

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
FCFM

Seminario del Cuerpo Académico de Partículas Campos y
Relatividad

Interacciones Hadrónicas en el Cosmos y en Aceleradores

Por

Reyna Xoxocotzi Aguilar

Asesor:

Dr. Lorenzo Díaz Cruz

Contenido:

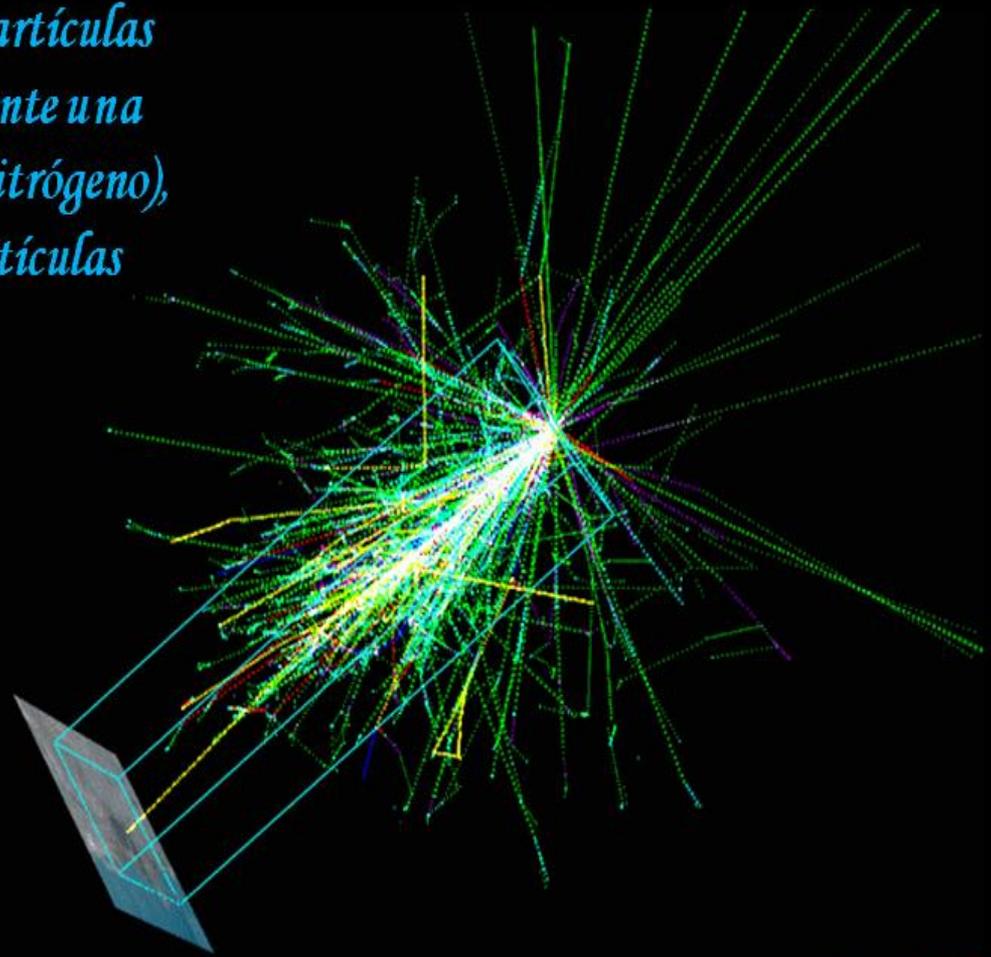
- ✓ *Rayos Cósmicos (RC), Fenomenología .*
- ✓ *Interacciones Hadrónicas en la Atmosfera Terrestre.*
- ✓ *Componentes Electromagnéticas de RC.*
- ✓ *Materia Oscura y Rayos Cósmicos.*
- ✓ *Experimento HAWC.*
- ✓ *Cotas Actuales de Materia Oscura: $\chi N \rightarrow \chi N$*

Rayos Cósmicos

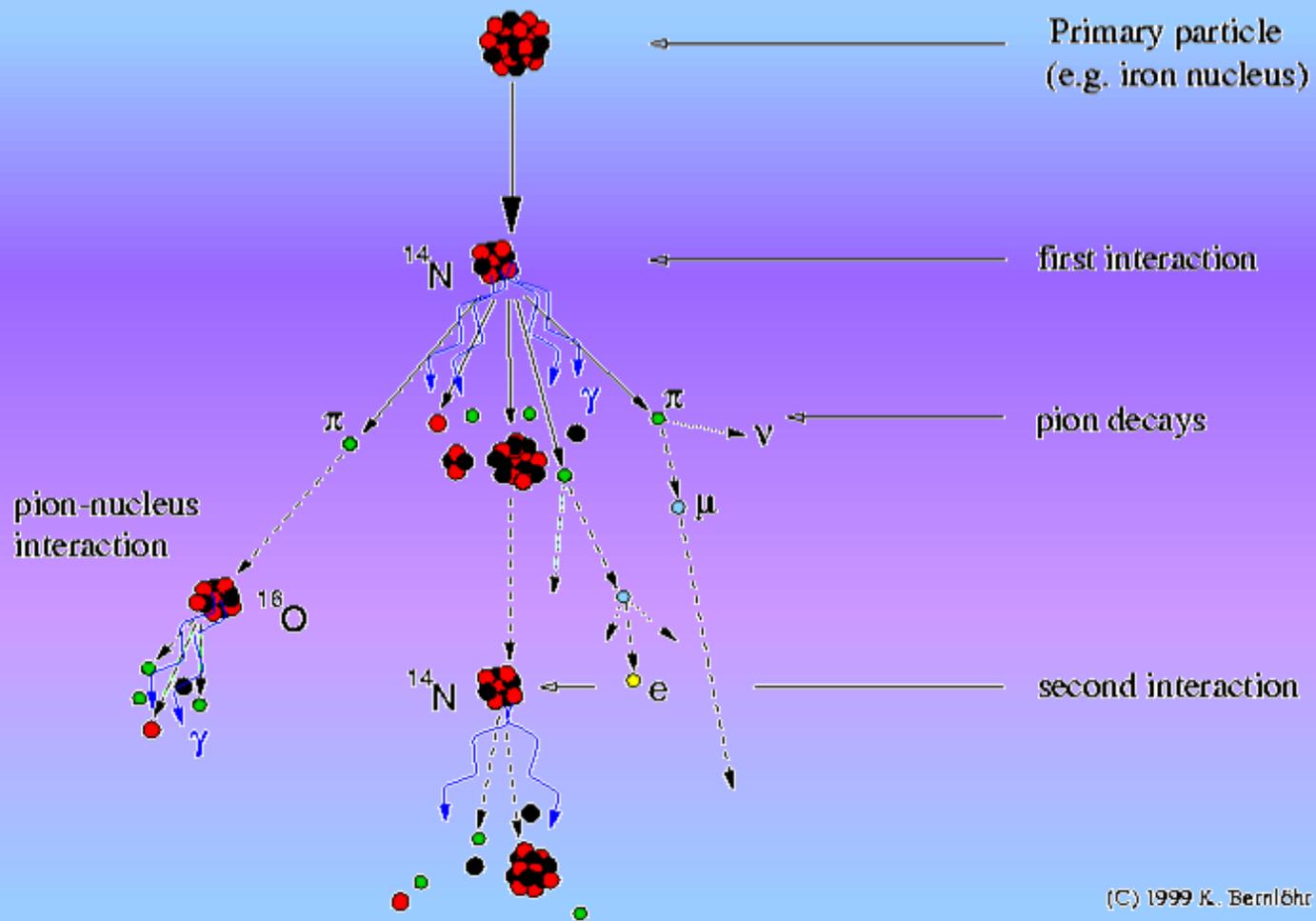
- ✓ *Galácticos*
- ✓ *Extragalácticos*
- ✓ *Solares*
- ✓ *Anómalos*

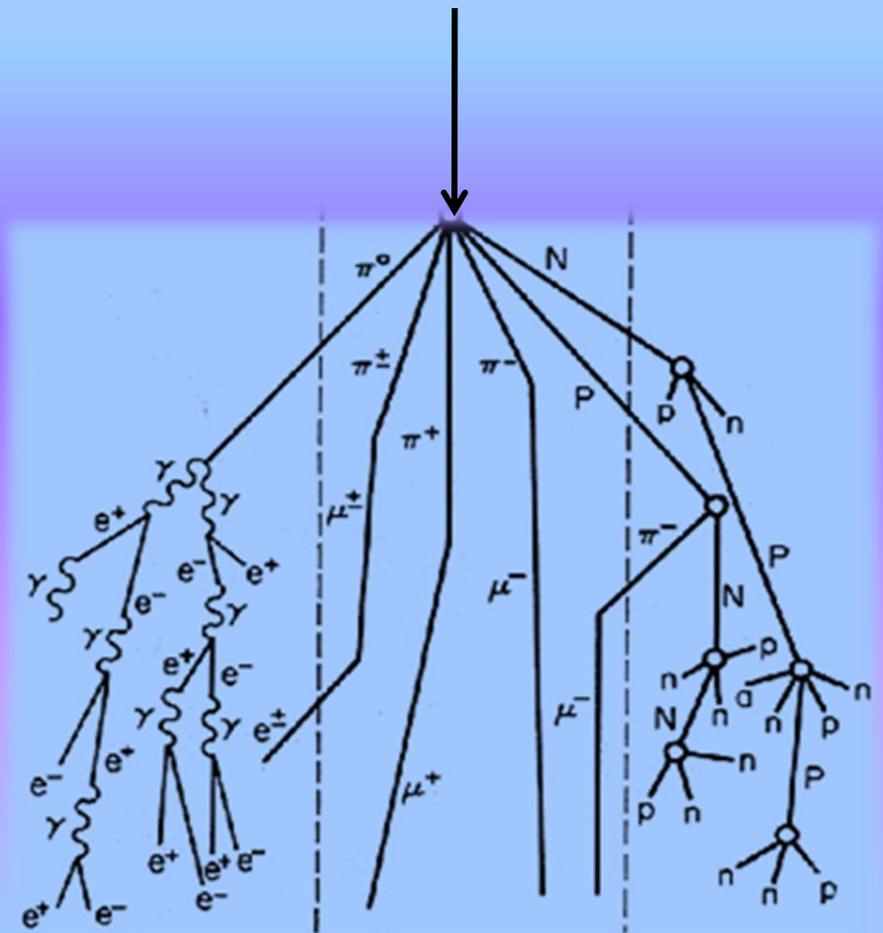
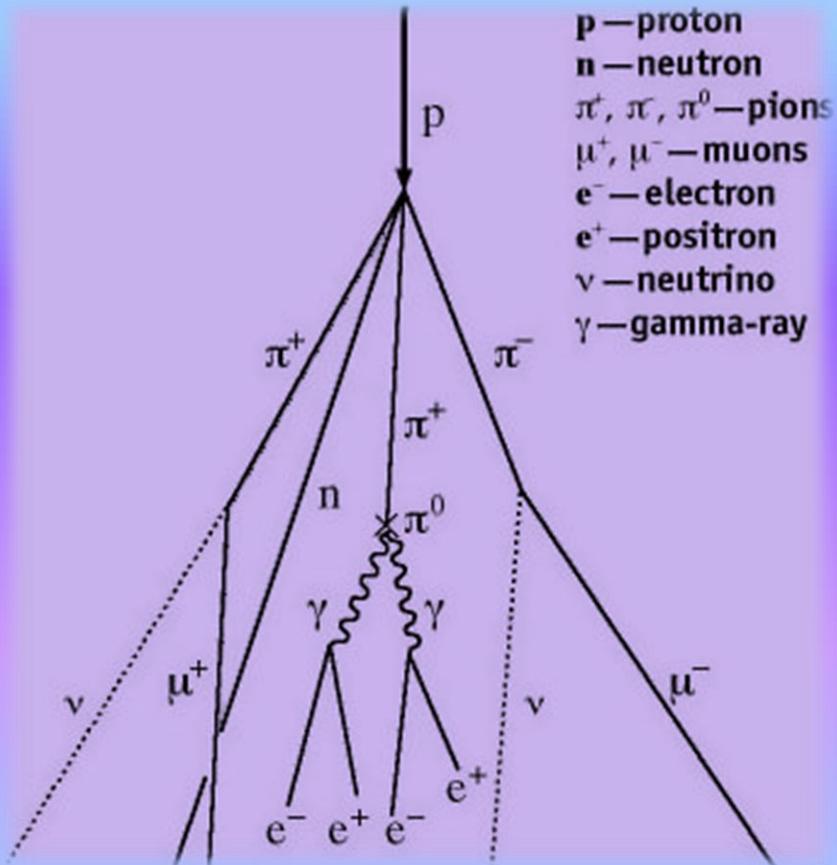
El sistema solar está permanentemente expuesto a un flujo de Rayos Cósmicos, cuyas energías van desde 1×10^6 - 1×10^{20} eV.

Un rayo cósmico entra en la atmósfera, choca con las partículas de la atmósfera (generalmente una molécula de oxígeno o de nitrógeno), generando una serie de partículas secundarias.

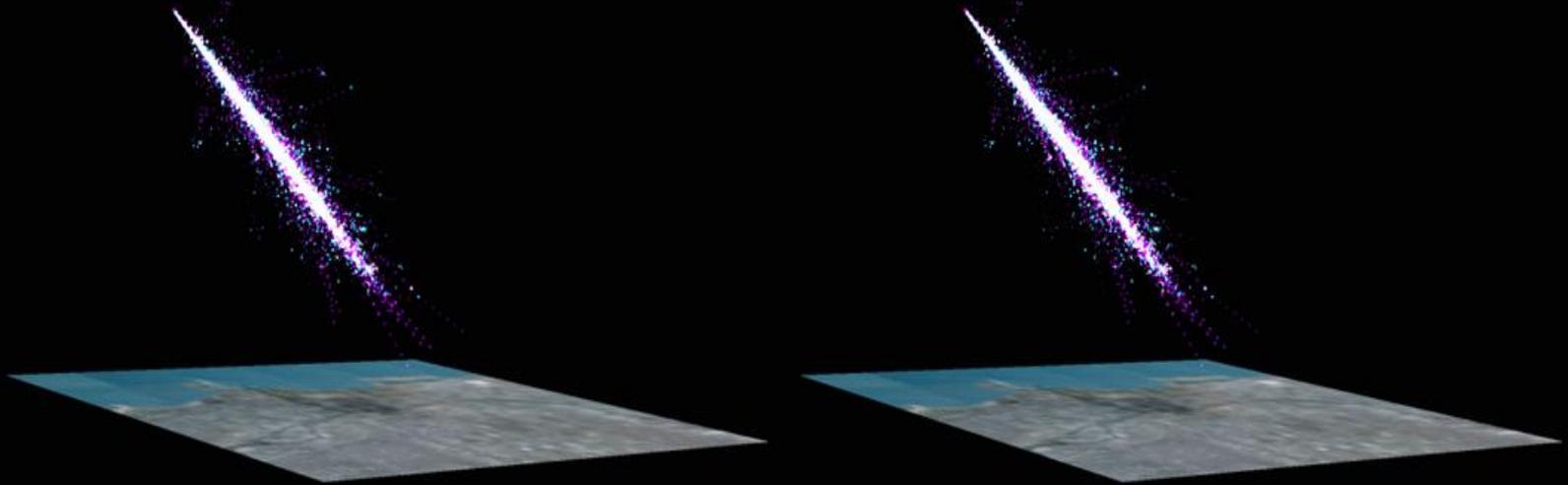


Partícula Primaria: Hierro
Energía: 200 GeV

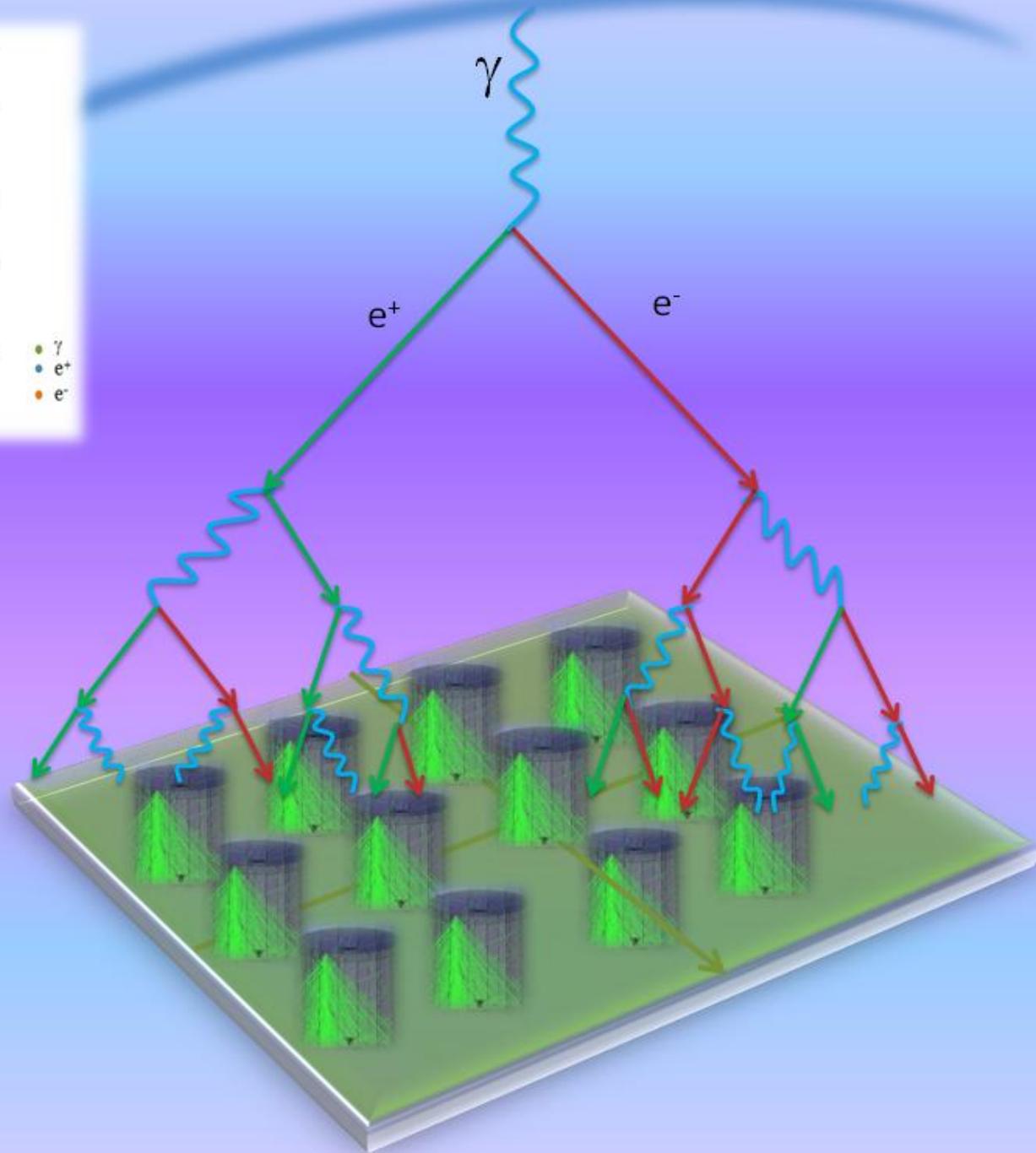
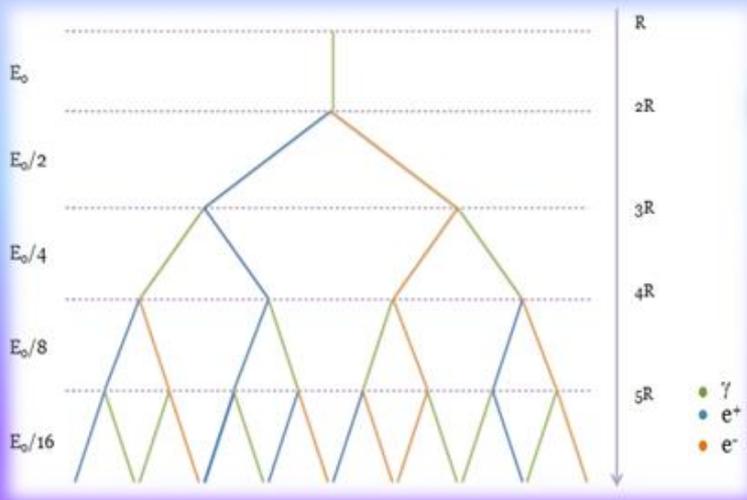




Lluvias Electromagnéticas



Partícula primaria: gamma
Energía: 200 GeV
Inclinación 60°

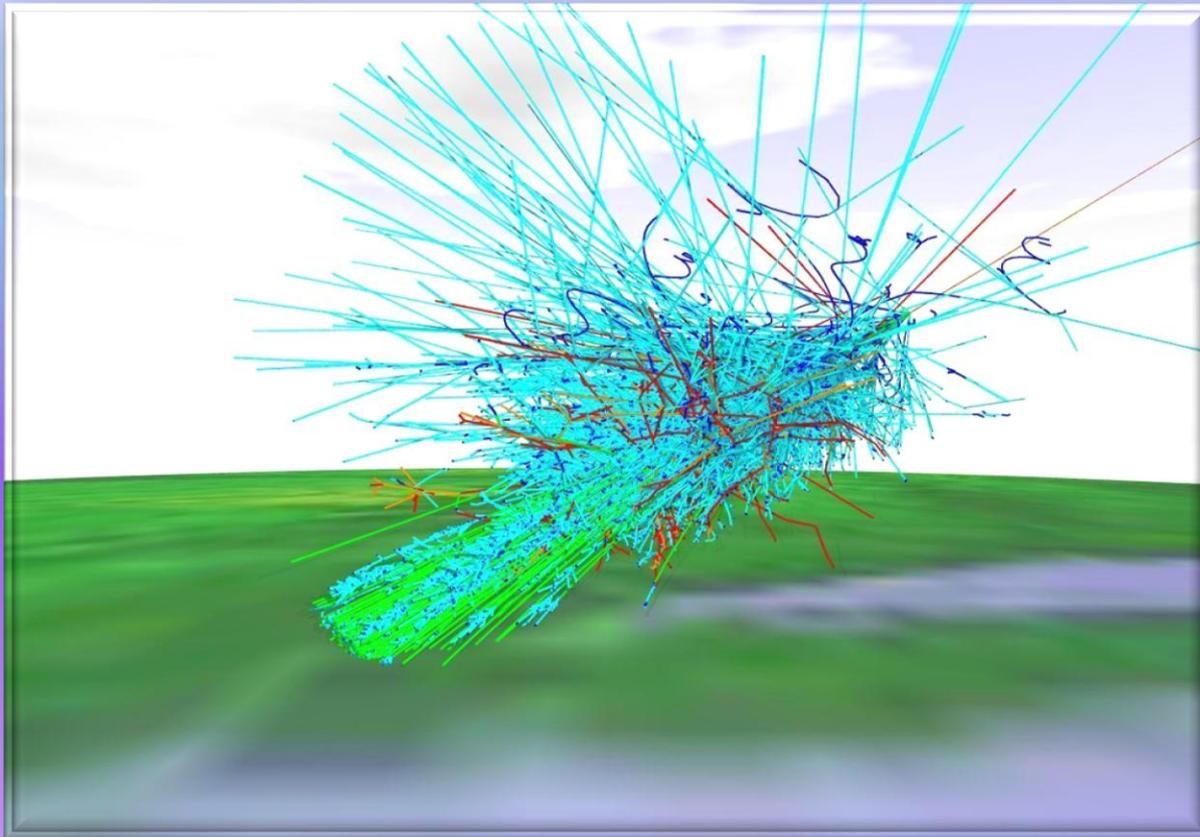


Interacciones Hadrónicas a Altas Energías



El sistema solar está permanentemente expuesto a un flujo de Rayos Cósmicos, cuyas energías van desde 1×10^6 - 1×10^{20} eV.

Los Rayos Cósmicos son medidos de manera indirecta con arreglos de detectores colocados en la superficie terrestre, que registran el flujo de partículas secundarias en la lluvia atmosférica producida por un Rayo Cósmico de Alta Energía.



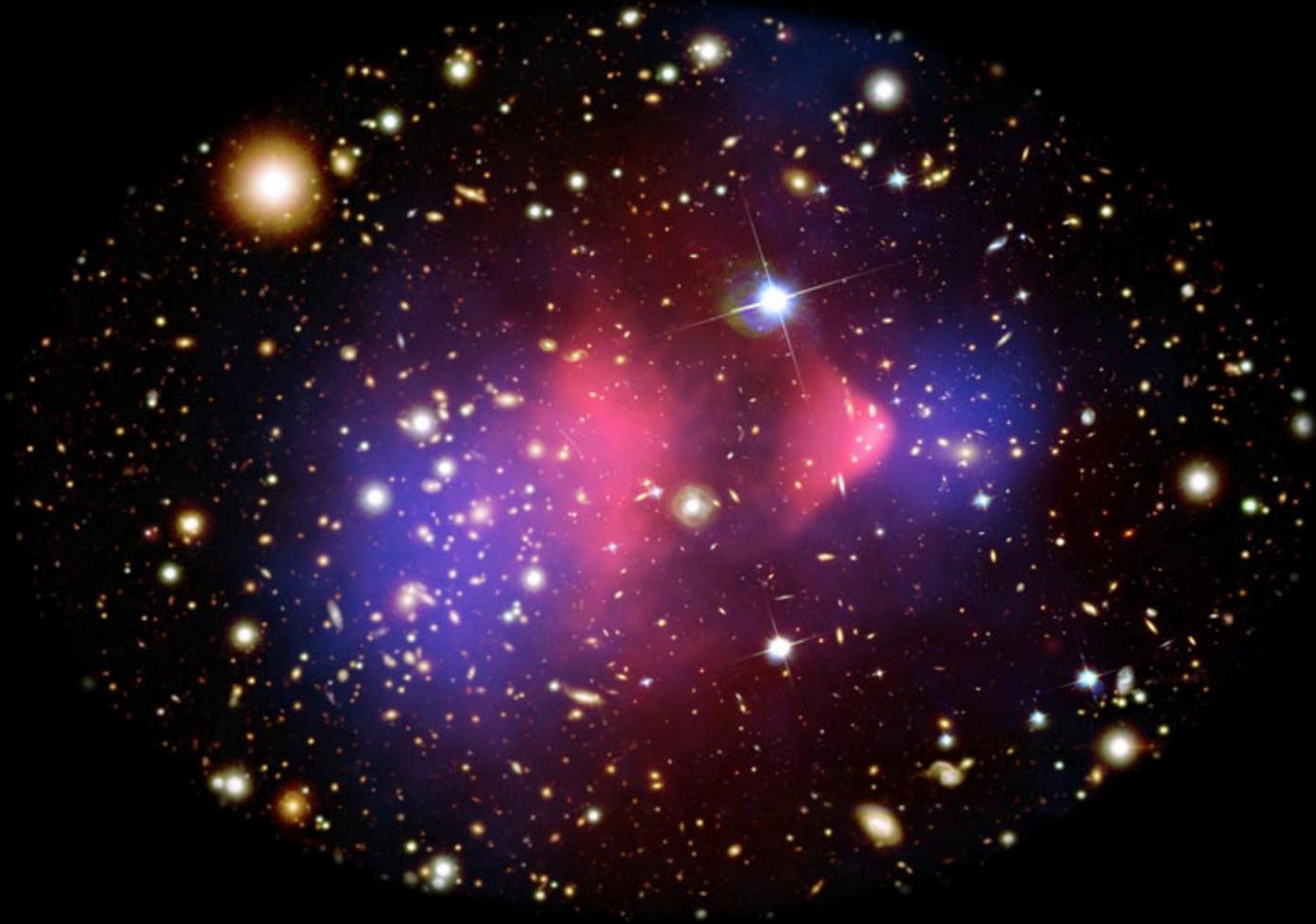
La predicciones cuantitativas depende de los detalles en los modelos de producción de partículas, por una parte las interacciones electromagnéticas pueden ser comprendidas dentro del marco de la electrodinámica cuántica perturbativa, mientras que para comprender la producción de partículas Hadrónicas son necesarios modelos fenomenológicos proporcionados por la cromodinámica cuántica, que describan los estados finales de las interacciones Hadrónicas.



La *Cromodinámica Cuántica (QCD)* es la teoría de las interacciones fuertes.

Actualmente QCD ha ocupado un lugar dentro del marco del Modelo Estándar. Sin embargo, comprender el mundo físico no sólo significa entender sus componentes fundamentales, significa sobre todo entender como estos componentes interaccionan y conducen a la existencia de una gran variedad de objetos físicos que componen al universo.

Materia Oscura



Materia Visible

4%

Materia Oscura

23%

Energía Oscura

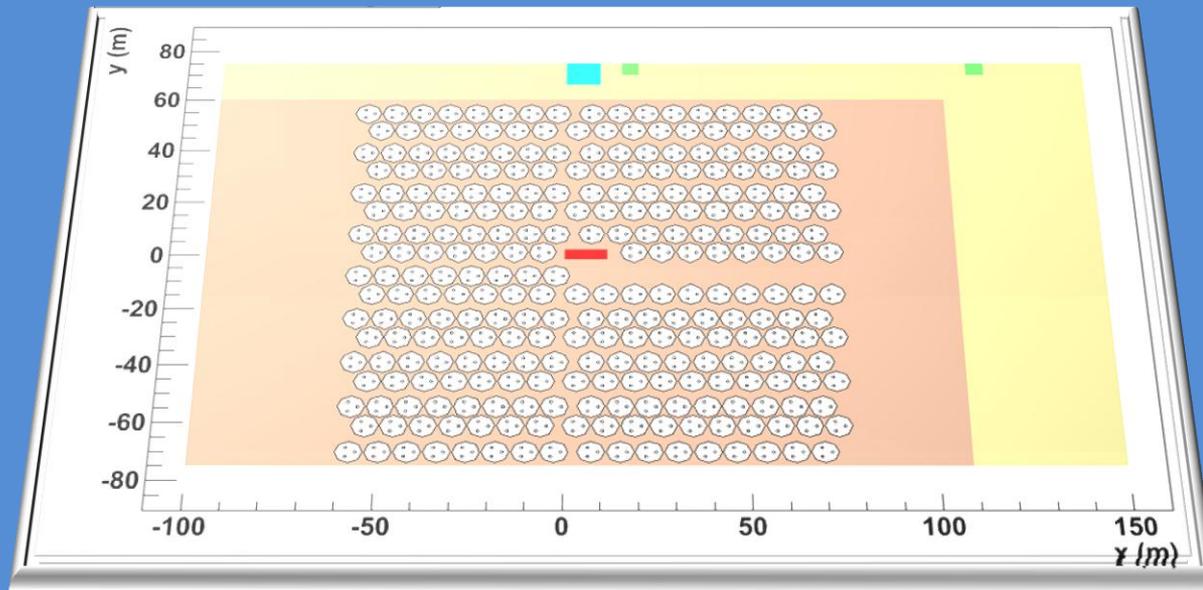
73%

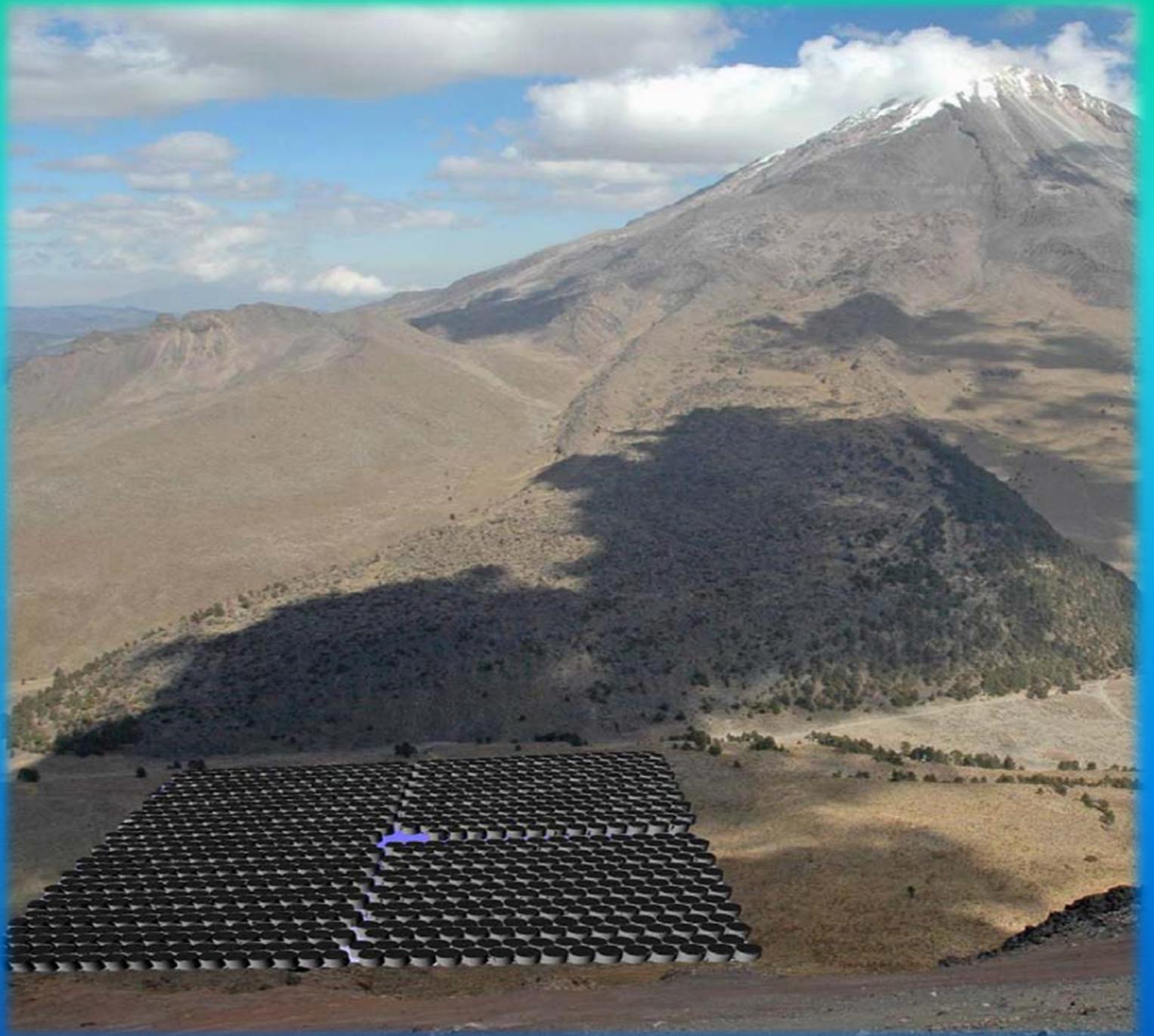




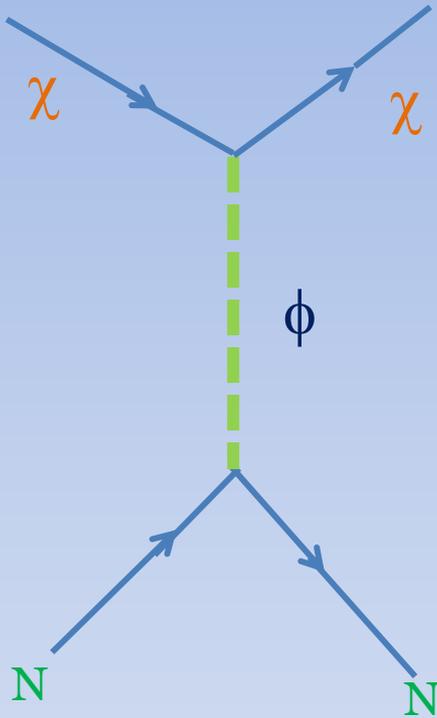
High Altitude Water Cerenkov

HAWC está ubicado en Sierra Negra, Parque Nacional Pico de Orizaba, a una altitud de 4100 m sobre el nivel del mar. Su campo de visión se amplía hasta los 45° del zenit. Podrá ver hasta $2/3$ del cielo.





Cotas Actuales sobre Materia Oscura



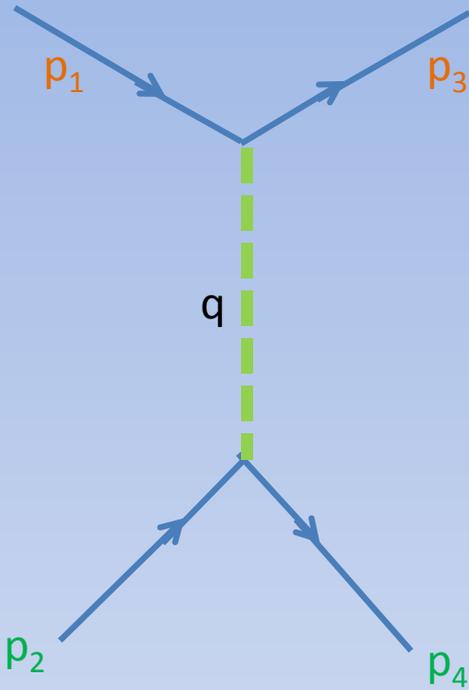
$$iM = \bar{u}(p_3)(-i\lambda)u(p_1)\left(\frac{i}{q^2 - m_\phi^2}\right)\bar{u}(p_4)\left(\frac{iM(q^2)}{v}\right)u(p_2)$$

$$iM = \frac{i\lambda M(q^2)}{v(q^2 - m_\phi^2)} [\bar{u}(p_3)u(p_1)][\bar{u}(p_4)u(p_2)]$$

$$-iM^\dagger = \frac{-i\lambda M(q^2)}{v(q^2 - m_\phi^2)} [\bar{u}(p_1)u(p_3)][\bar{u}(p_2)u(p_4)]$$

$$|\bar{M}|^2 = 4 \left[\frac{\lambda M(q^2)}{v(q^2 - m_\phi^2)} \right]^2 (p_1 \cdot p_3 + m_\chi^2)(p_2 \cdot p_4 + m_N^2)$$

Cinemática



$$p_1 = (E_1, \vec{p}_1) \quad p_2 = (E_2, 0) \quad q^2 = t$$

$$p_3 = (E_3, \vec{p}_3) \quad p_4 = (E_4, \vec{p}_4)$$

$$p_1^2 = p_3^2 = m_\chi^2 \quad p_2^2 = p_4^2 = m_N^2$$

$$p_1 \cdot p_3 = E_1 E_3 (1 - \cos \theta)$$

$$p_2 \cdot p_4 = E_2 E_4 (1 - \cos \theta)$$

Variables de Mandelstam:

$$s = (p_1 + p_2)^2 = (p_3 + p_4)^2 \Rightarrow s = m_\chi^2 + 2E_1 E_2 + m_N^2$$

$$t = (p_1 - p_3)^2 = (p_2 - p_4)^2 \quad t = 2m_\chi^2 - 2E_1 E_3 (1 - \cos \theta)$$

$$\Rightarrow t = 2m_\chi^2 - 2p_1 \cdot p_3 \Rightarrow p_1 \cdot p_3 = m_\chi^2 - \frac{t}{2}$$

En el centro de masa:

$$E_{1cm} = \frac{s + m_\chi^2 - m_N^2}{2\sqrt{s}}$$

$$E_{2cm} = \frac{s + m_N^2 - m_\chi^2}{2\sqrt{s}}$$

$$p_{1cm} = \sqrt{E_{1cm}^2 - m_\chi^2}$$

$$t_0 = (\theta_{cm} = 0)$$

$$t_0 = \left[\frac{m_\chi^2 - m_\chi^2 - m_N^2 + m_N^2}{2\sqrt{s}} \right]^2 - (p_{1cm} - p_{3cm})^2$$

$$\Rightarrow t_0 = -(p_{1cm} - p_{3cm})^2$$

$$t_1 = (\theta_{cm} = \pi)$$

$$\Rightarrow t_1 = -(p_{1cm} + p_{3cm})^2$$

$$|\bar{M}|^2 = \left[\frac{\lambda M(t)}{v(t - m_\phi^2)} \right]^2 (4m_\chi^2 - t)(4m_N^2 - t)$$

$$\frac{d\sigma}{dt} = \frac{1}{64\pi s} \frac{1}{|p_{1cm}|^2} |\bar{M}|^2$$