

The background of the slide is a deep space image featuring a vibrant nebula. The central part of the nebula is a bright, glowing blue, surrounded by swirling clouds of orange and red gas. The entire scene is set against a dark, star-filled background with numerous small, distant stars visible.
$$1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7 + \dots + \infty = -\frac{1}{12}$$

This page has been created to confuse the audience



Universidad
Católica del Norte



lawphysics
Latin American Webinars on Physics

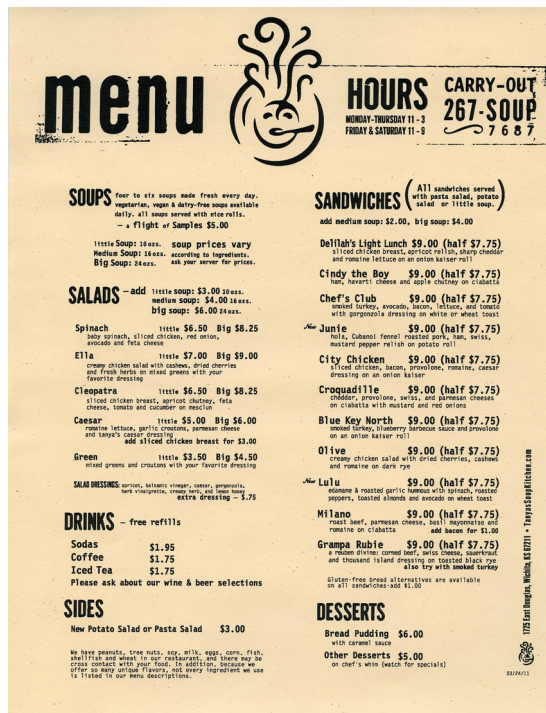
Rayos Cósmicos para cazar Materia Oscura

Roberto A. Lineros

Departamento de Física, Universidad Católica del Norte

Prácticas de Verano 2019

Lo que vamos a ver:



- ¿Qué son los rayos cósmicos?
- Propagación de rayos cósmicos
- Fuentes astrofísicas
- Materia Oscura

¿Qué son los rayos cósmicos?



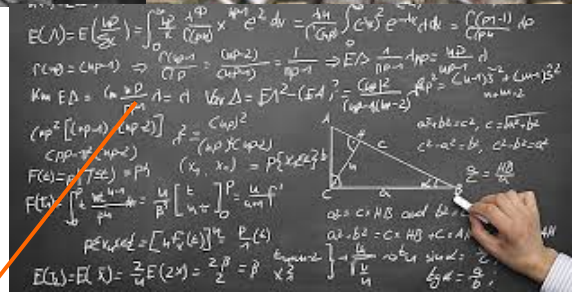
¿Qué son los rayos cósmicos?



Astrofísica
Astronomía

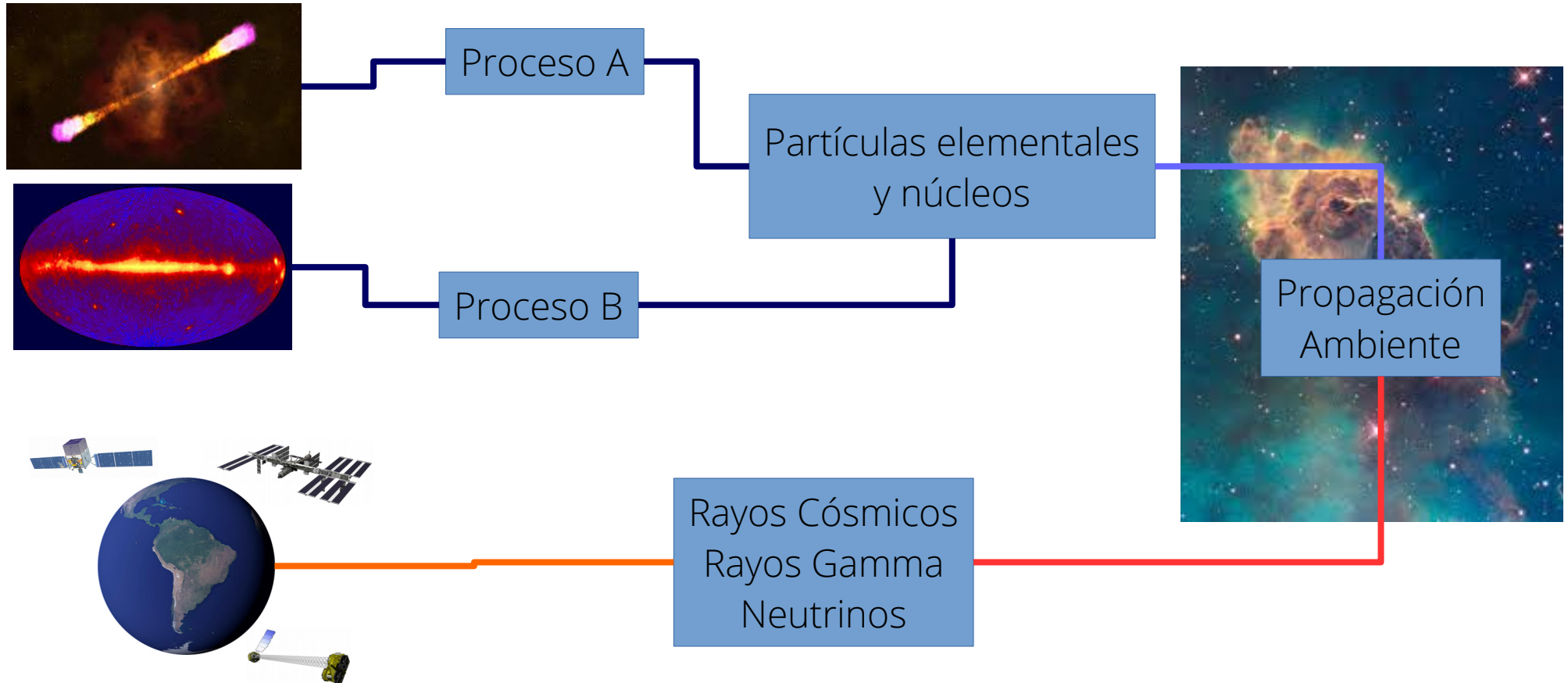


Física de partículas



Física de astropartículas

¿Qué son los rayos cósmicos?



¿Qué son los rayos cósmicos?

Características generales:

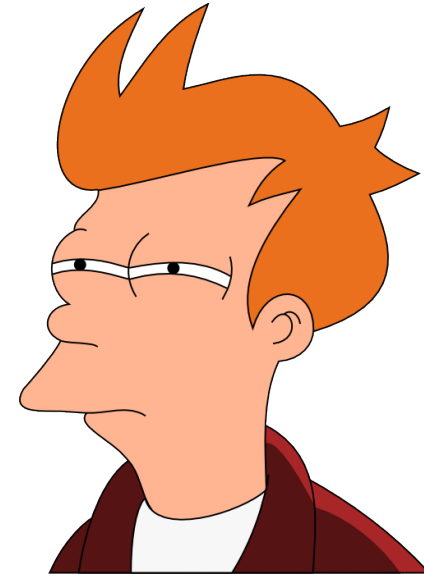
- Carga eléctrica
- Estable (o con vida media muy larga)

¿Qué son los rayos cósmicos?

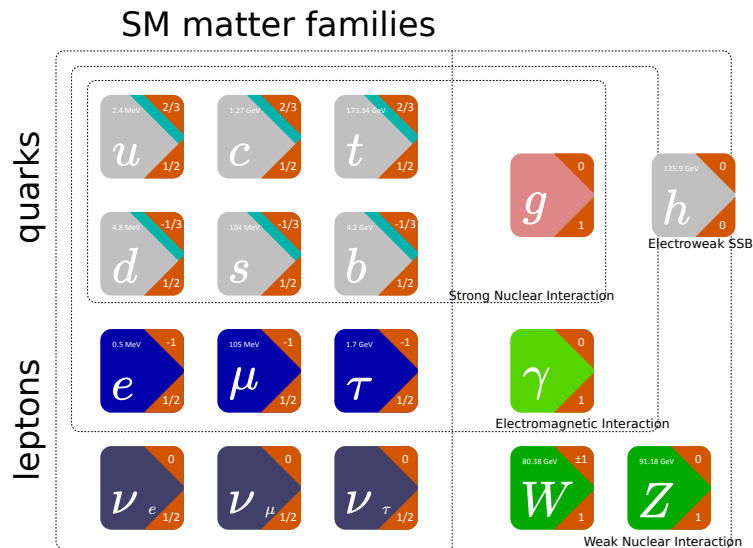
Características generales:

- Carga eléctrica
- Estable (o con vida media muy larga)

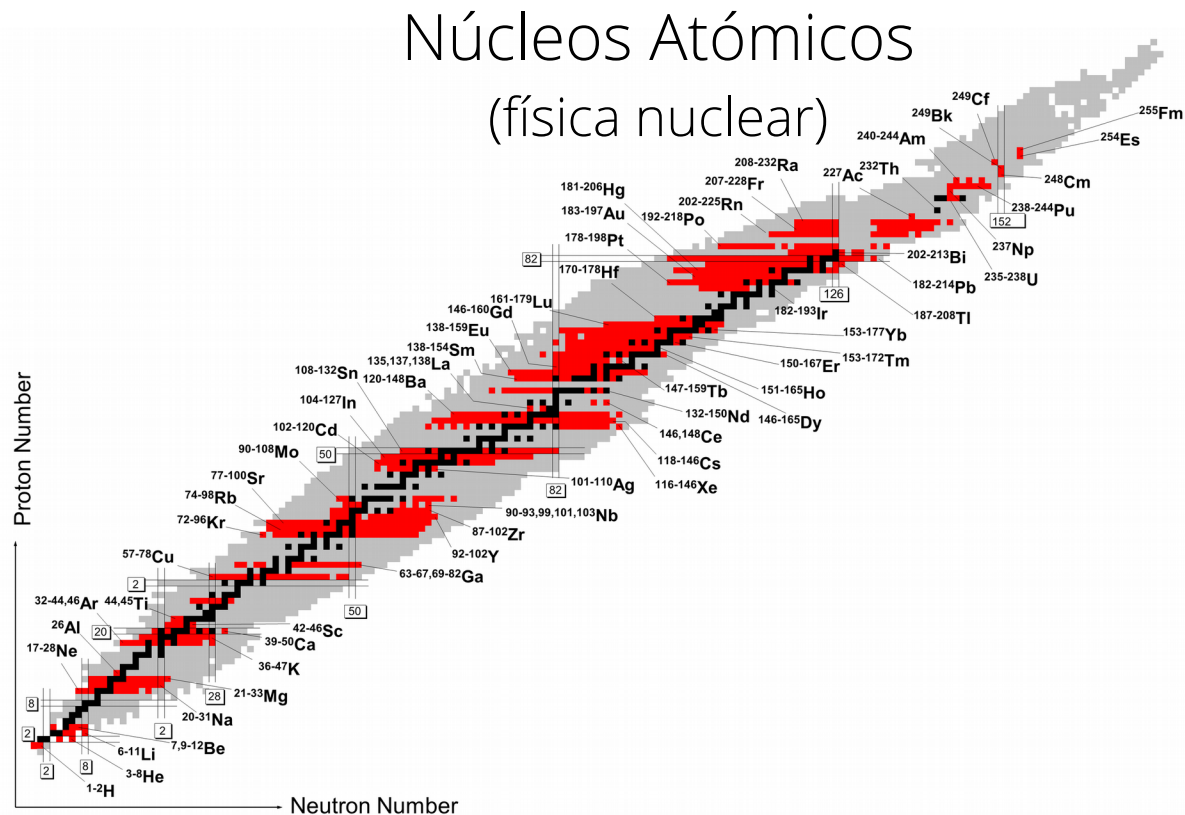
¿Cuántos
serán?



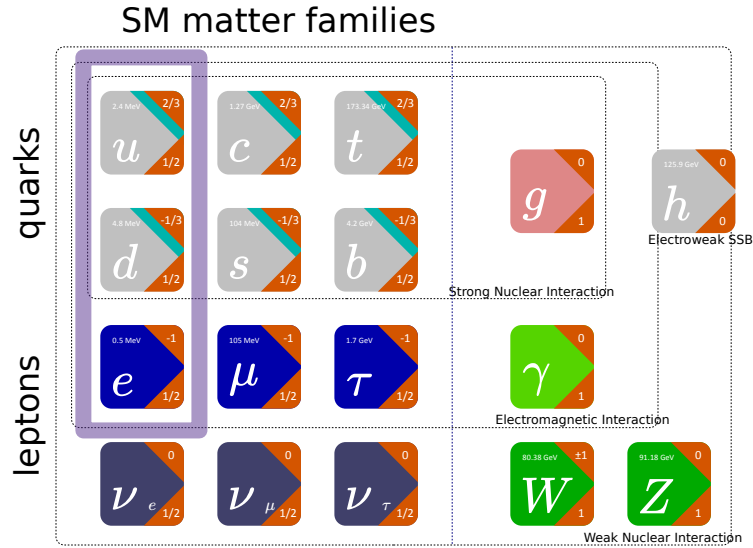
¿De que están compuestas?



Modelo Estándar (física de partículas)



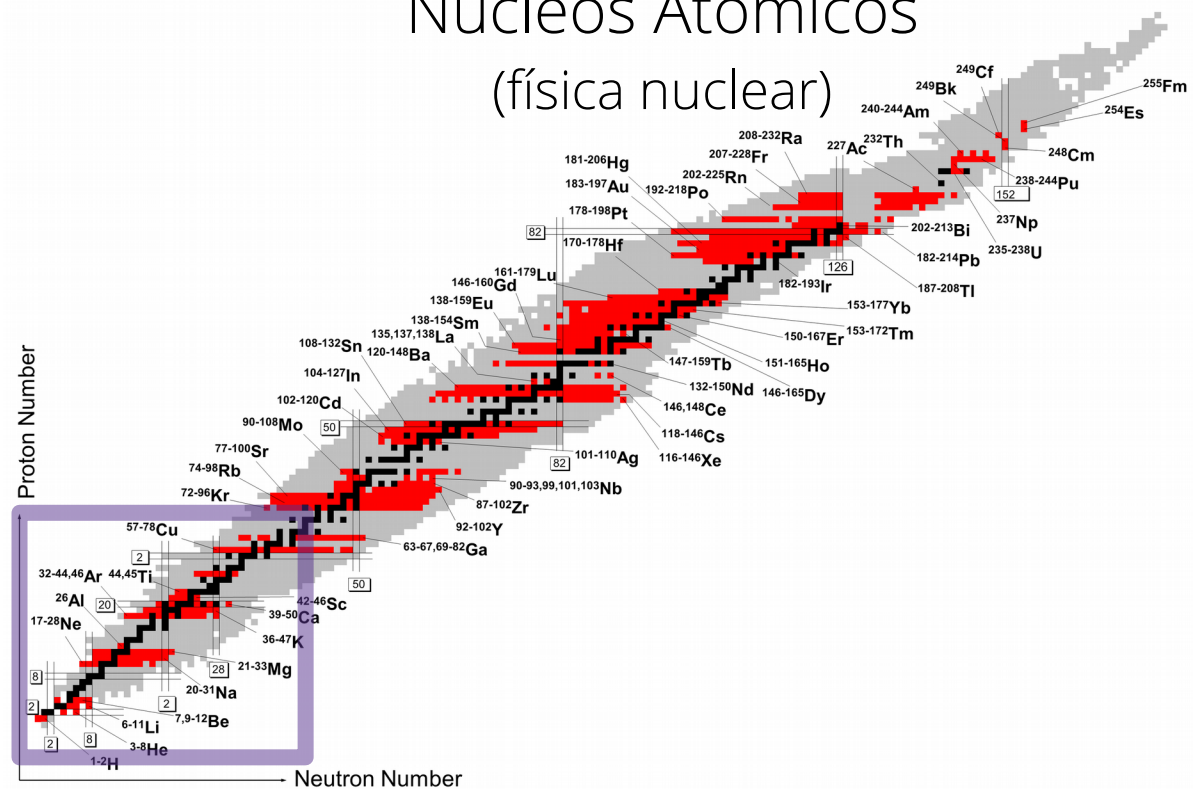
¿De que están compuestas?



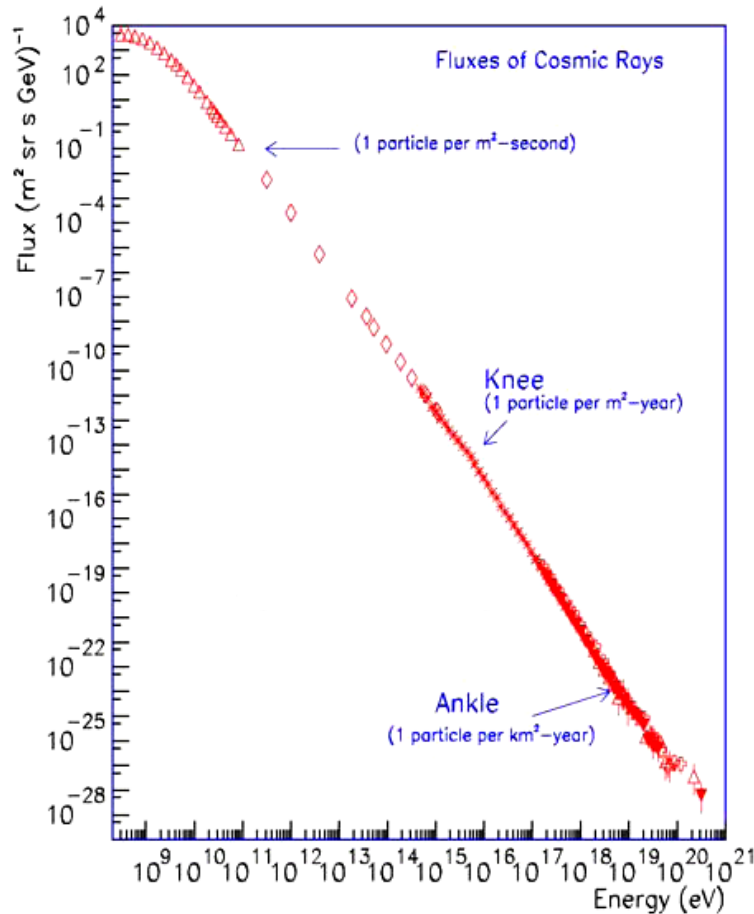
Modelo Estándar
(física de partículas)

05/01/2019

Núcleos Atómicos (física nuclear)



Espectro de energía

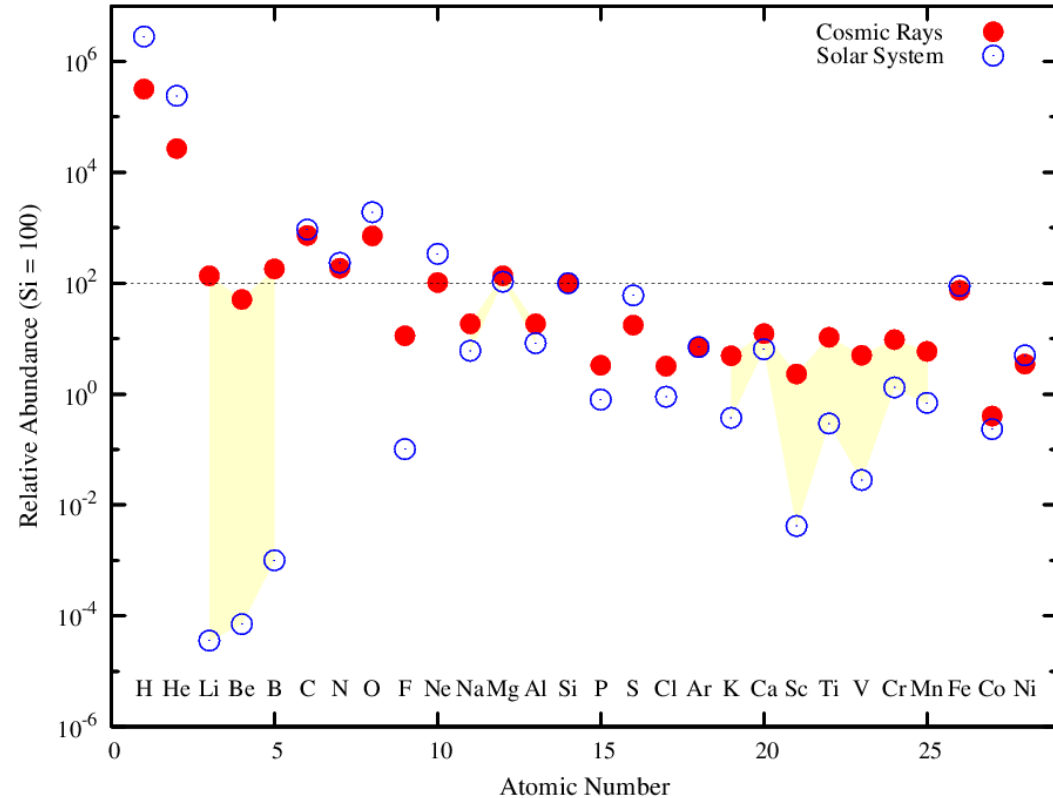


El flujo observado va desde los 10^6 hasta los 10^{21} eV de energía

En ese rango el flujo varia 32 ordenes de magnitud siguiendo una ley de potencia

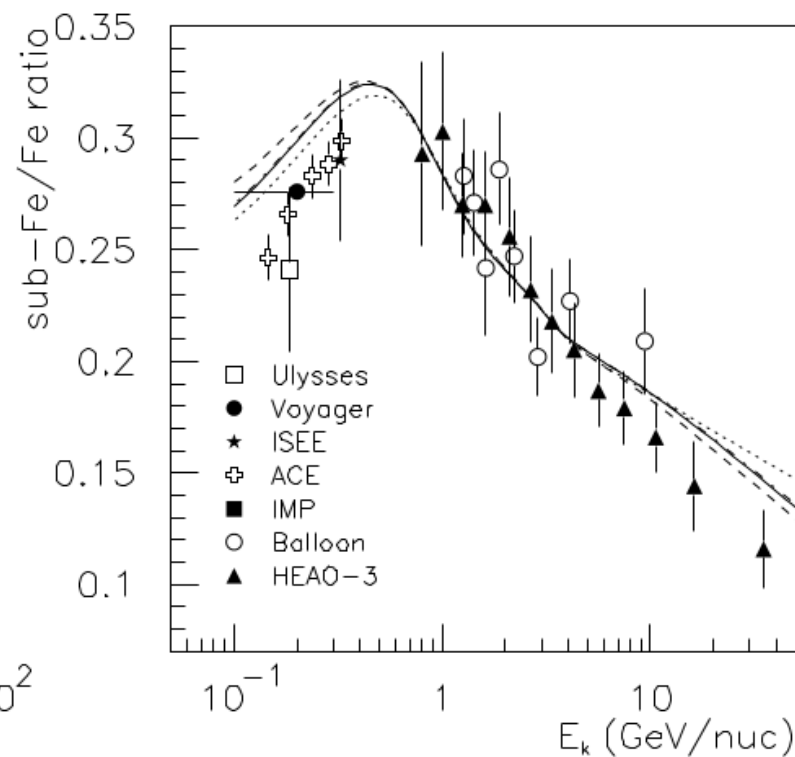
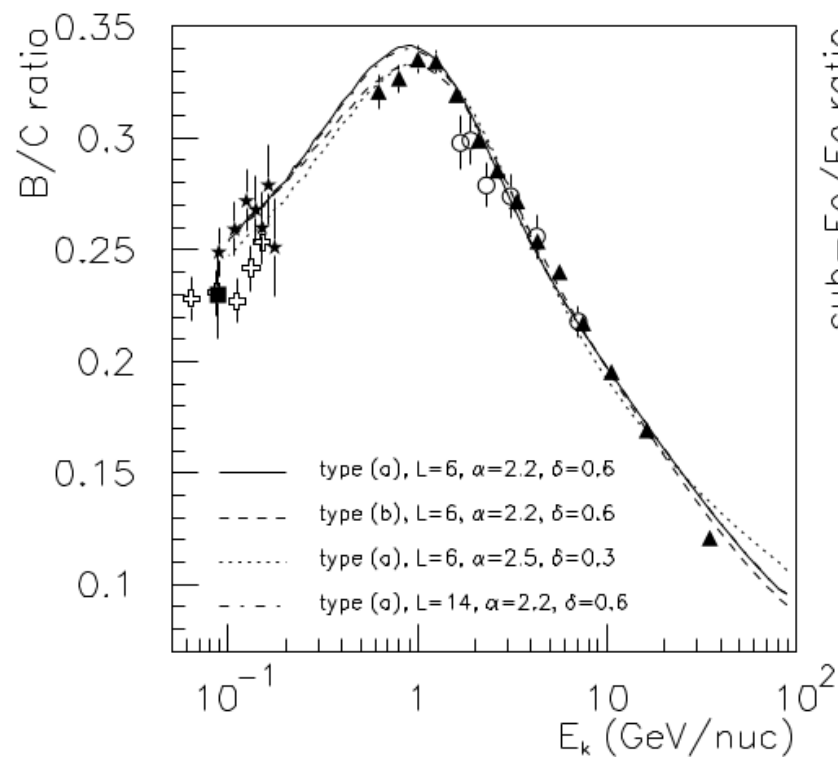
Dependiendo de la energía del RC se puede estimar el origen.

Composición



Las abundancias relativas nos dan a conocer por donde han estado

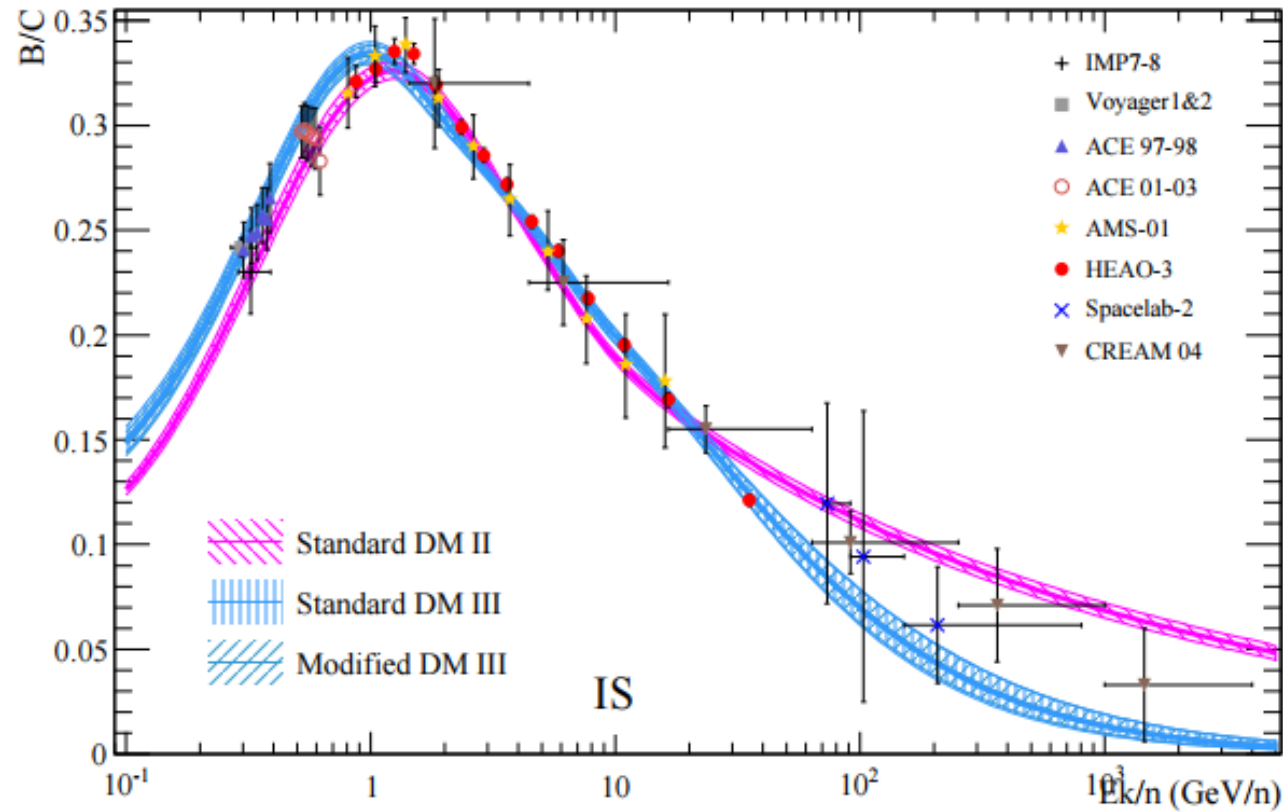
Composición



astro-ph/0212111

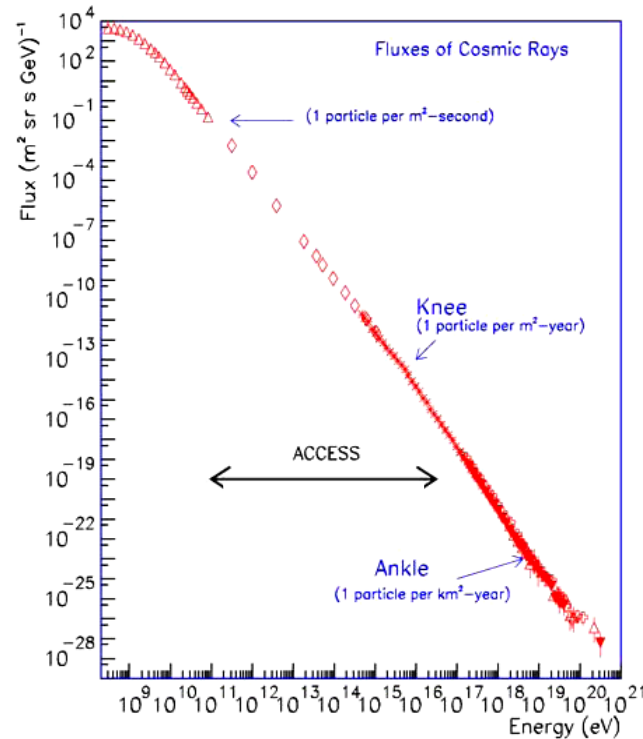
Composición

Arxiv:1001.0551



¿Cómo observarlos?

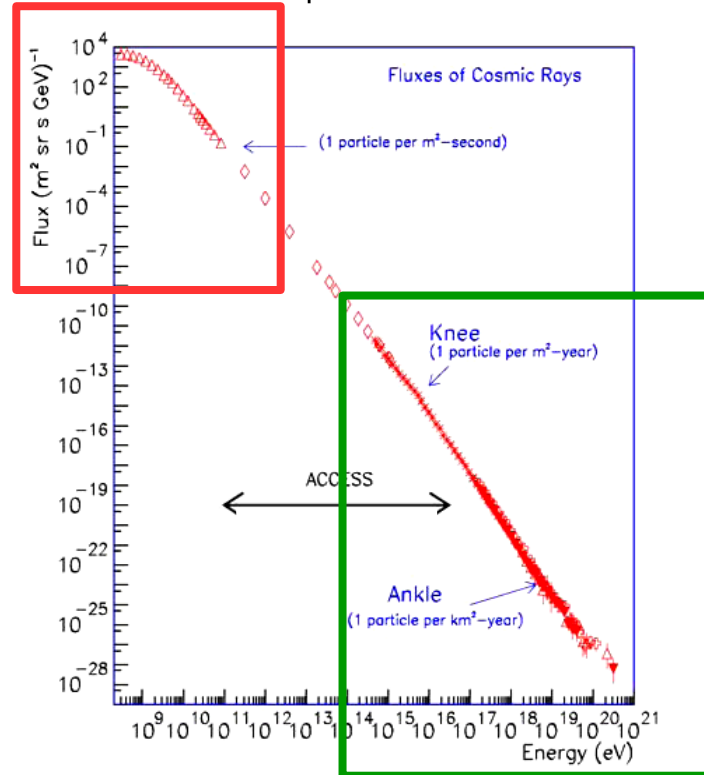
Dependiendo de la escala de energía la atmósfera puede **bloquear** los RC o puede servir como **detector**



¿Cómo observarlos?

Dependiendo de la escala de energía la atmósfera puede **bloquear** los RC o puede servir como **detector**

globos
espacio



detectores
en superficie

¿Cómo observarlos?



ATIC (antartida)



PAMELA (satélite)

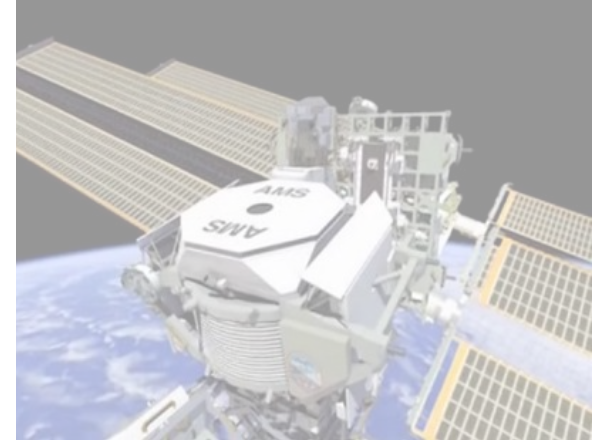
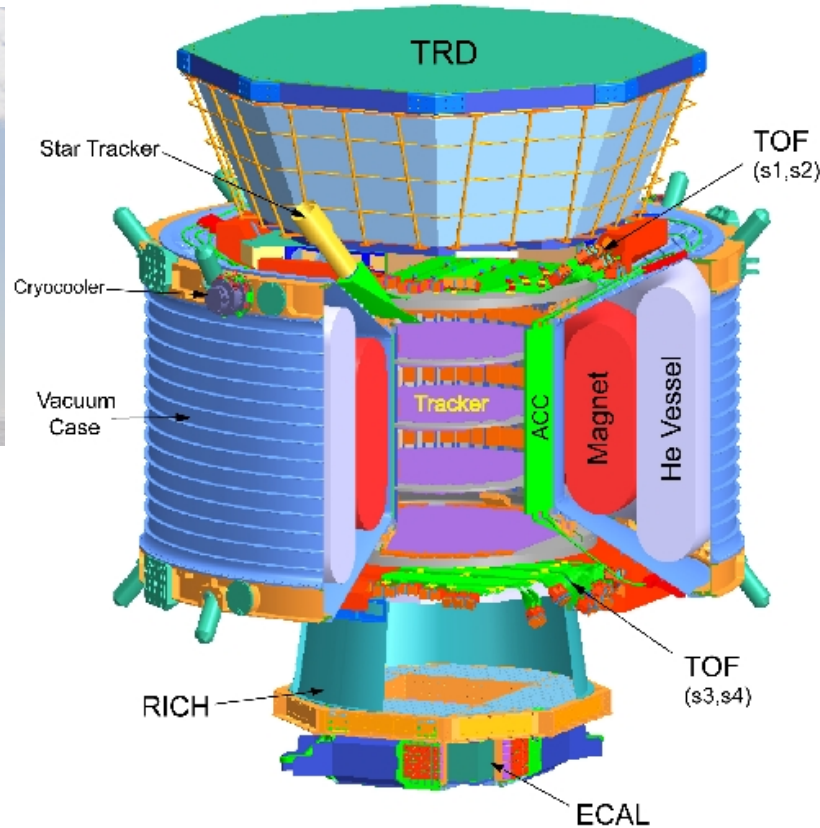


AMS02 (ISS)

¿Cómo observarlos?



ATIC (antartida)

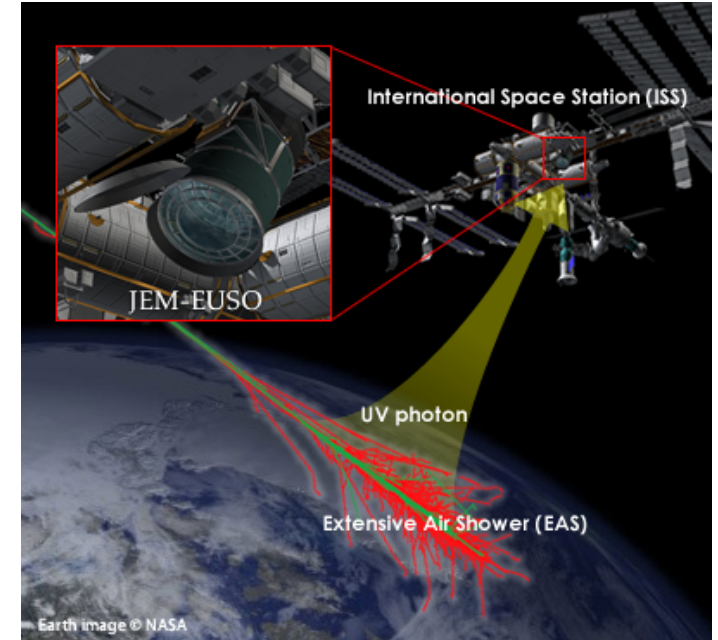


AMS02 (ISS)

¿Cómo observarlos?



Pierre Auger (Argentina)



JEM-EUSO (ISS)

¿Cómo observarlos?

LAGO (América latina)



How it works?

- Non-centralized, collaborative network of institutions
- 3 working groups, 9+2 members coordination committee, 1 pi
- Developments, expertise and data are shared across the network



A photograph taken from the International Space Station (ISS) showing the Earth's horizon and the station's complex structure. In the foreground, a large white experiment package is visible, with the letters 'AMS' printed in blue on its top surface. To the right, a white and black rocket or shuttle is docked. The sun is visible in the upper left corner, creating a bright lens flare. The text 'Propagación de Rayos Cósmicos (galácticos)' is overlaid in the center of the image.

Propagación de Rayos Cósmicos (galácticos)

Propagación de rayos cósmicos



Propagación de rayos cósmicos



NGC891
Emisión radio

Propagación de rayos cósmicos

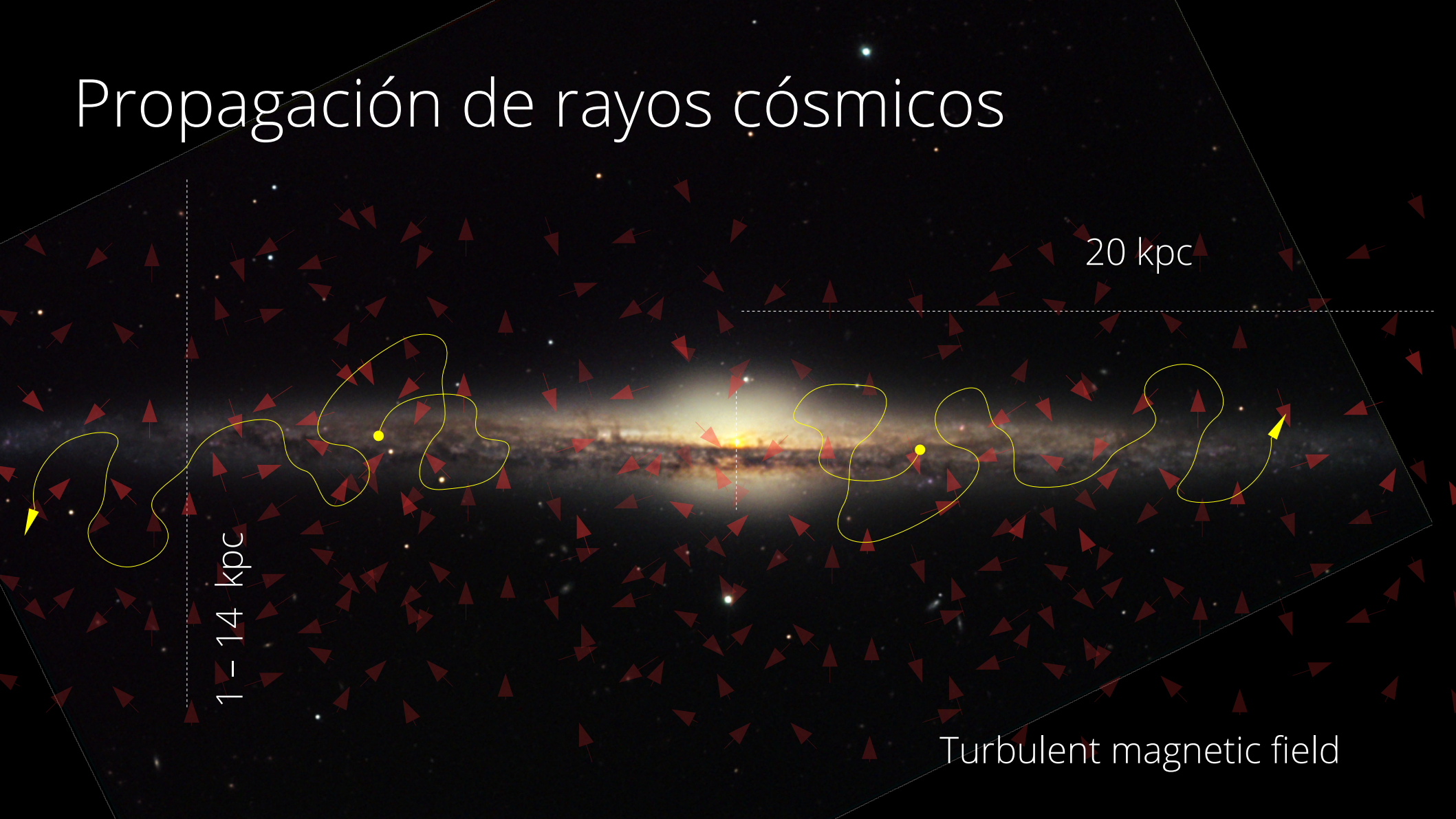


Campo magnético turbulento

Propagación de rayos cósmicos



Propagación de rayos cósmicos



Propagación de rayos cósmicos



The diagram shows a cylindrical volume in space, outlined by three horizontal ellipses. A central galaxy is visible within the cylinder. A vertical dashed line on the left indicates the length of the cylinder, labeled L_z . A horizontal dashed line on the right indicates the radius of the cylinder, labeled R .

 L_z R

$$b(\epsilon) = b_0 \epsilon^2$$

$$D(\epsilon) = K_0 \epsilon^\delta$$

Ecuación de transporte (estática)



La ecuación estática sin términos convectivos es:

$$-D(\epsilon)\nabla^2\psi - \partial_\epsilon (b(\epsilon)\psi) = s(\vec{x}, \epsilon)$$

La función de Green corresponde a la solución para una fuente puntual:

$$-D(\epsilon)\nabla^2G - \partial_\epsilon (b(\epsilon)G) = \delta^3(\vec{x} - \vec{x}_s)\delta(\epsilon - \epsilon_s)$$

La solución para una fuente arbitraria se obtiene haciendo la convolución:

$$\psi(\vec{x}, \epsilon) = \int_\epsilon^\infty d\epsilon_s \int d^3x_s s(x_s, \epsilon_s) G(\vec{x}, \vec{x}_s, \epsilon, \epsilon_s)$$

Fuentes astrofísicas de electrones y positrones

Primarios: Remanentes de supernova y pulsars

- Secundarios: Interacción RC nucleares con el medio interestelar

Rayos cósmicos primarios

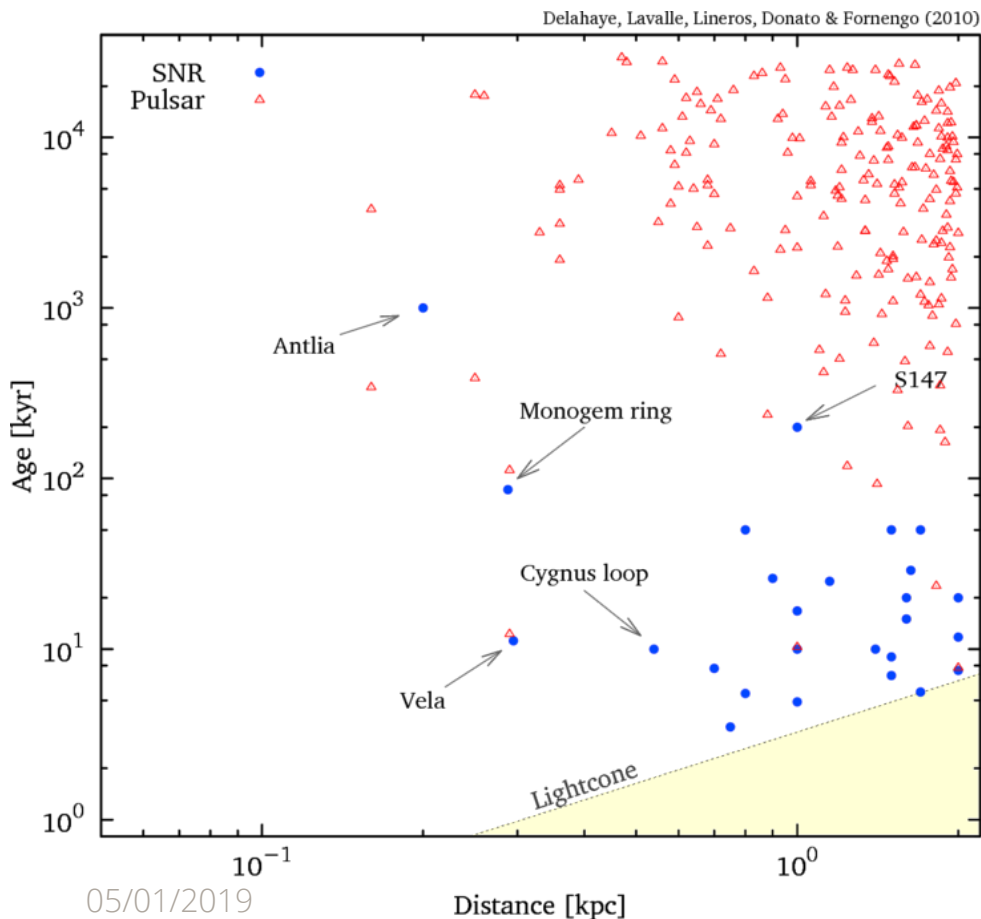


Son generados por la actividad astrofísica.

A la escala del GeV, las fuentes típicas son:

- Remanentes de supernova
- Pulsares

Rayos cósmicos primarios



La diferencia con otras fuentes es que son discretas en el tiempo.

A una distancia de 2 kpc:

- 20 SNRs
- 200 Pulsars

$$\Gamma_{\text{SN}} \sim 3/\text{siglo}$$

Ecuación de transporte (tiempo dependiente)

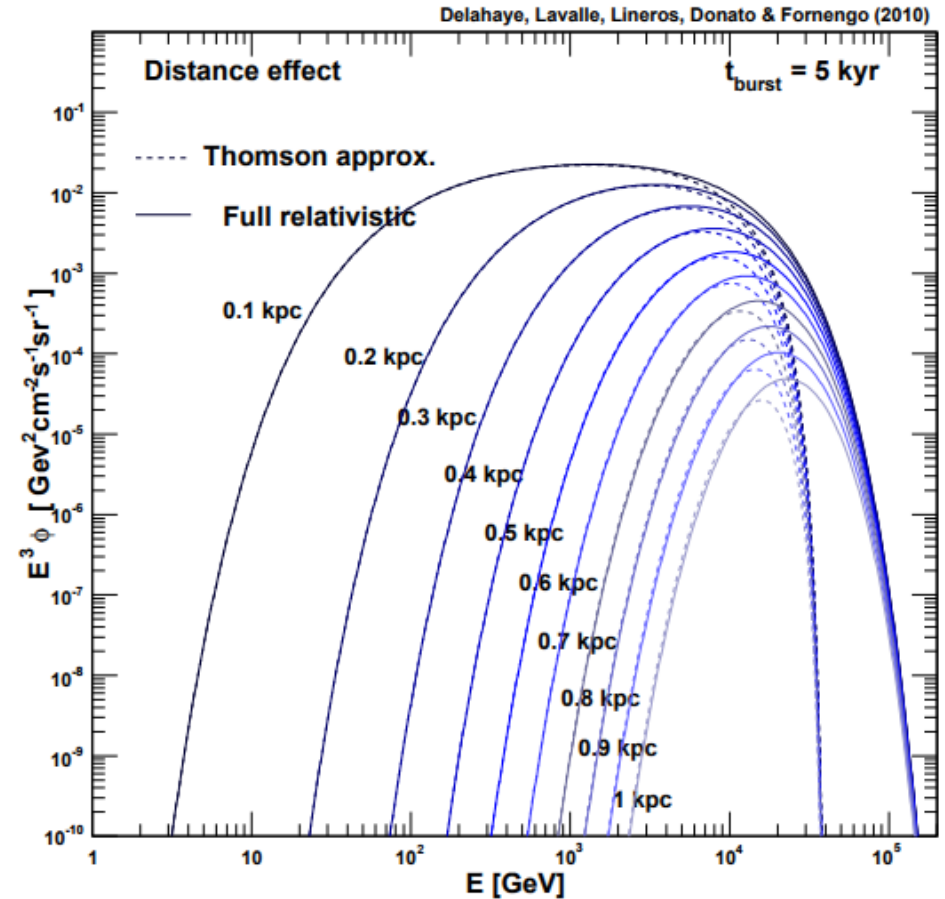
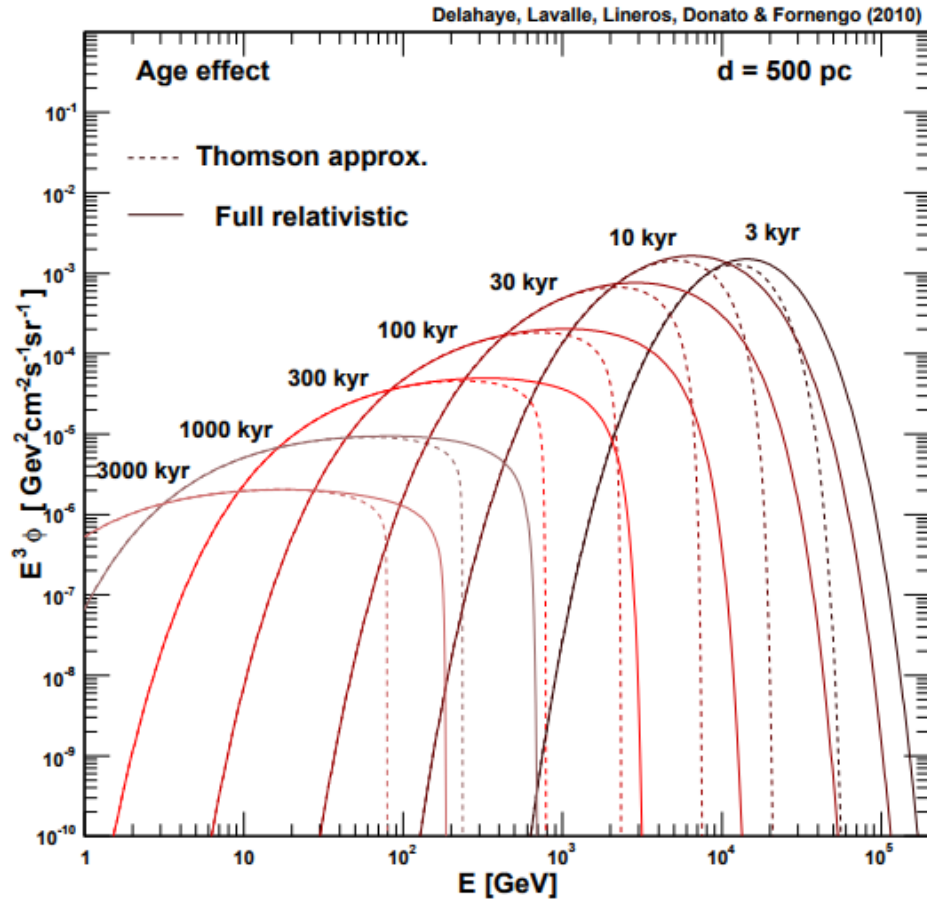
En este caso la ET se modifica:

$$\partial_t \psi - D(\epsilon) \nabla^2 \psi - \partial_\epsilon (b(\epsilon) \psi) = s(t, \vec{x}, \epsilon)$$

Y la función de Green se obtiene de la misma manera:

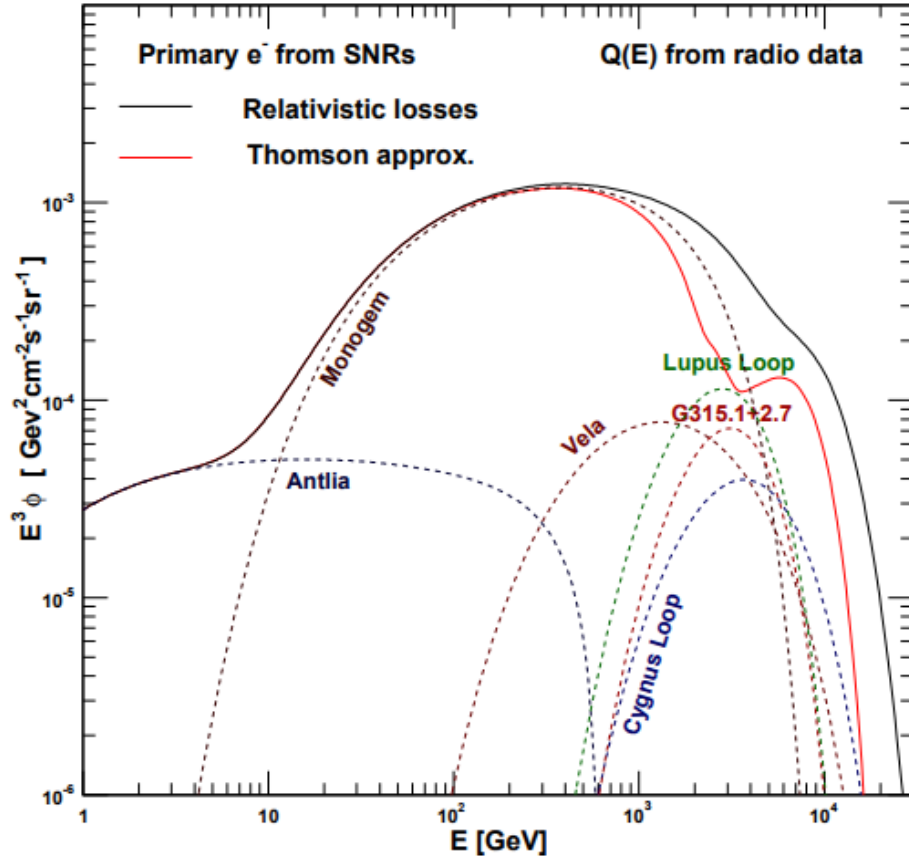
$$\partial_t G - D(\epsilon) \nabla^2 G - \partial_\epsilon (b(\epsilon) G) = \delta(t - t_s) \delta^3(\vec{x} - \vec{x}_s) \delta(\epsilon - \epsilon_s)$$

Soluciones tiempo dependiente

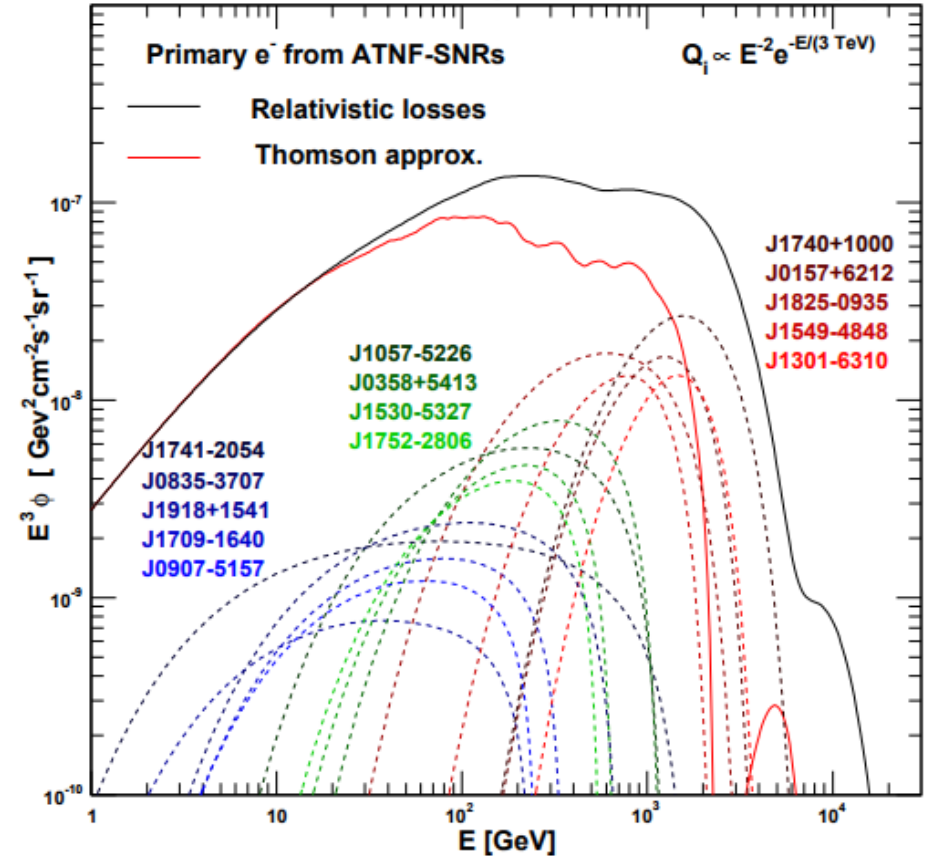


Flujos provenientes de primarios

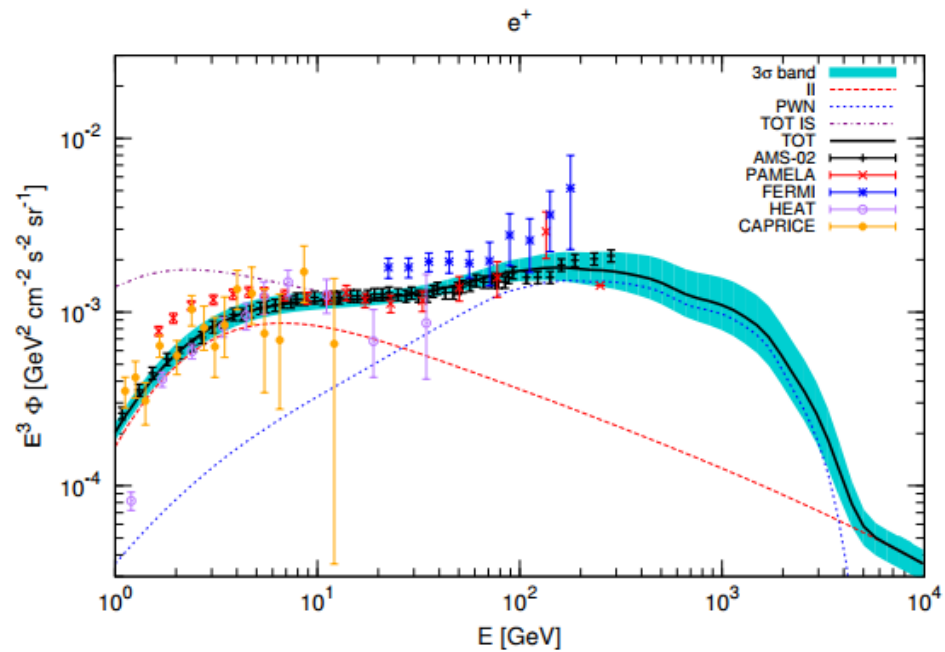
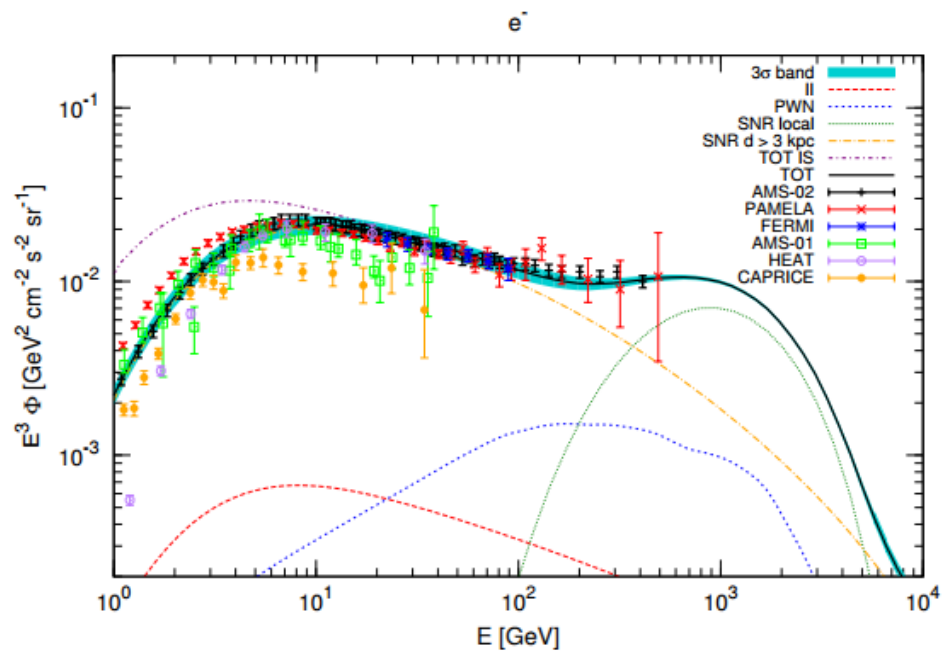
Delahaye, Lavalle, Lineros, Donato & Fornengo (2010)



Delahaye, Lavalle, Lineros, Donato & Fornengo (2010)



Flujos totales

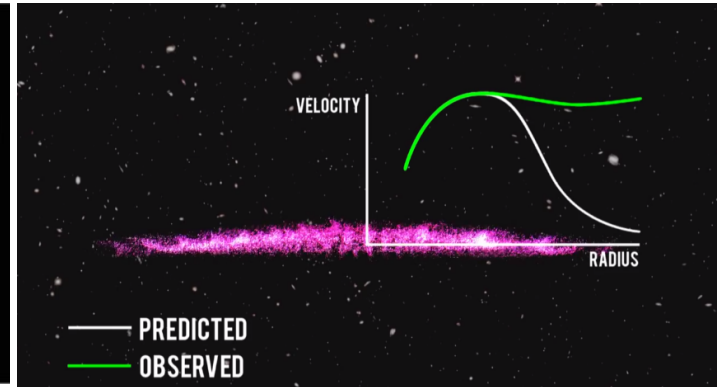
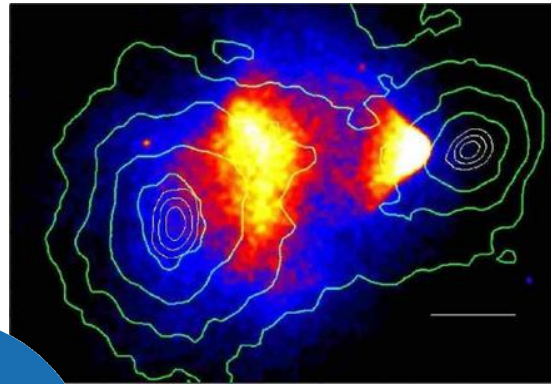
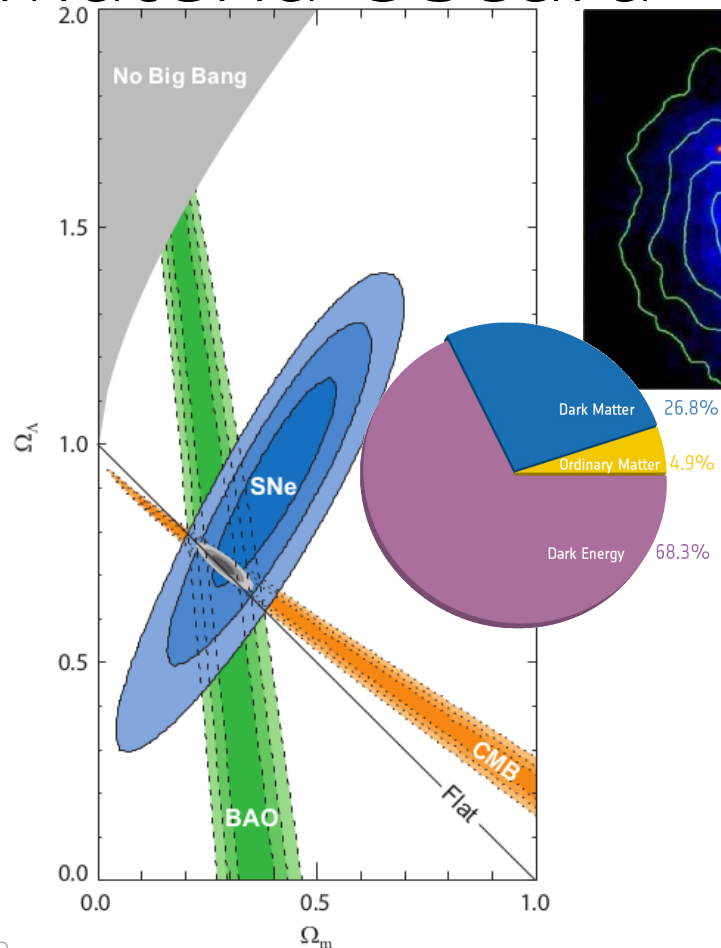


The background of the slide is a detailed visualization of the cosmic web, showing a dense network of filaments and nodes of matter in shades of purple and yellow.

Fuentes exóticas de rayos cósmicos:

Materia Oscura

Materia Oscura

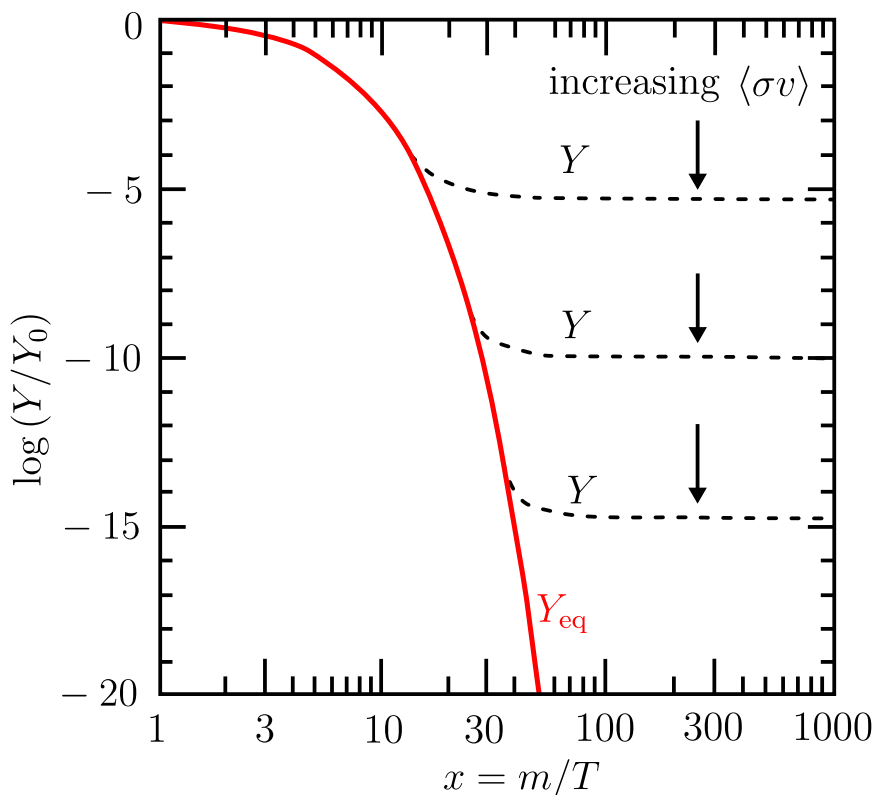


Observaciones que sustentan esta hipótesis:

- Dinámica de (cúmulos de) galaxias
- Formación de estructuras
- Anisotropías del CMB
- Oscilación Acústica de Bariones

$$\Omega_{\text{DM}} h^2 = 0.1196 \pm 0.0031$$

Materia Oscura tipo WIMP

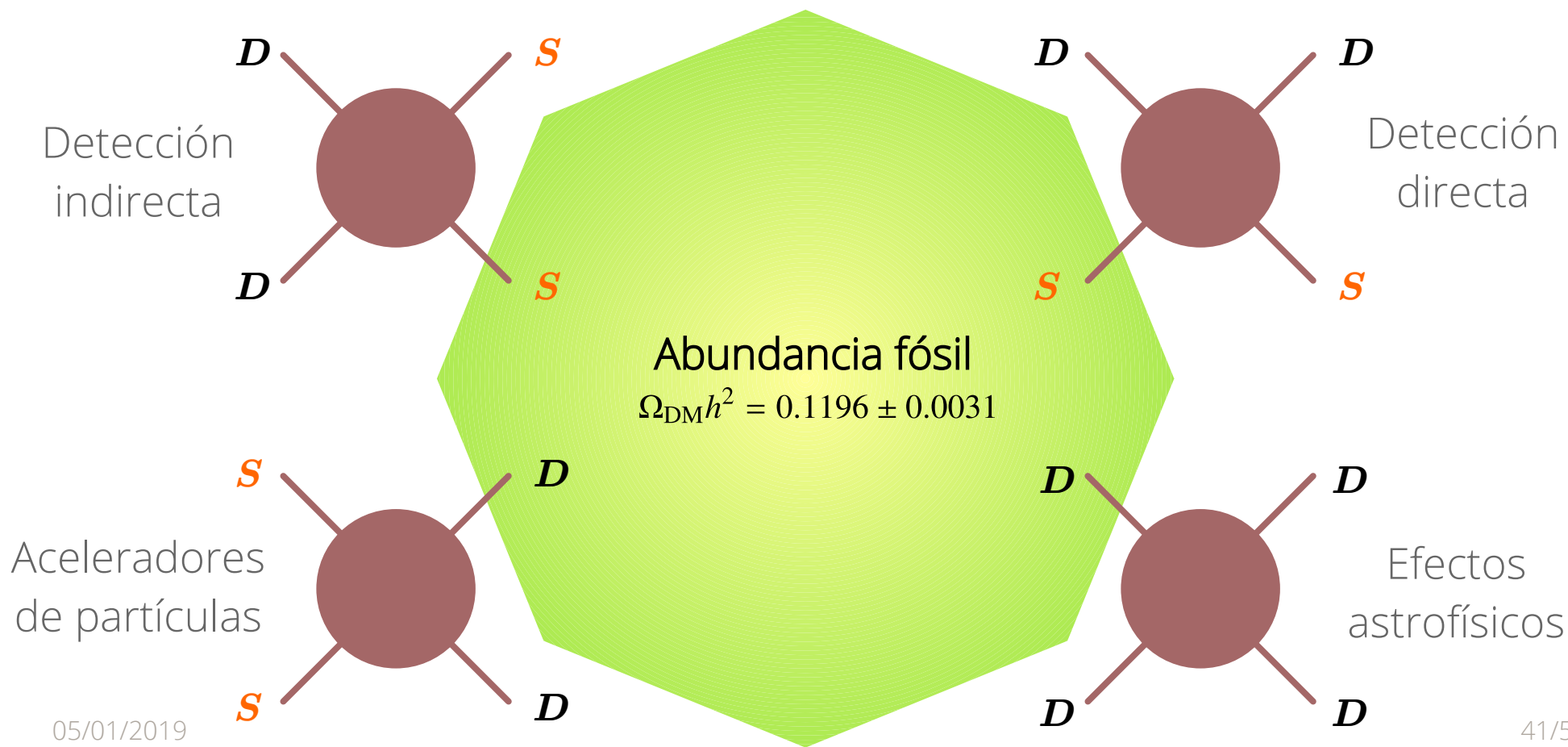


- Remanente **térmico** el Big Bang
- Abundancia **correcta** para
 $\langle\sigma v\rangle \sim 1 \text{ pb} \cdot \text{c}$
- Masa en el rango del **GeV-TeV**

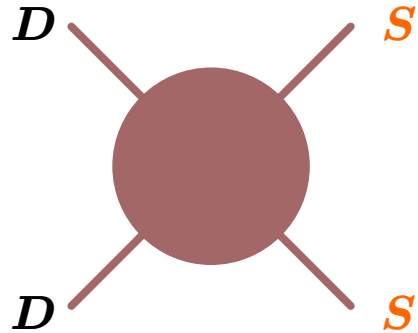
Para WIMPs: $\Omega_{\text{DM}} h^2 \simeq 0.1 \frac{3 \times 10^{-26} \text{ cm}^3/\text{s}}{\langle\sigma v\rangle_{\text{f.o.}}}$

$$T_{\text{DM}}^{\text{f.o.}} \simeq \frac{1}{20} m_{\text{DM}}$$

Búsquedas de Materia Oscura

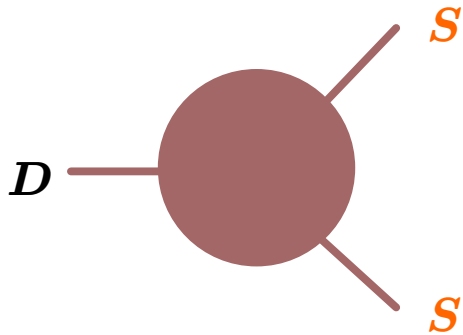


Matéria Oscura como fuente



Aniquilación

$$s_{\text{DM}}(\vec{x}, \epsilon) = \eta \langle \sigma v \rangle \frac{\rho_{\text{DM}}^2(\vec{x})}{m_{\text{DM}}^2} \frac{dn_X}{d\epsilon}(\epsilon)$$



Desintegración

$$s_{\text{DM}}(\vec{x}, \epsilon) = \frac{1}{\tau_{\text{DM}}} \frac{\rho_{\text{DM}}(\vec{x})}{m_{\text{DM}}} \frac{dn_X}{d\epsilon}(\epsilon)$$

Materia Oscura como fuente

Sección eficaz de aniquilación

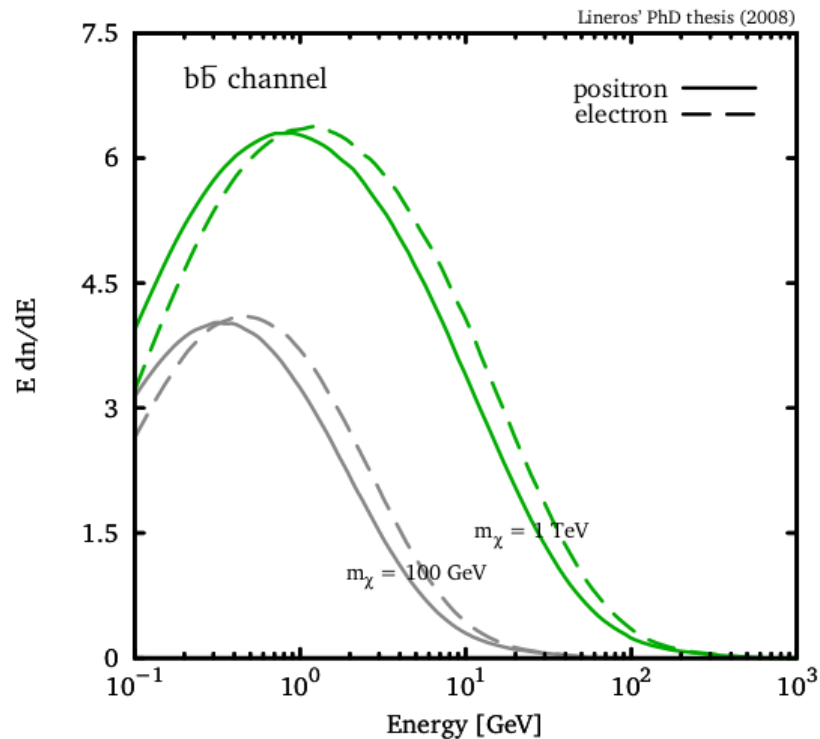
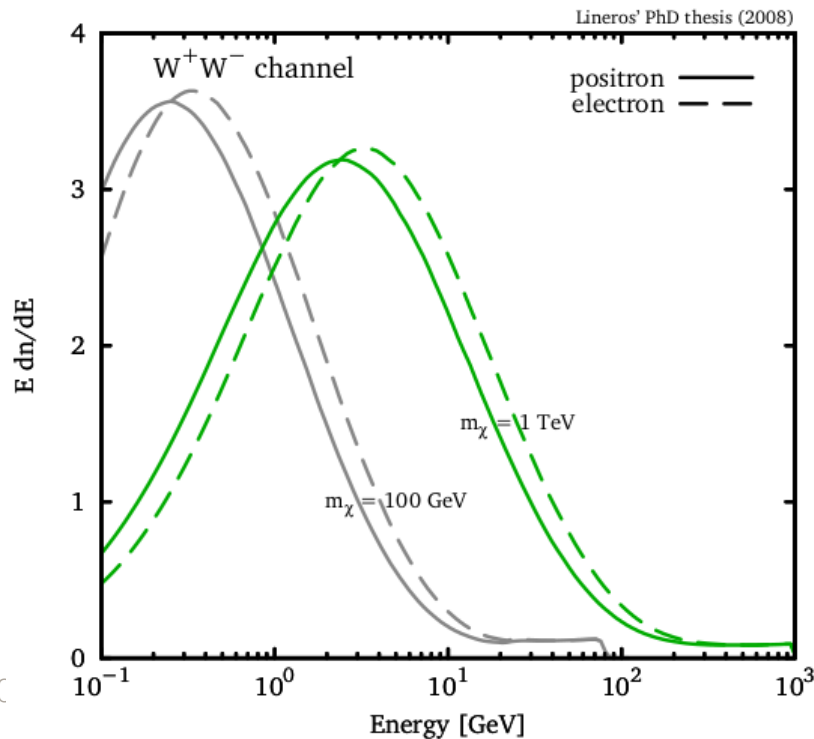
Espectro de emisión

$$s_{\text{DM}}(\vec{x}, \epsilon) = \eta \langle \sigma v \rangle \frac{\rho_{\text{DM}}^2(\vec{x})}{m_{\text{DM}}^2} \frac{dn_X}{d\epsilon}(\epsilon)$$

Densidad de número

Materia Oscura como fuente

$$\frac{dn_X}{d\epsilon}(\epsilon) = \sum_i Br(i \rightarrow X) \frac{dn_{iX}}{d\epsilon}(\epsilon)$$



Solución de Ecuación de Transporte

La función de halo para la materia oscura a la posición de la Tierra:

$$\tilde{I}_{\odot}(\lambda) = \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{n \text{ impar}}^{\infty} A_{i,n} J_0(k_{r,i} r_{\odot}) \exp\left(-\frac{1}{4} g_{i,n}^2 \lambda^2\right)$$

Donde:

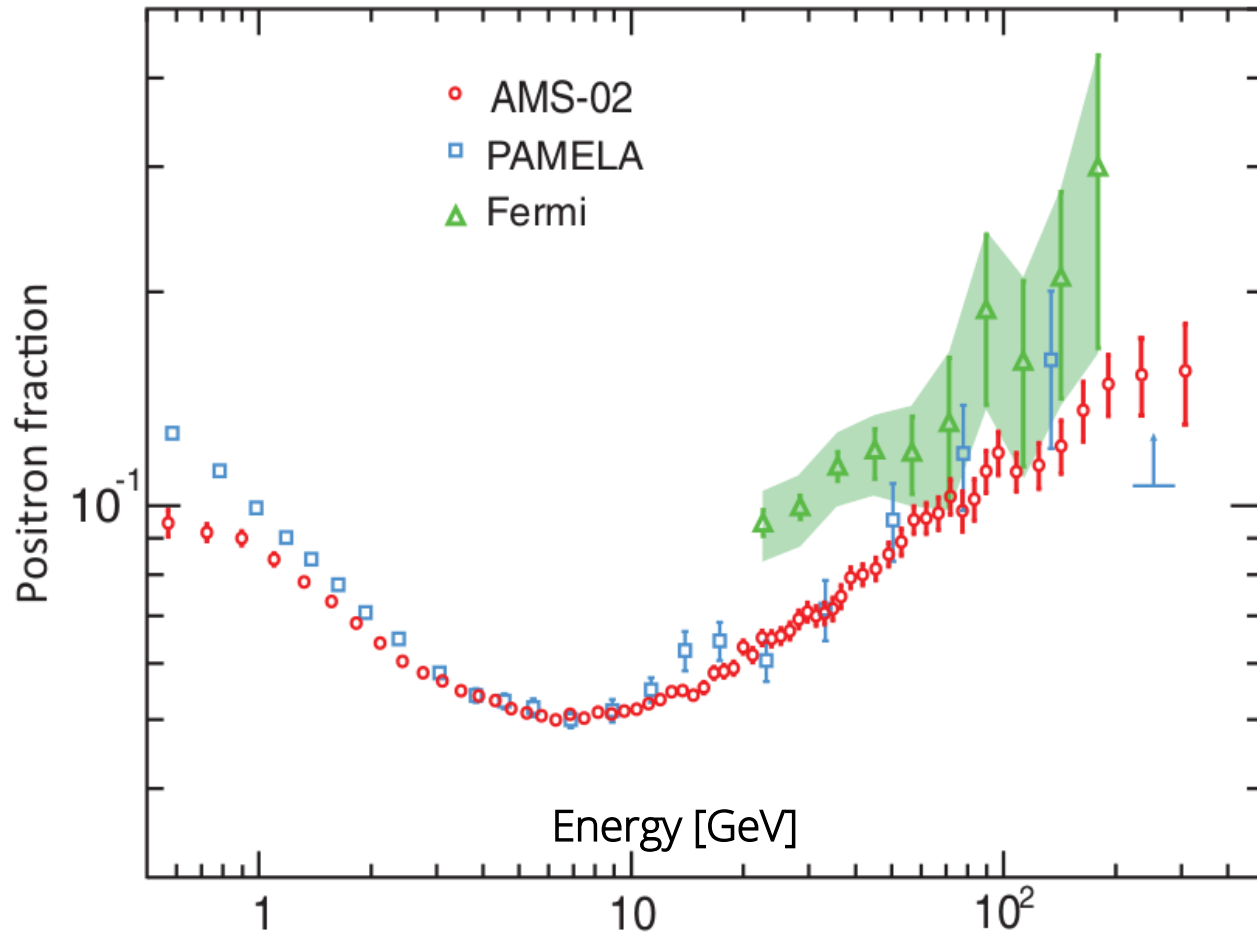
$$A_{i,n} = \frac{2}{L_z R^2 J_1(k_{r,i} R)} \int_0^R r dr \int_{-L}^L dz f(r, z) J_0(k_{r,i} r) \cos(k_{z,n} z)$$

$$f(r_{\odot}, z_{\odot}) = 1 \qquad k_{r,i} = \frac{\alpha_{0,i}}{R} \qquad k_{z,n} = \frac{n\pi}{2L}$$

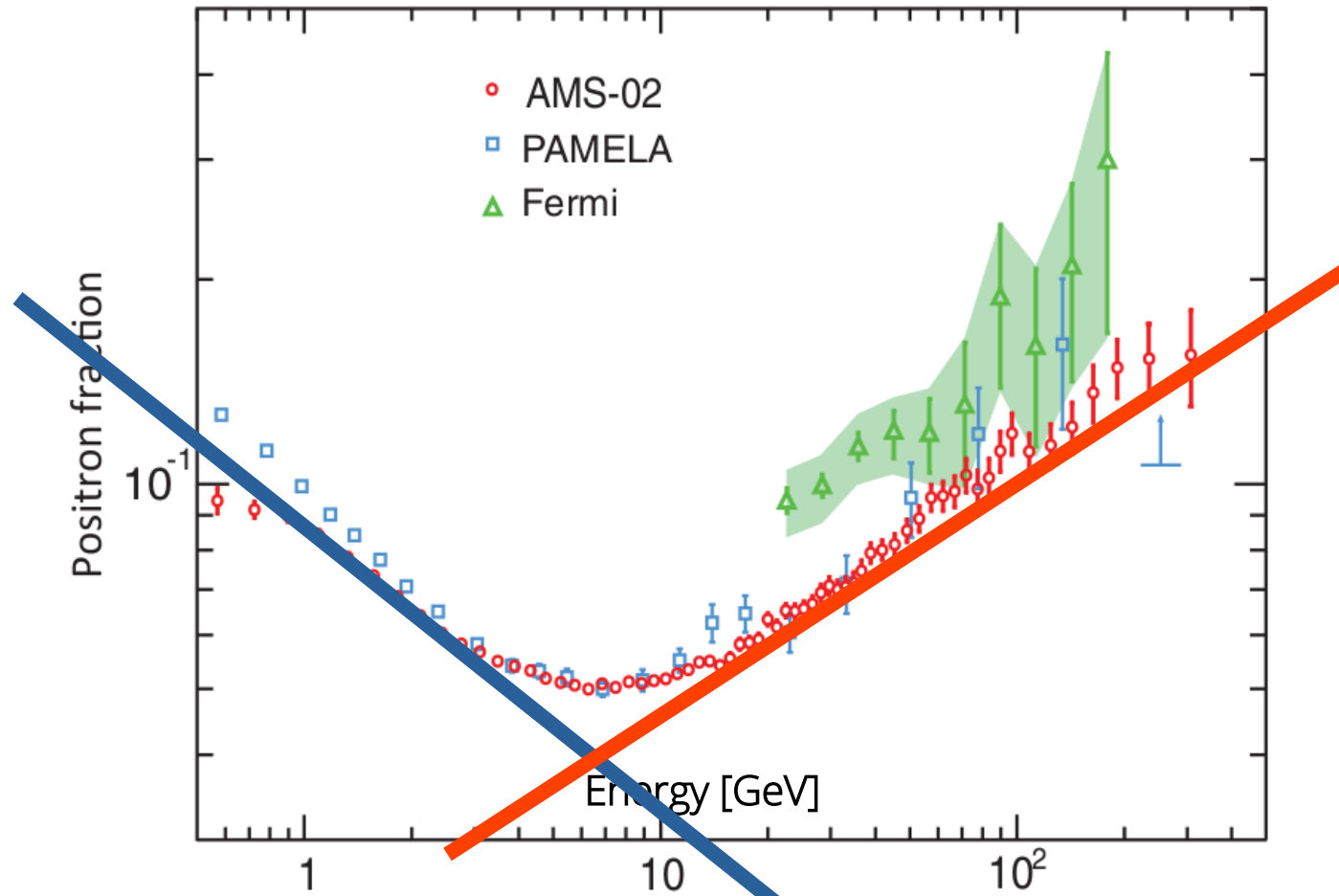
Y el flujo de electrones y positrones

$$\Phi_e(\epsilon) = \frac{\beta c}{4\pi} \left(\eta \langle \sigma v \rangle \frac{\rho_{\text{DM}}^2(\vec{x}_\odot)}{m_{\text{DM}}^2} \right) \frac{1}{b_0 \epsilon^2} \int_\epsilon^\infty d\epsilon_s \frac{dn_e}{d\epsilon}(\epsilon_s) \tilde{I}_\odot(\lambda(\epsilon, \epsilon_s))$$

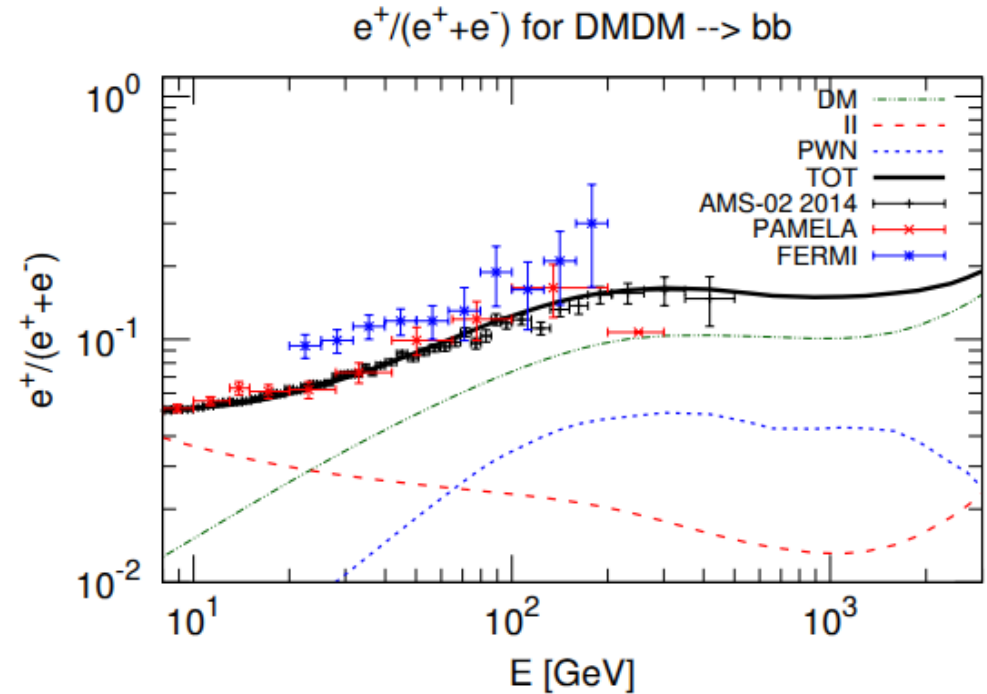
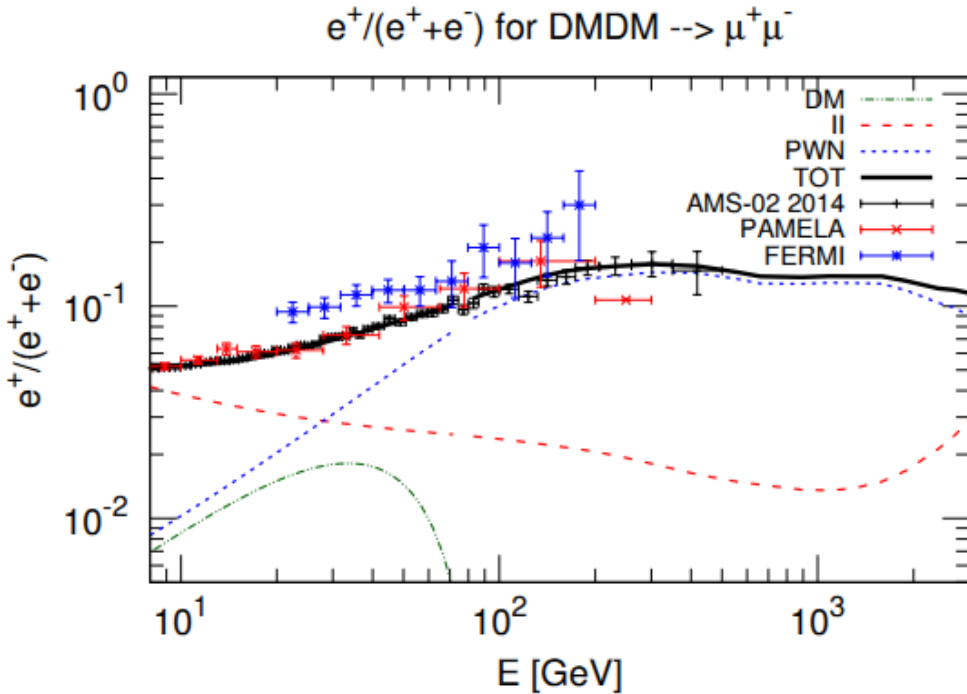
Buscando MO con positrones



Buscando MO con positrones



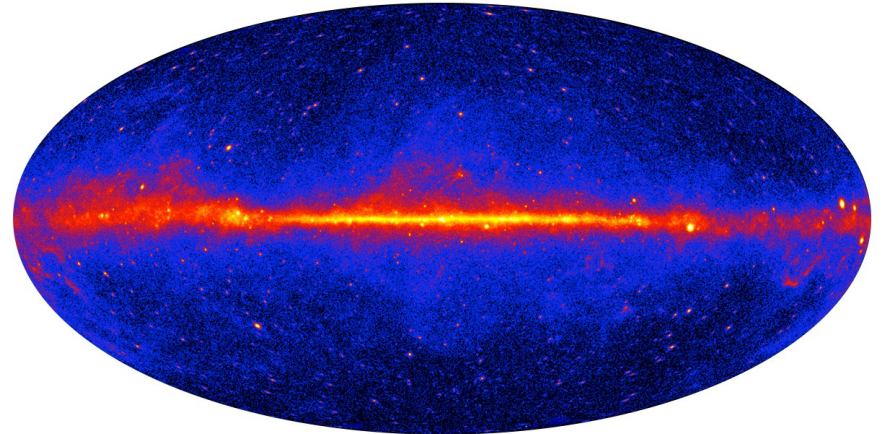
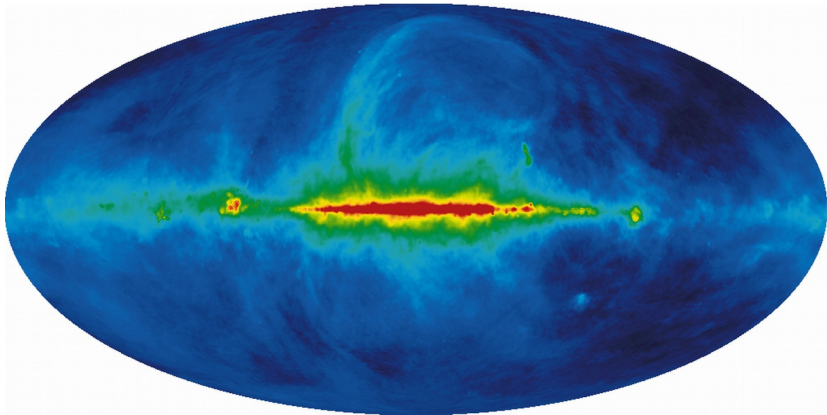
Ajustes de los flujos



Di Mauro et al. arxiv:1507.07001

Otras señales por estudiar...

- Emisión Radio (Sincrotrón)
- Emisión Rayos X (Scattering Inverso de Compton)
- Emisión de Rayos Gamma (Scattering Inverso de Compton)



Conclusión

- Estudio usando astropartículas abre la posibilidad de observar el Universo Oscuro
- Los Rayos Cósmicos nos ayudan a entender los mecanismos presentes en la Vía Láctea
- Es un campo de investigación donde física de partículas, astrofísica, física matemática y computacional se juntan.

The background of the slide is a deep space image featuring a large, vibrant nebula. The nebula has a central region of bright blue and white light, surrounded by swirling clouds of orange, red, and yellow gas. Numerous small, distant stars are visible as white points of light against the dark cosmic background.
$$1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7 + \dots + \infty = -\frac{1}{12}$$

Thanks