# Alpha Magnetic Spectrometer


Juan Alcaraz
Javier Berdugo
Jorge Casaus
Carlos J. Delgado
Carlos Mañá

***Ciemat***
Madrid

# AMS ha sido diseñado con el fin de...

## 1. Buscar antimateria

- La bariogénesis basada en el modelo estándar choca con las observaciones astronómicas:

  **No hay evidencias** de la existencia de regiones con importantes cantidades de antimateria en **10Mpc** en torno a la tierra.

  **Los modelos** de bariogénesis sin nueva física son simétricos respecto a la producción de materia y antimateria.

## 2. Buscar materia oscura

- La fracción de materia que observamos en cualquier región del espacio es solo del 10% de la necesaria para explicar el movimiento de los objetos visibles:

  **El neutralino** es un buen candidato a materia oscura. Su aniquilación en el halo galáctico daría lugar a deformaciones en los espectros de $\bar{p}$, $e^+$ y $\gamma$.

## 3. Estudiar el espectro de rayos cósmicos primarios

- La composición y el contenido isotópico de los rayos cósmicos primarios permite conocer su confinamiento en el campo mágnetico de la galaxia.

# ...con una estadística y precisión sin precedentes.

# Objetivos

## Situar un detector de partículas en el espacio presenta innumerables ventajas, entre ellas...

- La interaccion con la atmósfera son prácticamente nulas

  **AMS** opera a una altura de unos 430Km, unas diez veces la de los experimentos en globo (CAPRICE, WIZARD, MASS, ...) .

- El tiempo de toma de datos es elevado

  **Los experimentos** en globo se ven limitados a unos cuantos dias, mientras que AMS permanecerá en orbita durante unos tres años.

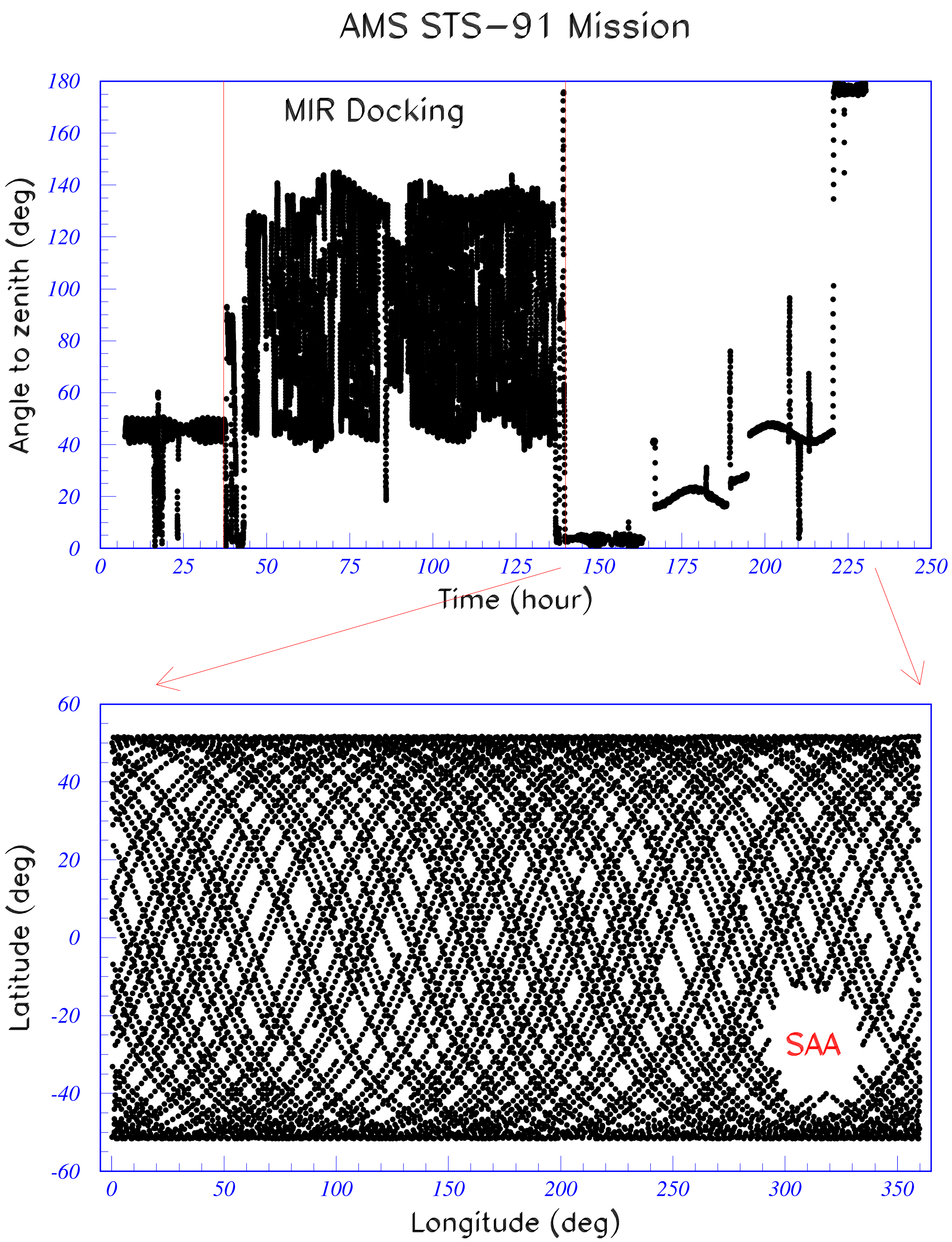
- Es el primer espectrómetro en el espacio

  **Los experimentos** en satélite anteriores a AMS no están basados en un imán, con lo que no aportan información sobre la dirección de la partícula (HEAO-3-C2, Ariel-5, Ulysses, ...) .

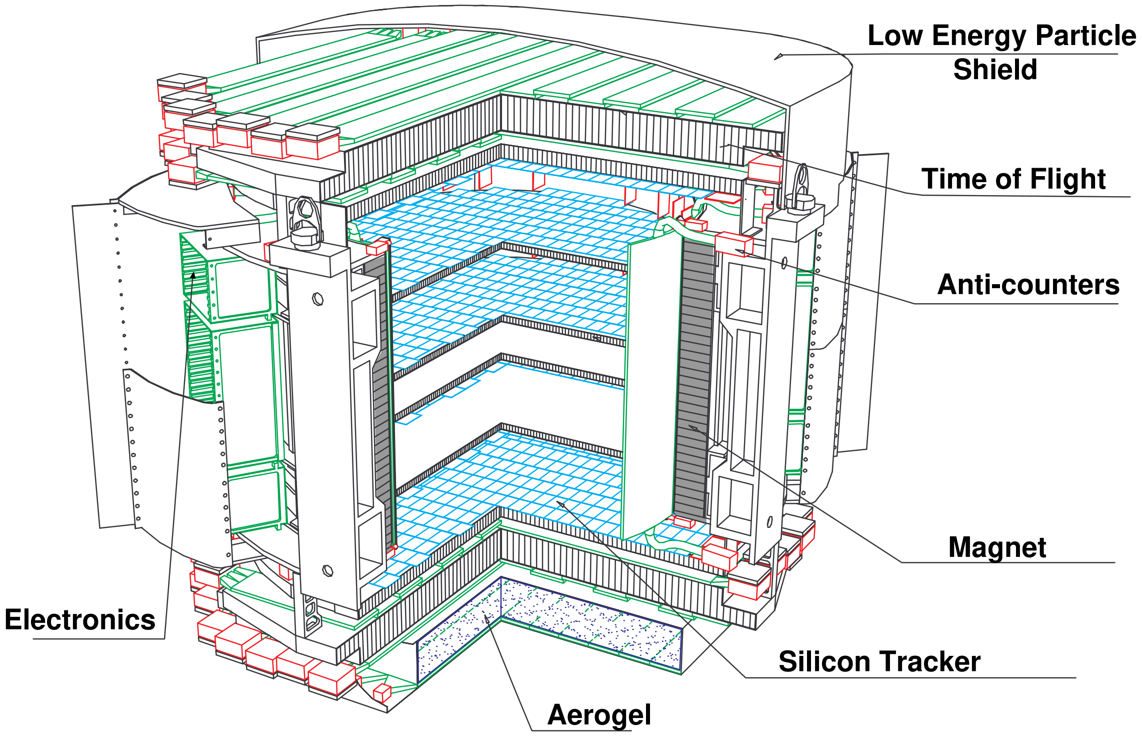
## Pero adaptar la tecnología de un espectrómetro típico al espacio conlleva desarrollar tecnología capaz de soportar...

- Alto vacío.
- Grandes aceleraciones (3g - 10g) y vibraciones.
- Importantes gradientes de temperatura (-60$^{O}$C - 40$^{O}$C) .
- Limitaciones de espacio, masa, consumo, etc, mucho más restrictivas que en tierra.
- Imposibilidad de intervención humana en órbita.

La primera fase del experimento, denominada AMS-01, se llevó a cabo entre el 2 y el 12 de Junio de 1998 a bordo del Discovery con el fin de estudiar el background y probar el detector en condiciones de vuelo a una altura entre **320** y **390** Km.



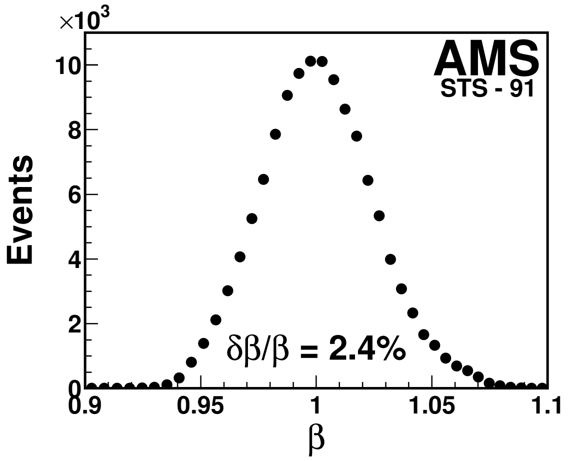
# AMS-01:El detector




Dimensiones: $1.65 \times 1.65 \times 1.30\ m^3$
Peso: $3.1\ Tons$
Aceptancia: $0.3\ m^3 sr$ (geométrica)
Consumo: inferior a $1.8\ kW$

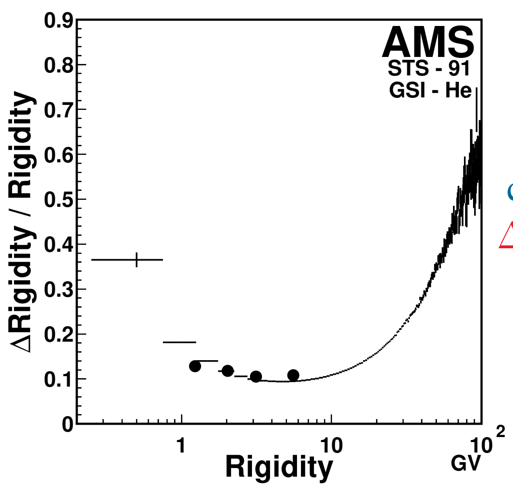
N.I.M. A, *419* (98), pags 295-299

## Los principales componentes de AMS son




• TOF: Trigger ($1^{st}$ level) , determinación de $\vec{\beta}$ (resolución ∼100 ps) y de $| Z |$.

• Imán: **Permanente** de Nd-Fe-B, con un campo dipolar uniforme paralelo a los planos del tracker de 0.14 Teslas (eje x). El campo es monitorizado constantemente, al igual que la temperatura.

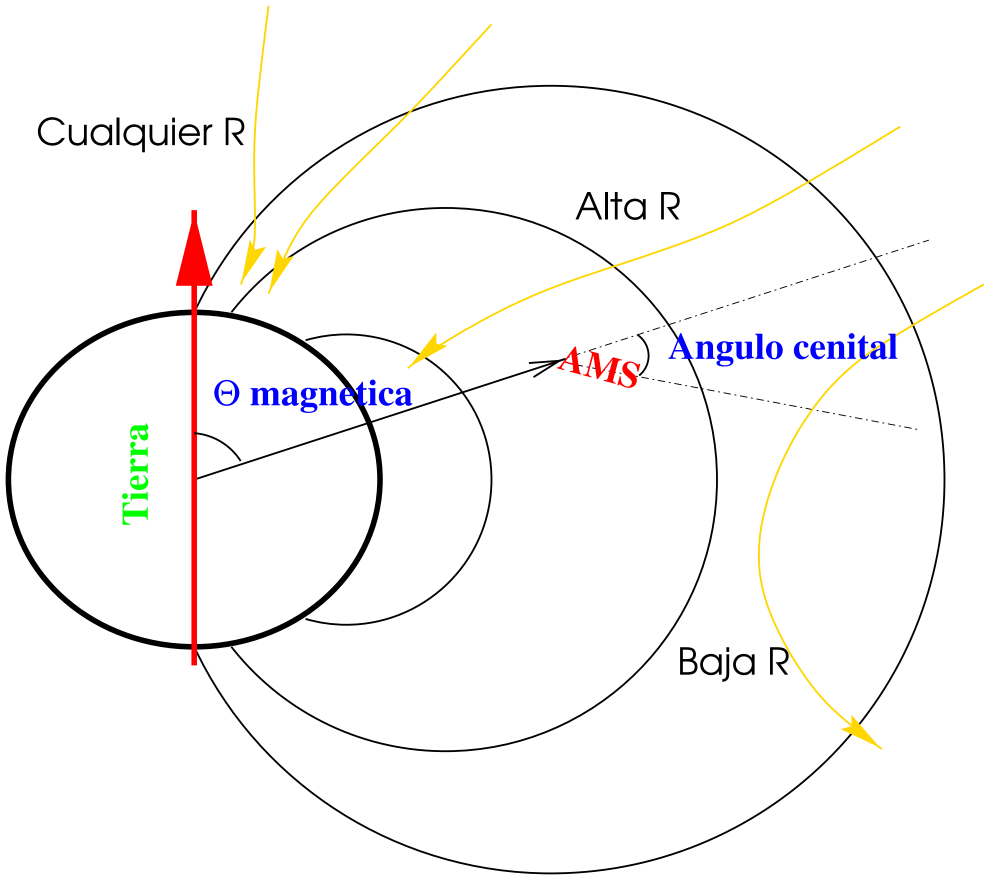



• Tracker: 6 planos de microstrips de silicio, con un area activa de $3m^2$ ($\Delta y = 10\mu m$, $\Delta x = 30\mu m$, $\Delta z = 30\mu m$) . Junto con el imán permite determinar el momento y carga de la partícula que entra en el detector. Es alineado on-line mediante un laser infrarojo.

• Aerogel: Contador Čerenkov de threshold que permite separar electrones de protones hasta un momento de 4 GeV para estos últimos y rechazar el albedo.

• Anti-counters: Contadores de anticoincidencia que actúan como veto para partículas que entren por los laterales.

Antes de iniciar el análisis de los datos es necesario adquirir cierta intuición sobre el comportamiento de las partículas cargadas en el campo geomagnético ($\sim$0.5 G) , pues esta es la dinámica con que nos vamos a encontrar.




Se define la rigidity (R) como

$$R = \frac{p}{q} = \rho B_{\perp}$$

Donde $\rho$ es el radio local de la trayectoria de la partícula y $B_{\perp}$ es la proyección del campo magnetico local perpendicular a la trayectoria.

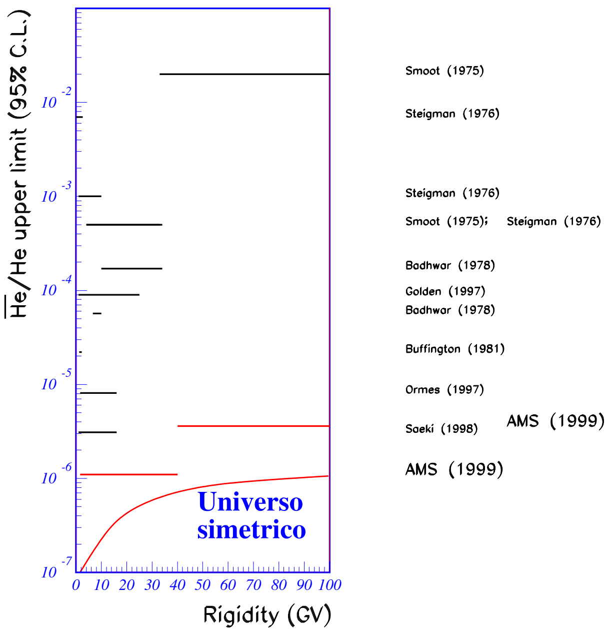
**Partículas con igual rigidity** se comportan igual bajo el mismo campo magnético, por lo que es una buena caracterización de estas.

## AMS-01:Búsqueda de antihelio

El principal background en este caso es $e^-$, $\bar{p}$ y $He$, por lo que conocer la respuesta del detector a estas partículas es prioritario. Esta se estudio de verias formas:

- Test beam de $He$ en GSI y de $p$ en CERN PS.
- $e^-$, $p$ y $He$ recogidos en orbita.
- Estudios montecarlo del detector.

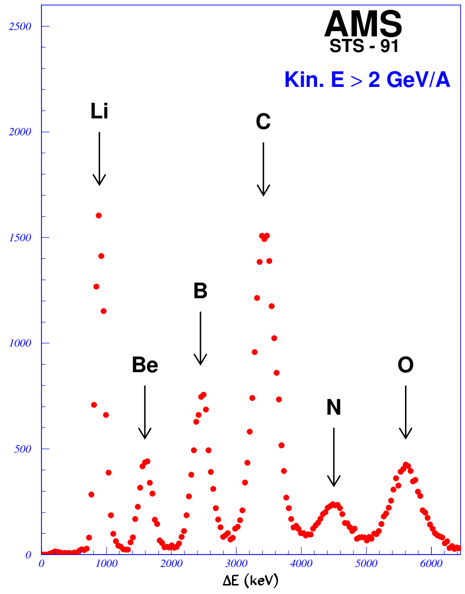
Tras la selección usando una función de probabilidad construida con este estudio de se obtuvierón $2.86 \times 10^6$ nucleos de $He$ y ninguno de $\bar{H}e$.



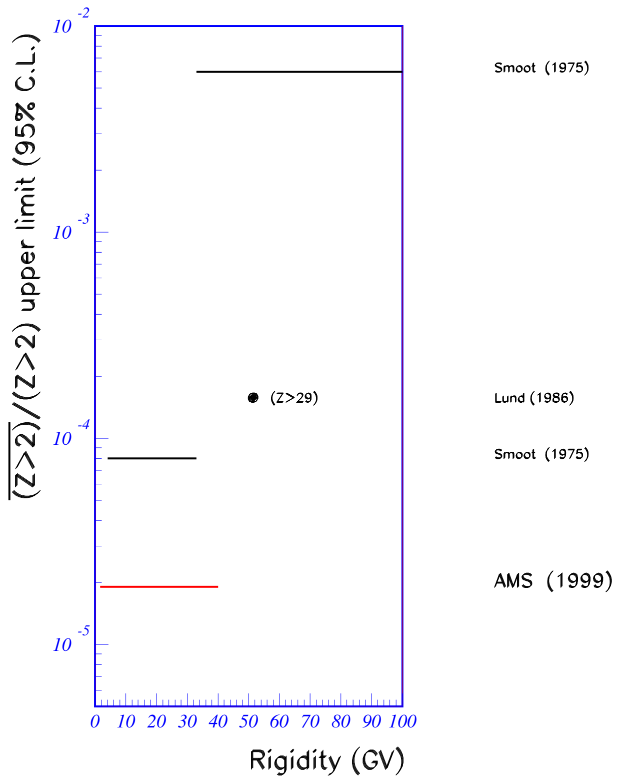

El límite obtenido por AMS mejora los anteriores y extiende el rango de energía en sólo 9 dias de toma de datos. Sin embargo aun no es posible discernir entre un universo simétrico o antisimétrico.

Ph. L. B, *461* (99), pags 387-396

# AMS-01:Búsqueda de antimateria con $Z > 2$

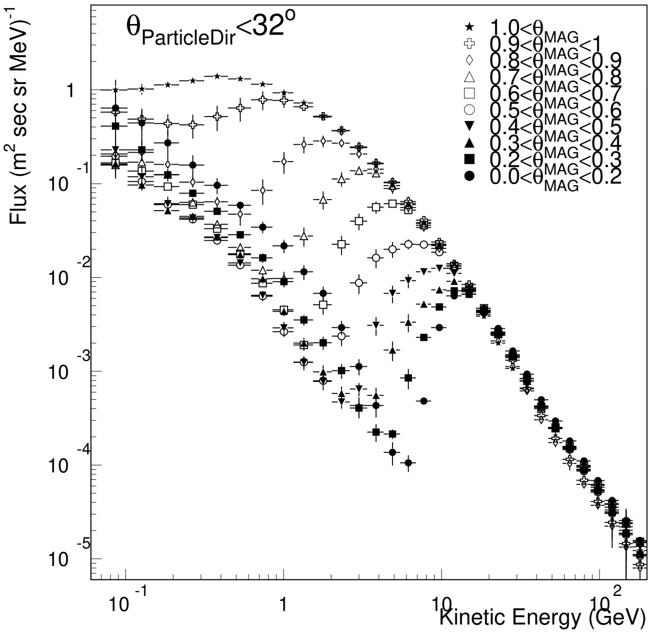



- Usando la deposición de energía en el tracker AMS es capaz de distinguir otros nucleos, lo que permite extender el estudio de antimateria a $Z > 2$.



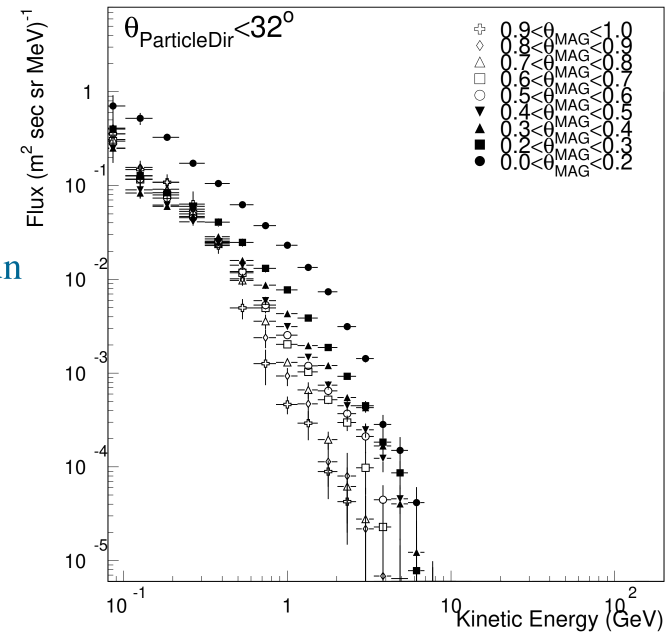

- Tras una selección análoga a la del caso $Z = 2$ se han observado un total de $1.56 \times 10^6$ $N(Z > 2)$ y ningun $\bar{N}(Z > 2)$.

Una función de verosimilitud fue construida usando los test beams y el montecarlo para seleccionar eventos con $Z = 1$. Esta muestra está formada casi en su totalidad por protones, aunque presenta una pequeña contaminación de deuterones y piones cargados producidos en la parte superior del detector. Este background es suprimido imponiendo que la masa reconstruida esté dentro de $3\sigma$ de la del protón.



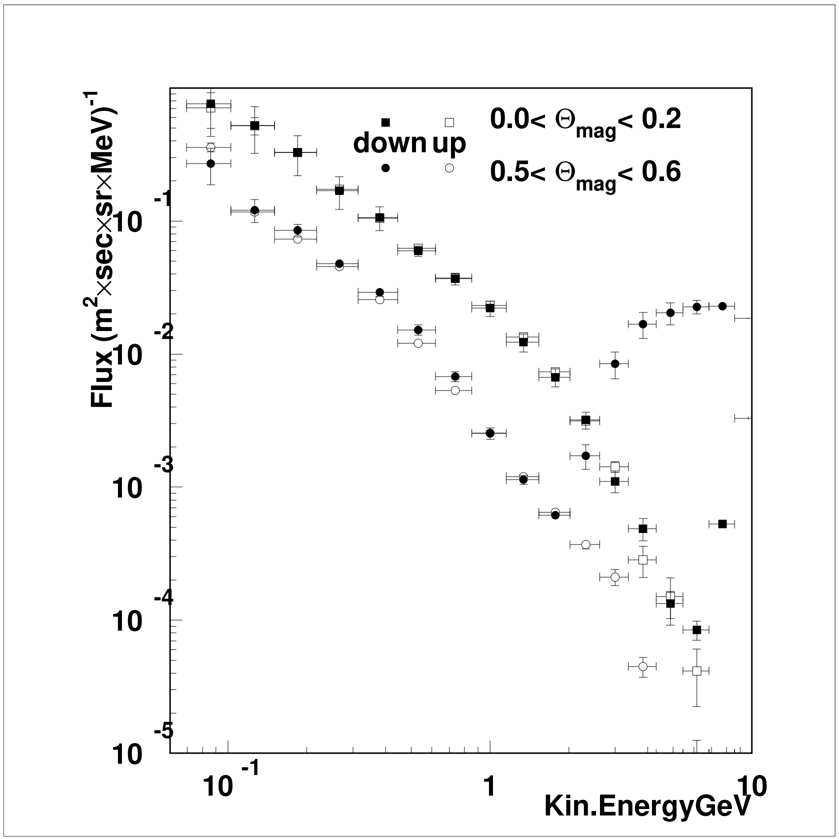

• Para protones descendentes se observa el efecto de la latitud y del cutoff. Aparece un inesperado espectro secundario por debajo del cutoff.

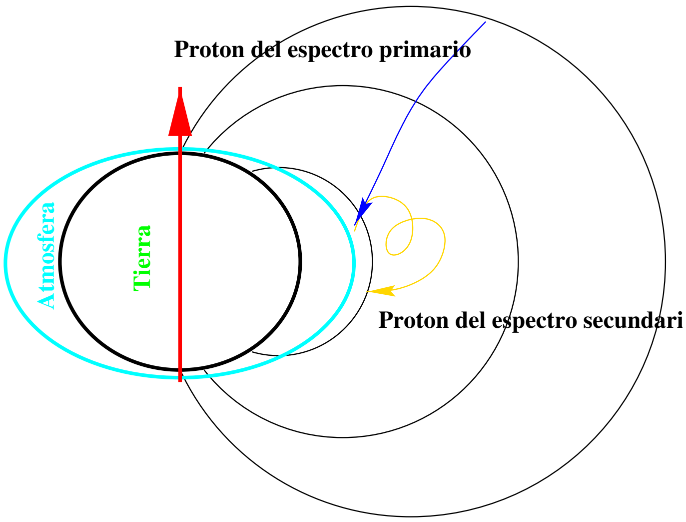
• Para protones ascendentes se observa un espectro análogo al secundario obtenido para los descendentes.



# AMS-01:Flujo de protones

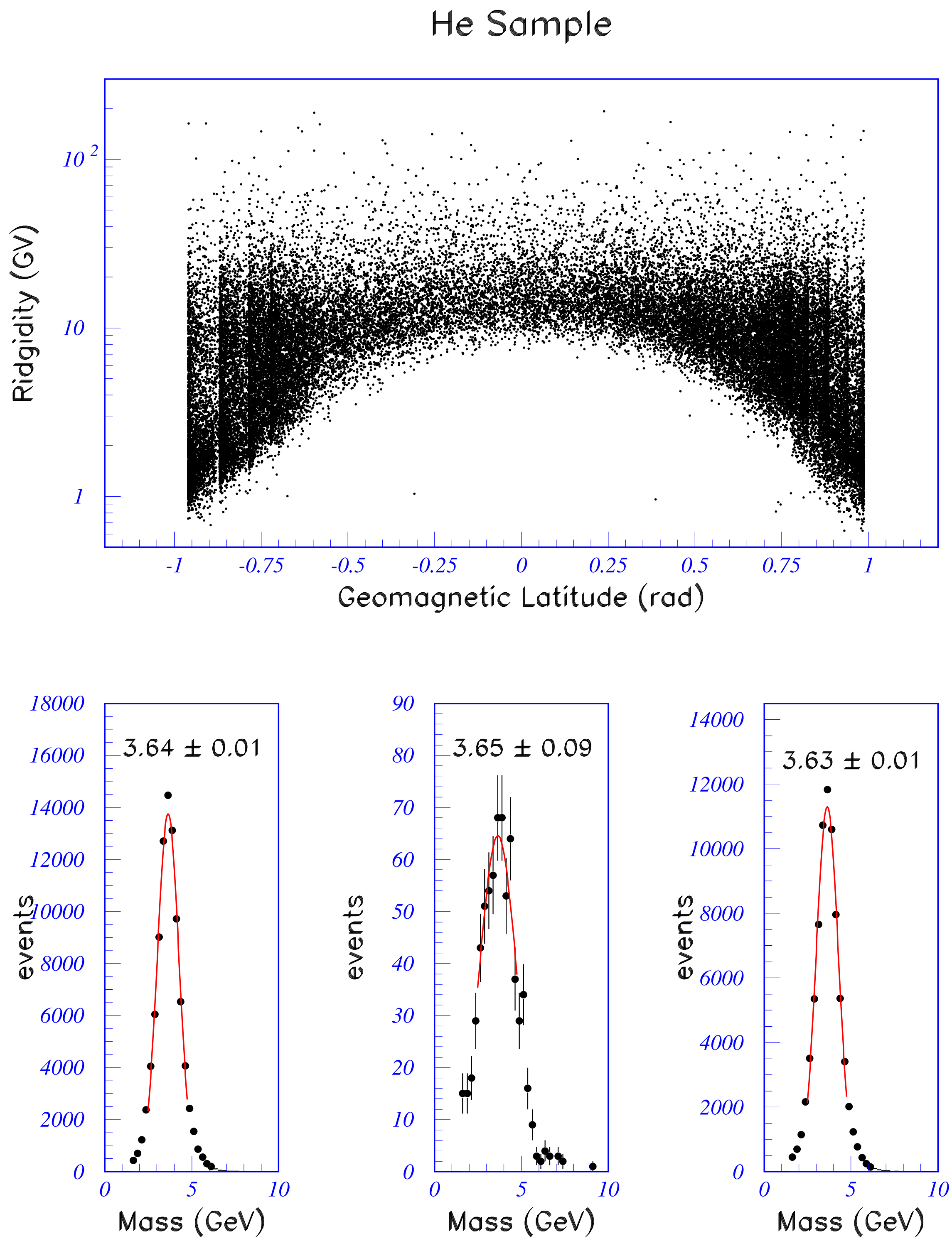
Si se superpone el flujo de los protones descendentes por debajo del cutoff sobre el de los ascendentes se observa que coinciden.



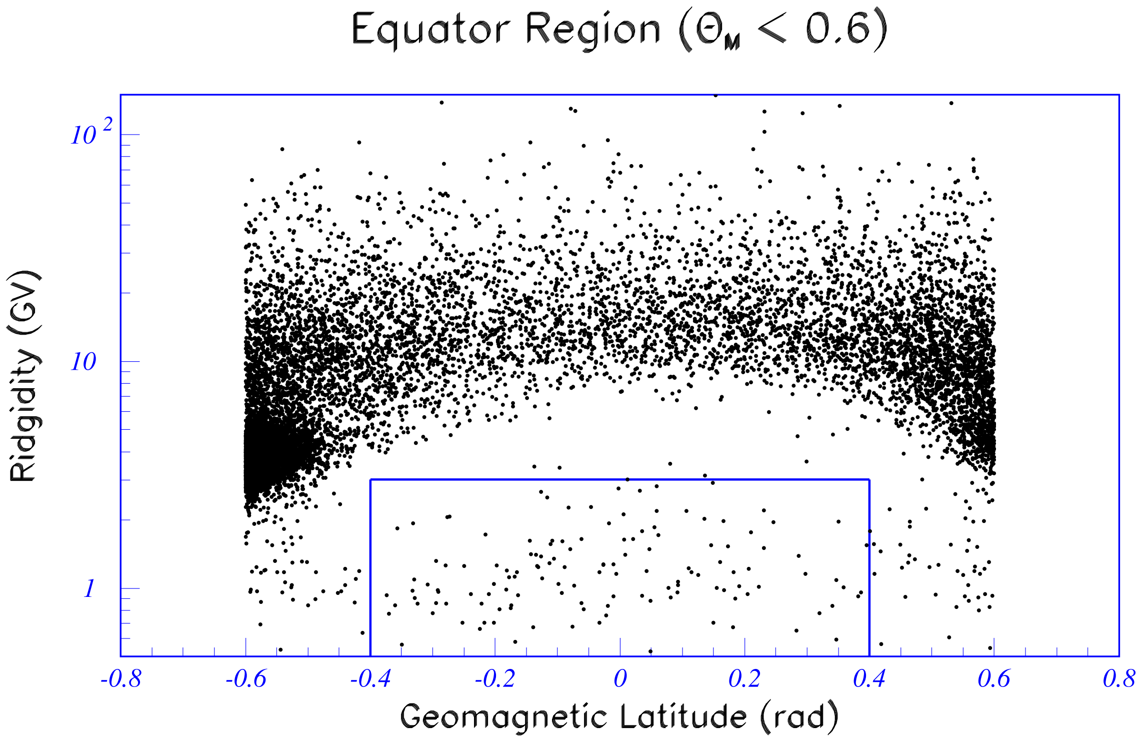

- Las trayectorias de estos protones ha sido calculada. Se observa que proceden de la atmósfera y están atrapados en bucles en el campo geomagnético entre 0.3 y 10 segundos lo que explica que ambos flujos coincidan.

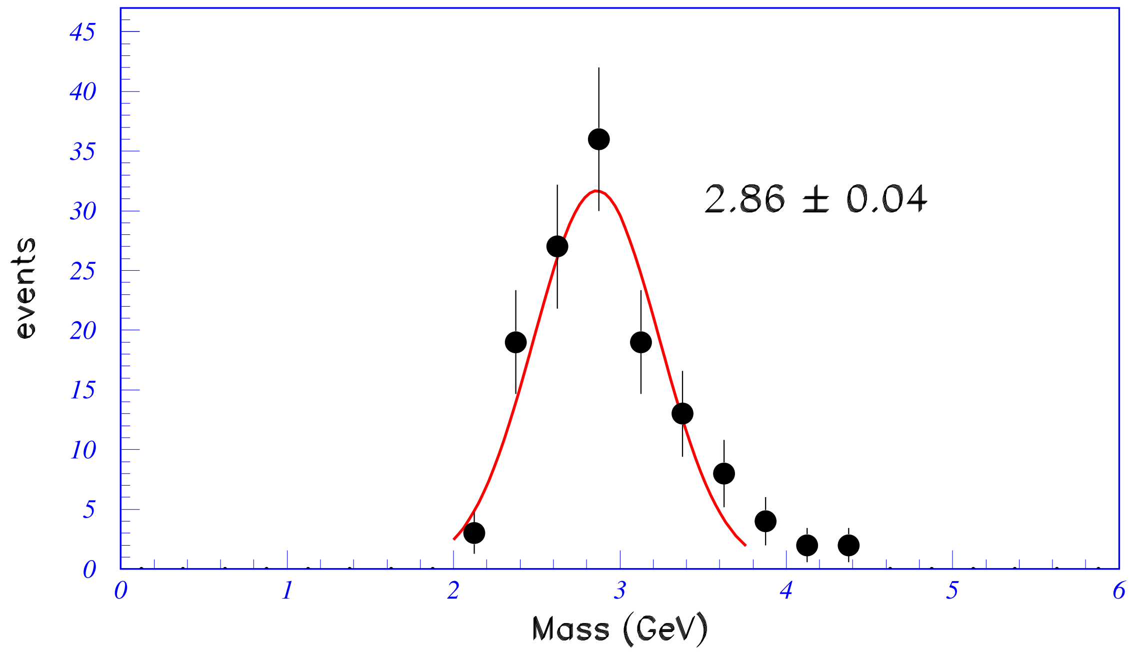
Se espera que en los rayos cósmicos primarios el 90% de los nucleos con $Z = 2$ sea $He^4$ y el resto $He^3$. Los datos son compatibles con esta estimación.



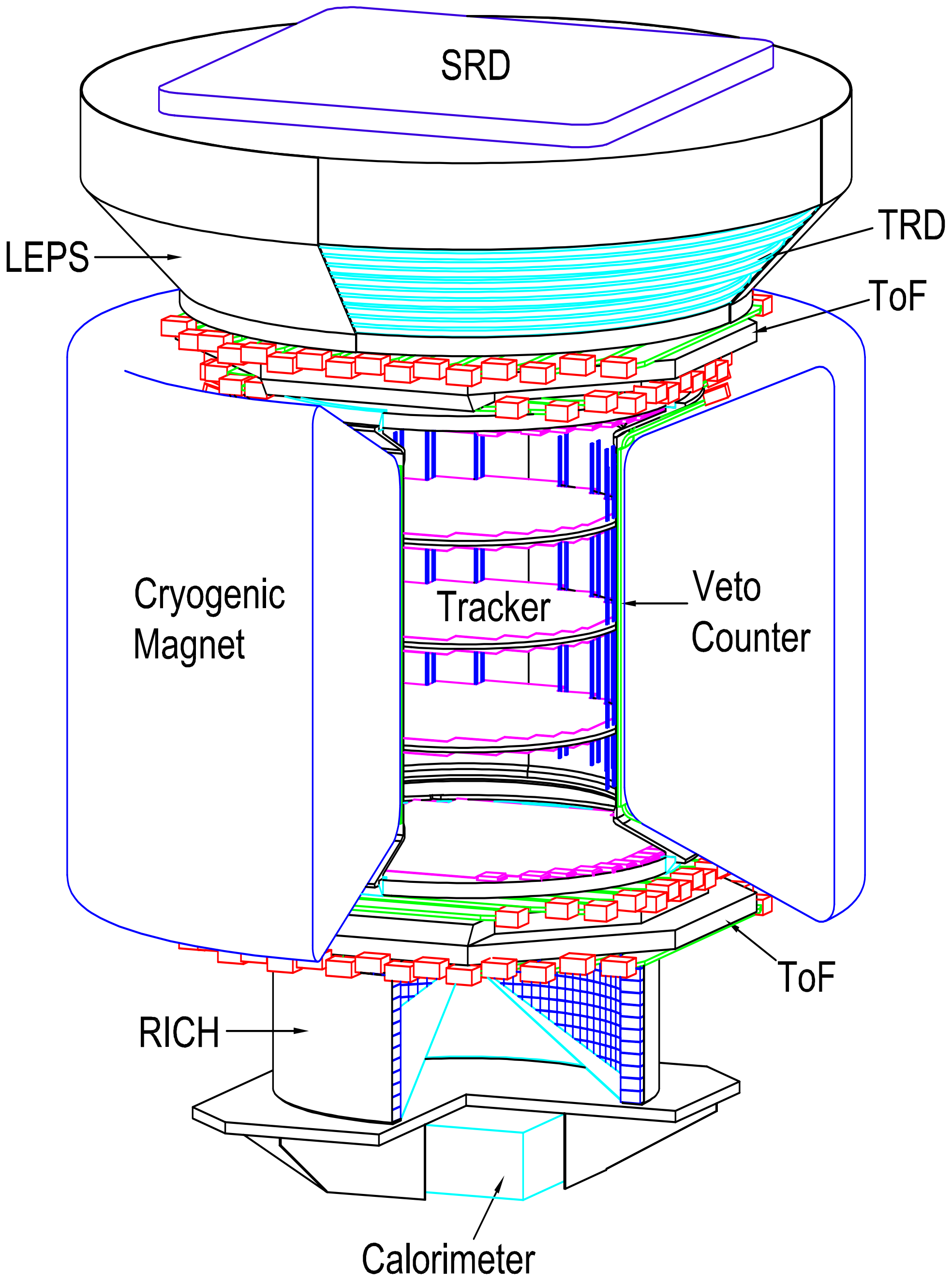
## AMS-01:Contenido de $He^3$ y $He^4$

Al igual que con los $p$, encontramos nucleos de $He$ por debajo del cutoff, especialmente cerca del ecuador magnético. Estos eventos son compatibles con un 95% de $He^3$ frente a un 5% de $He^4$.



AMS-02 partirá con destino a la estación espacial internacional (ISS) el 3 de Mayo del 2003 con el objetivo de tomar datos durante unos tres años. La altura a la que estará situado será en torno a los 430 Km. El nuevo detector incorpora importantes mejoras respecto a AMS-01.



## Los componentes de AMS-01 han sido mejorados...

- Tracker: Se han añadido dos nuevos planos con lo que la reconstrucción de la trayectoria es más fiable.
- Imán: Se ha sustituido por uno superconductor con un campo 6.3 veces mayor con la mitad de peso. Junto con el tracker permite extender la medida del momento hasta $\sim 1TeV$. La NASA está especialmente interesada en la tecnología desarrollada para este componente.
- RICH: Permite determinar $\beta$ con un error $\sim 0.1\%$ a partir de $\beta = 0.88$. El CIEMAT colabora intensamente en las labores de diseño de este intrumento y en el software asociado.

## Y se han añadido nuevos subdetectores...

- Synchrotron Radiation Detector: Permitirá detectar fotones emitidos por los rayos cósmicos en su movimiento en el seno del campo geomágnetico. A parte de estudiar el espectro $\gamma$, permitirá complementar la medida del signo de la carga en el tracker.
- TRD: Complementa la medida de la trayectoria del tracker y permitirá separar electrones de protones hasta $\sim 1TeV$.
- ECAL: Complementa al tracker, permite separar electrones de protones hasta $\sim 1TeV$ y permite estudiar el espéctro de $\gamma$, junto con el SRD, entre 1 y 300 GeV.

## Y la aceptancia es $\sim 3$ veces mayor que la de AMS-01.

La producción de AMS-02 deberá iniciarse a medidados del año 2000 para pasar los test de cualificación de la NASA a tiempo para el lanzamiento.

De la experiencia adquirida lo que se espera obtener de AMS en ISS es...

| | Antes de AMS | AMS-02 | Rango de E(GeV) |
|---|---|---|---|
| $e^+$ | $\sim$ 1500 evts | $\sim 10^8$ evts | 0.5-1000 |
| $\bar{p}$ | $\sim$ 75 evts | $\sim 5 \times 10^8$ evts | 0.5-1000 |
| límite en $\bar{He}/He$ | $\sim 10^{-5}$ | $\sim 10^{-9}$ | 0.5-200 |
| límite en $\bar{C}/C$ | $\sim 10^{-4}$ | $\sim 10^{-8}$ | 0.5-200 |
| Error en $Be^9/Be^{10}$ | Sin datos anteriores | $\pm 2\%$ | 1-30 |
| $\gamma$ | Sin datos anteriores | | 1-300 |

# Conclusiones

- AMS-01 he mejorado los límites que existian tras veinte años de experimentos en tan sólo 9 dias para los datos cuyo análisis se ha completado.
- Se han encontrado nuevos fenomenos, y se ha trazado la trayectoria de partículas individulas a unos 360 Km por primera vez.
- Asi mismo se ha demostrado que la tecnología utilizada es robusta.
- A menos de un año del comienzo de la producción de AMS-02, el futuro que se le augura a la segunda fase es prometedor.
- Aún queda mucho por hacer: terminar el diseño de los nuevos subdetectores, desarrollar el nuevo software y mejorar el existente con la experiencia adquirida, completar el análisis de los datos recogidos en AMS-01, ...