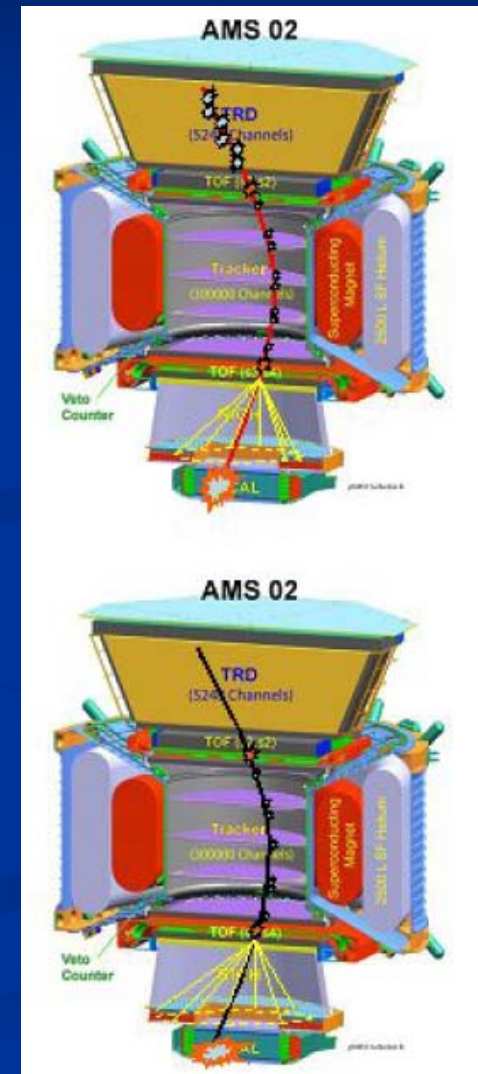
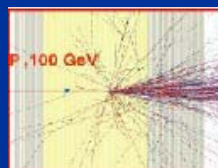
0.3 TeV	$e^-$	$e^+$	P	$\bar{H}e$	$\gamma$
TRD					
TOF					
Tracker					
RICH					
Calorimeter					



- Positron:
- - TRD zeigt Signal
- - TOF
- - Silicon-Tracker zeigt positive Ladung
- - RICH
- - EMK



- Proton:
- - TRD kein Signal
- - TOF
- - Silicon-Tracker zeigt positive Ladung
- - RICH
- - EMK



## 2.6. Schlussfolgerung

- bei großen Massen ist es sehr schwer die Ladung zu erkennen, da die Krümmung durch den Magneten abnimmt
- → Gammastrahlung als wichtigstes Mittel, da hier die Richtungsabhängigkeit gegeben ist
- → Gammastrahlung durch Elektron-Positron-Zerfall am besten zu analysieren, da hier schon genaue Ergebnisse vorliegen
- erste wirklich Ergebnisse bzw. Bestätigungen, aber erst mit Start von AMS

- Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

- [www.wikipedia.de](http://www.wikipedia.de)
- [www.sciencedirect.com/](http://www.sciencedirect.com/)
- [www1b.physik.rwth-aachen.de](http://www1b.physik.rwth-aachen.de)
- [www.astrolink.de](http://www.astrolink.de)
- [ikpe1101.ikp.kfa-juelich.de](http://ikpe1101.ikp.kfa-juelich.de)
- <http://www.ipp.phys.ethz.ch>
- [www.physik.uni-regensburg.de](http://www.physik.uni-regensburg.de)
- <http://www-ekp.physik.uni-karlsruhe.de/~deboer/>