



Universidade Federal do ABC



Física de Astropartículas:

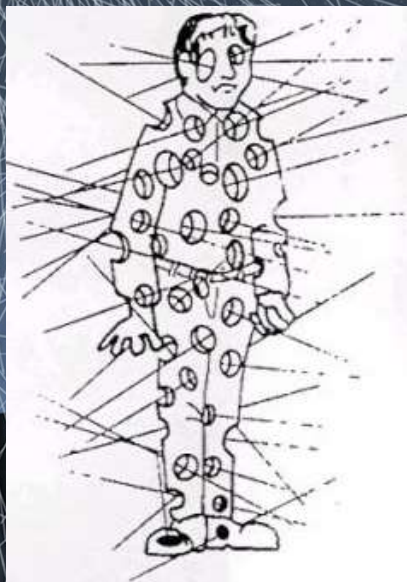
Investigando o Universo com as
partículas de mais alta energia

Marcelo Augusto Leigui de Oliveira

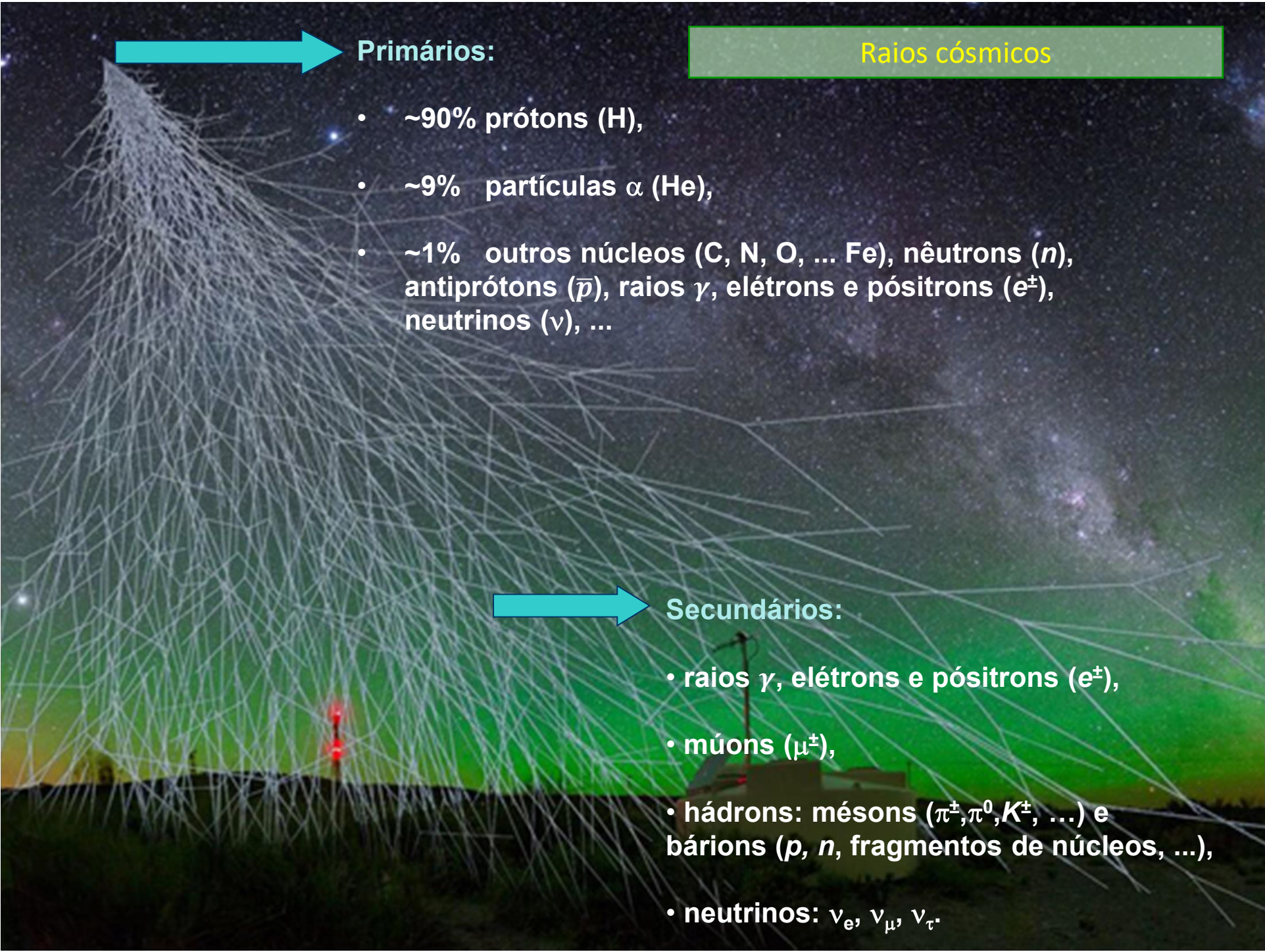
leigui@ufabc.edu.br

<http://professor.ufabc.edu.br/~leigui>

Disclaimer



Centenas de milhares de partículas geradas por raios cósmicos irão atingí-los durante esta palestra



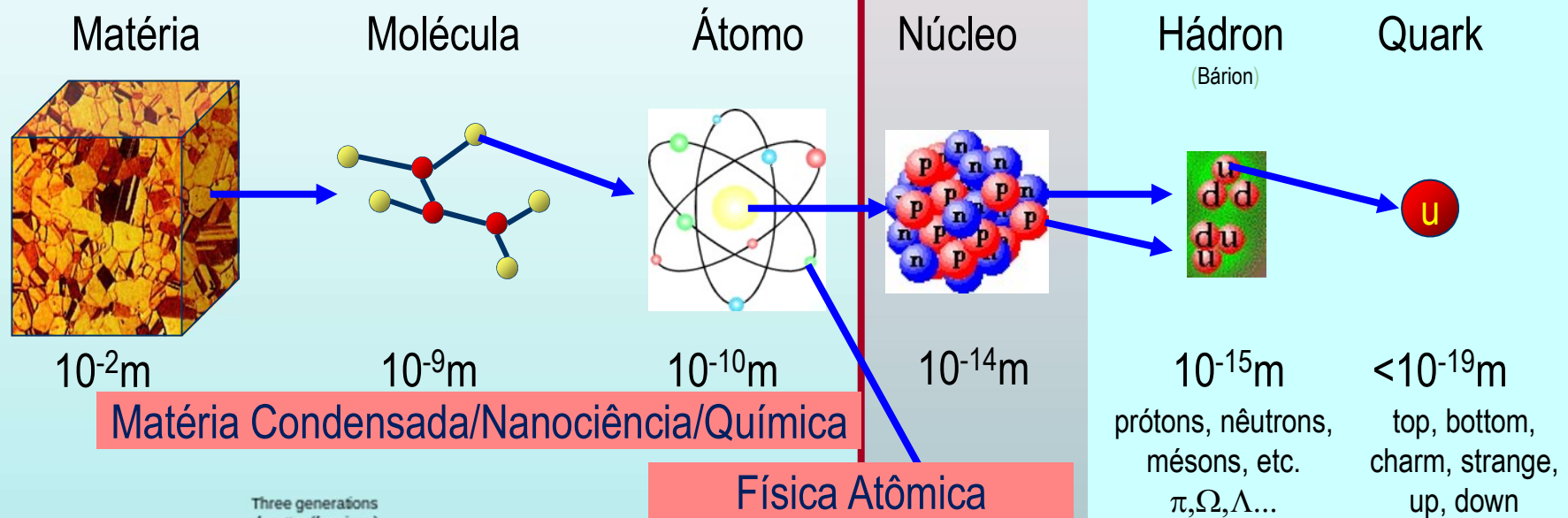
Raios cósmicos

Primários:

- ~90% prótons (H),
- ~9% partículas α (He),
- ~1% outros núcleos (C, N, O, ... Fe), nêutrons (n), antiprótons ($\bar{p}$), raios γ , elétrons e pósitrons ($e^\pm$), neutrinos (ν), ...

Secundários:

- raios γ , elétrons e pósitrons ($e^\pm$),
- múons ($\mu^\pm$),
- hádrons: mésons ($\pi^\pm, \pi^0, K^\pm, \dots$) e bárions (p, n , fragmentos de núcleos, ...),
- neutrinos: ν_e, ν_μ, ν_τ .



Three generations of matter (fermions)

	I	II	III	
mass	2.4 MeV/c ²	1.27 GeV/c ²	171.2 GeV/c ²	0
charge	2/3	2/3	2/3	0
spin	1/2	1/2	1/2	1
name	u up	c charm	t top	γ photon
				H Higgs boson
	4.8 MeV/c ²	104 MeV/c ²	4.2 GeV/c ²	0
	-1/3	-1/3	-1/3	0
	1/2	1/2	1/2	1
	d down	s strange	b bottom	g gluon
	<2.2 eV/c ²	<0.17 MeV/c ²	<15.5 MeV/c ²	91.2 GeV/c ²
	0	0	0	0
	1/2	1/2	1/2	1
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z⁰ Z boson
	0.511 MeV/c ²	105.7 MeV/c ²	1.777 GeV/c ²	80.4 GeV/c ²
	-1	-1	-1	±1
	1/2	1/2	1/2	1
	e electron	μ muon	τ tau	W[±] W boson

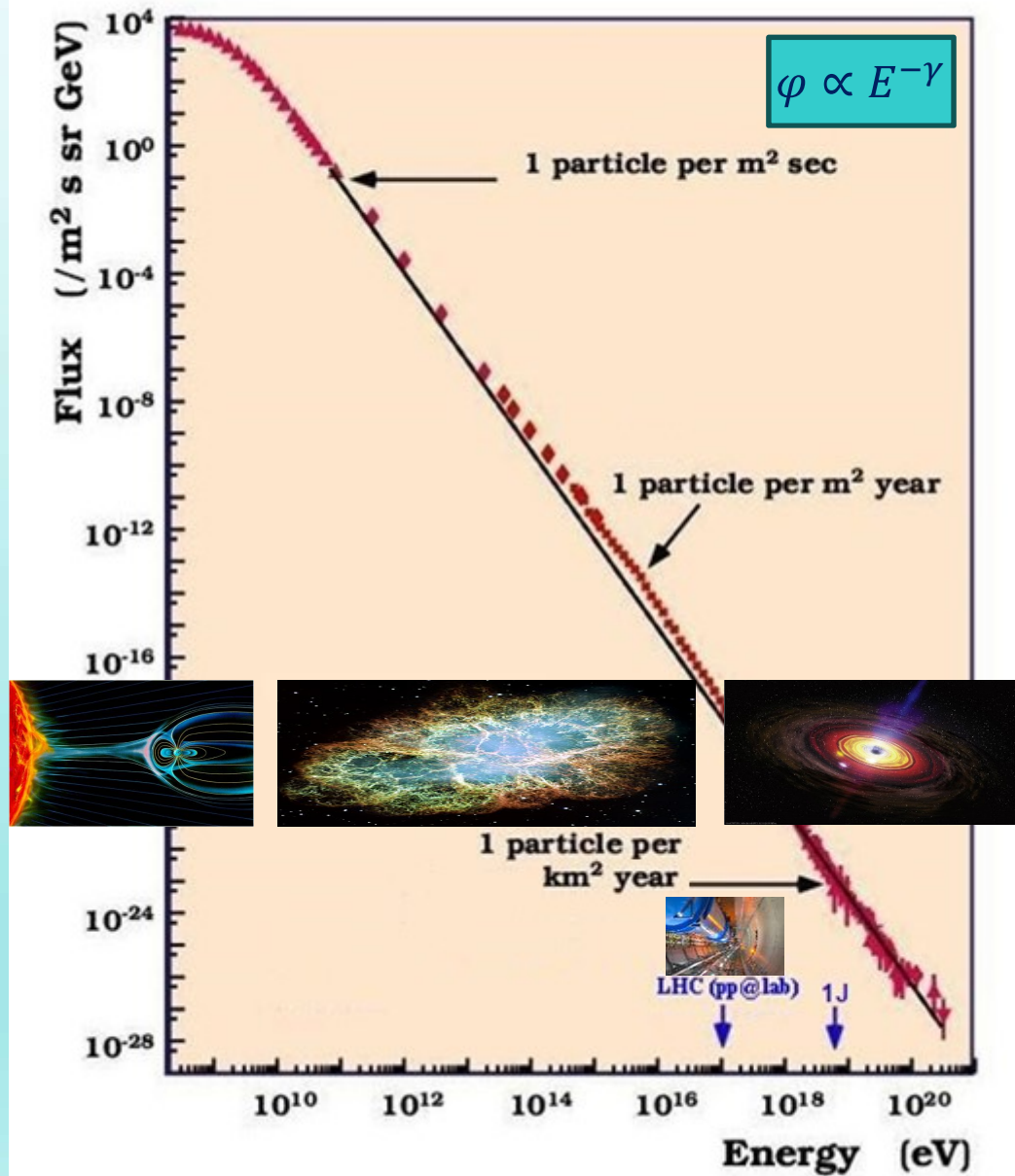
Quarks (purple boxes), Leptons (green boxes), Gauge bosons (red boxes).

Física Nuclear Elétron
(Lepton)

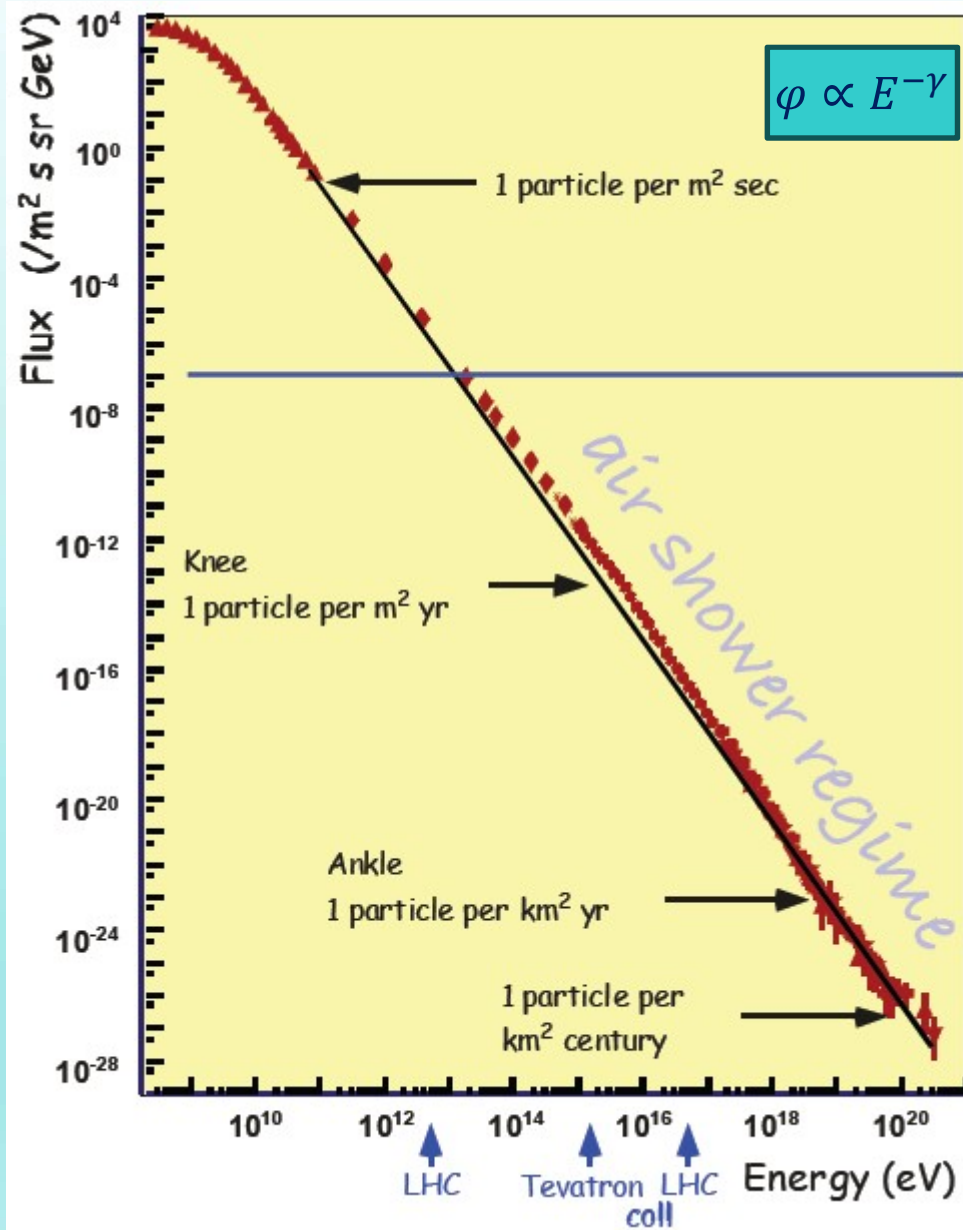
<10⁻¹⁸m

Física de Altas Energias

Cosmic Ray Flux



$$1 \text{ eV} \equiv 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$$



Flux of Cosmic Rays

steeply falling spectrum:
10 x in energy / 500 in flux

flux limit for $\sim \text{m}^2$ detectors

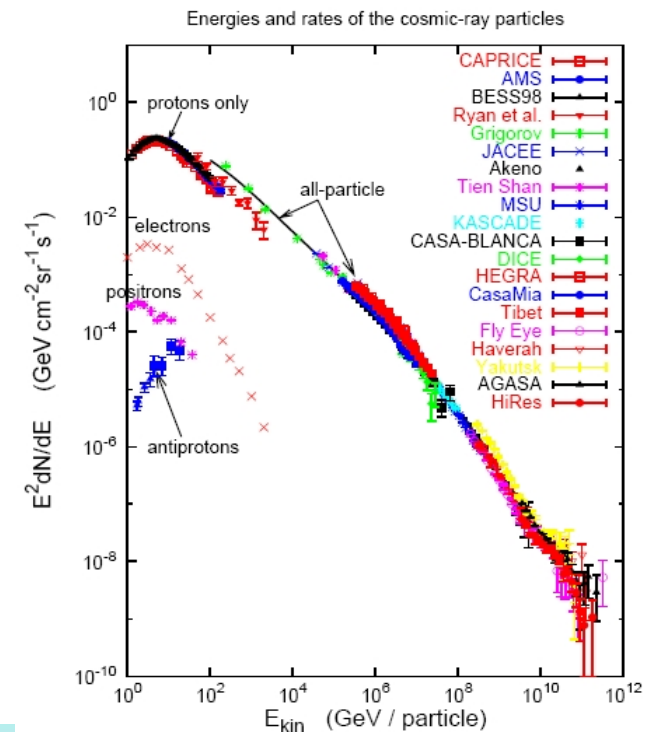
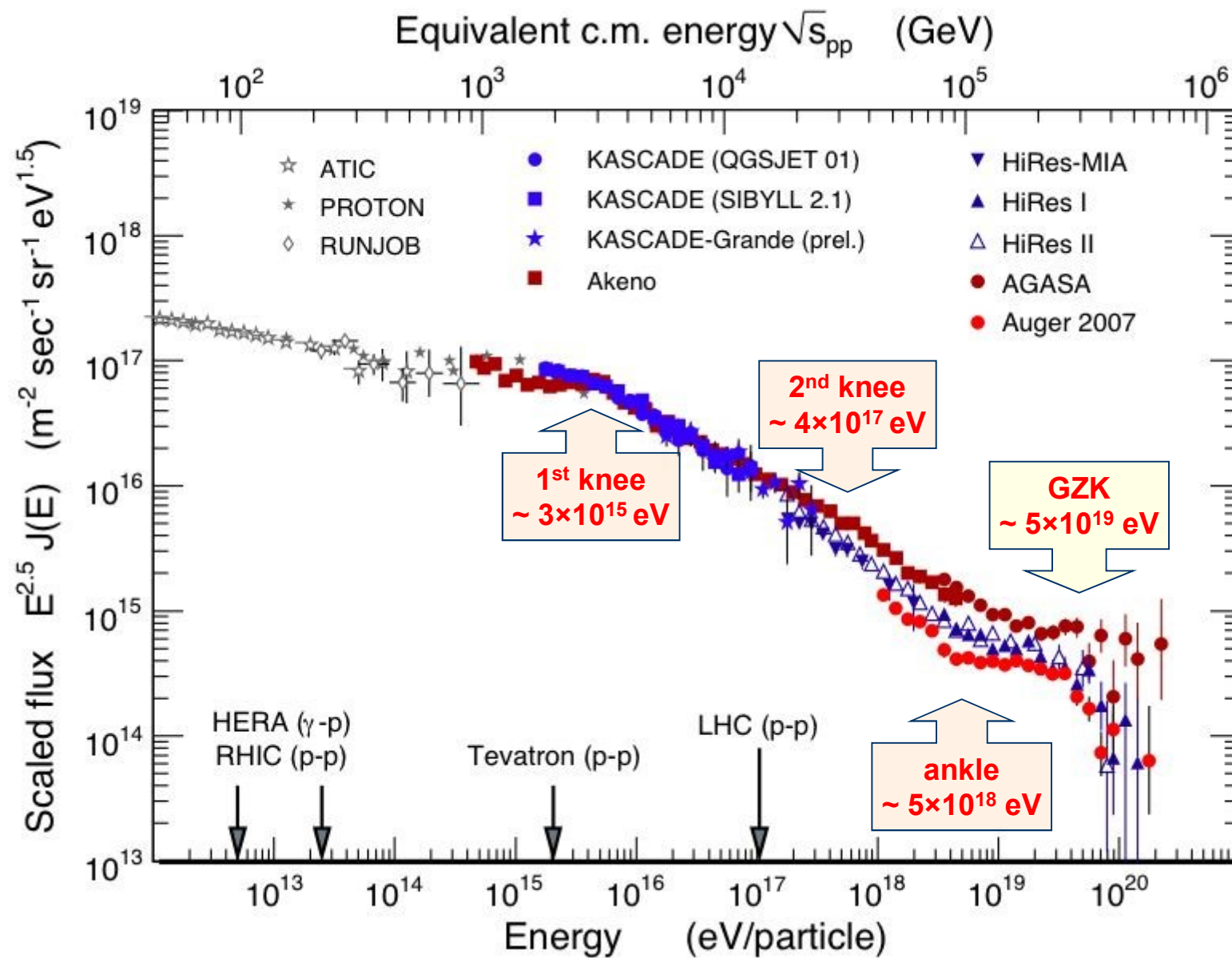
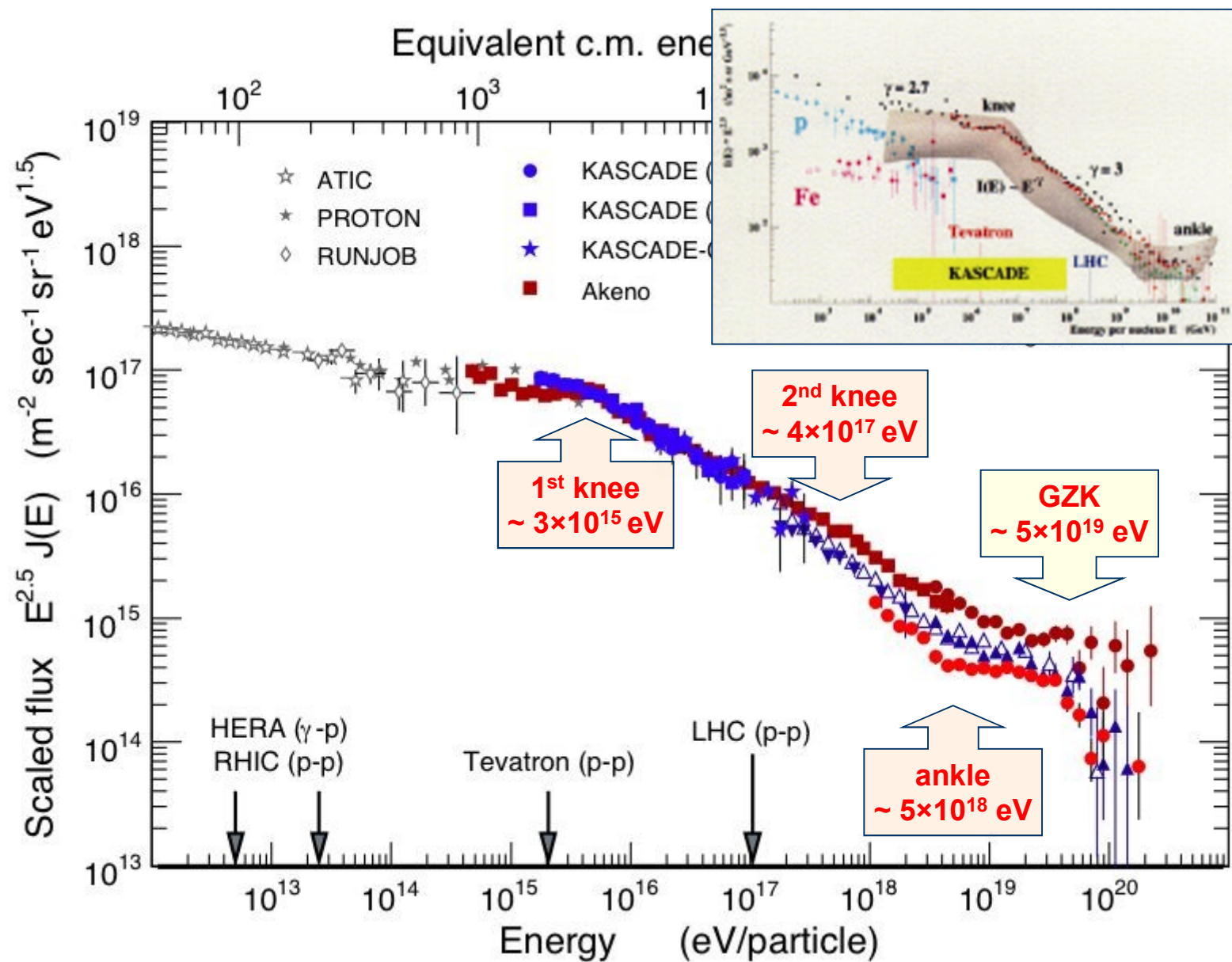
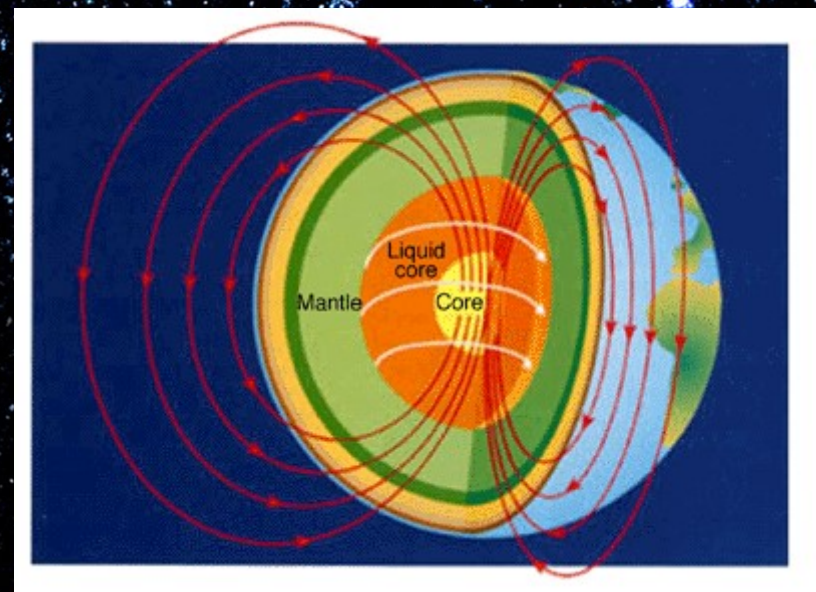
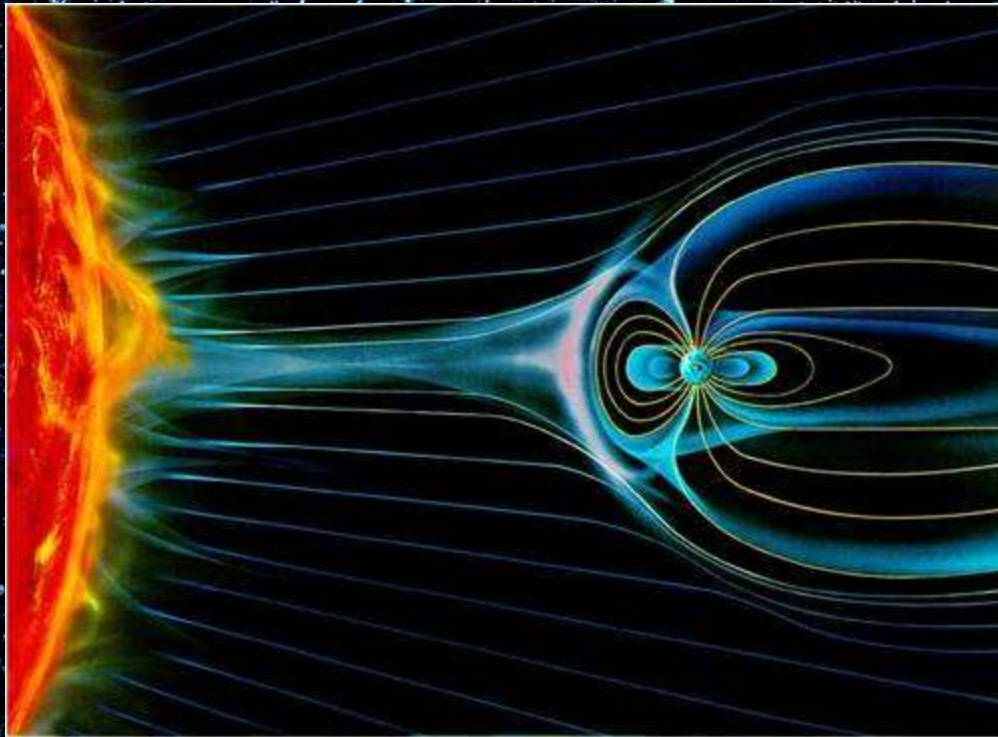


Fig. 1. Many measurements of the cosmic ray flux over a wide energy range, assembled by Gaisser



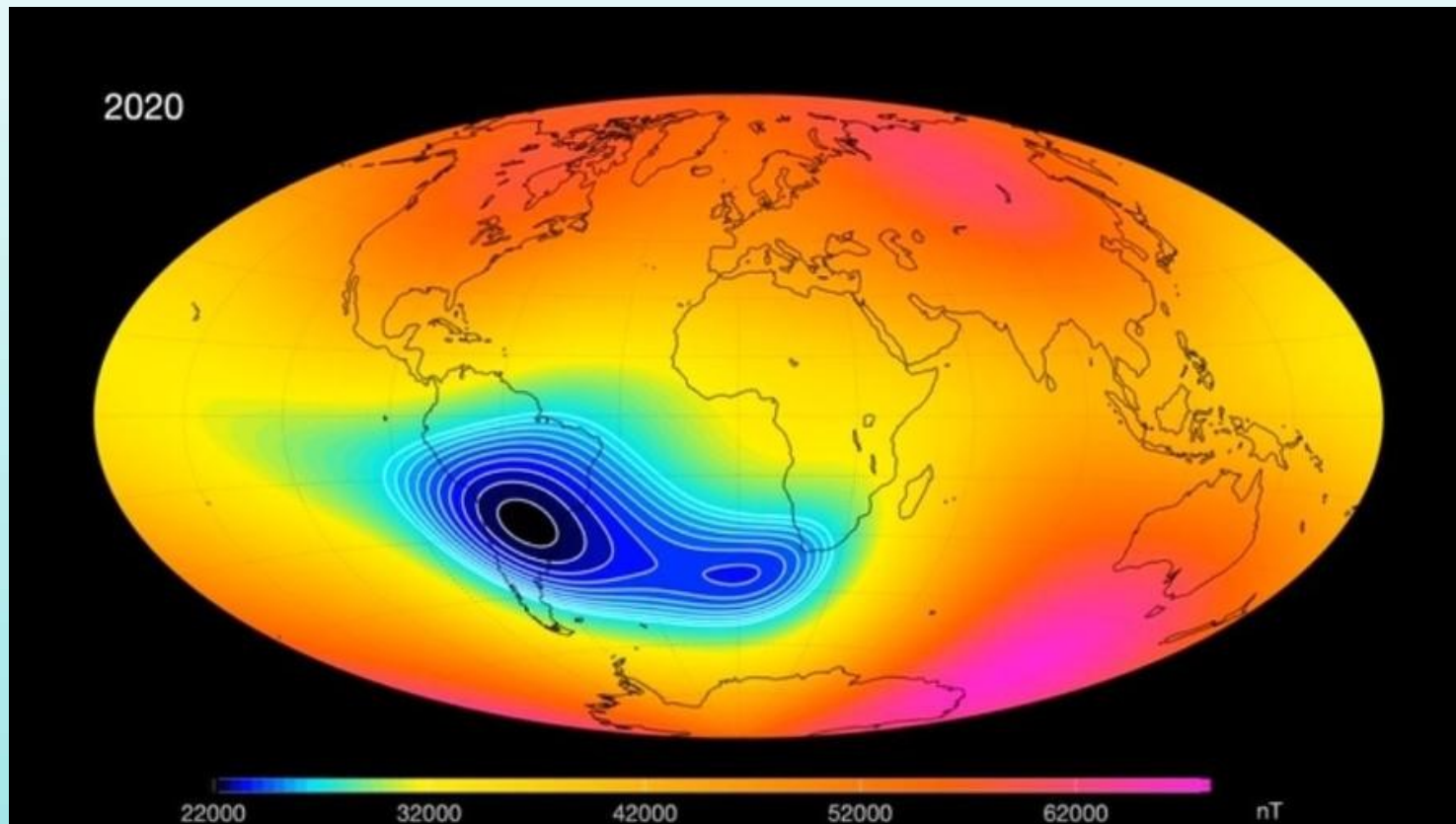


< GeV: campo geomagnético é um escudo
contra as radiações solares

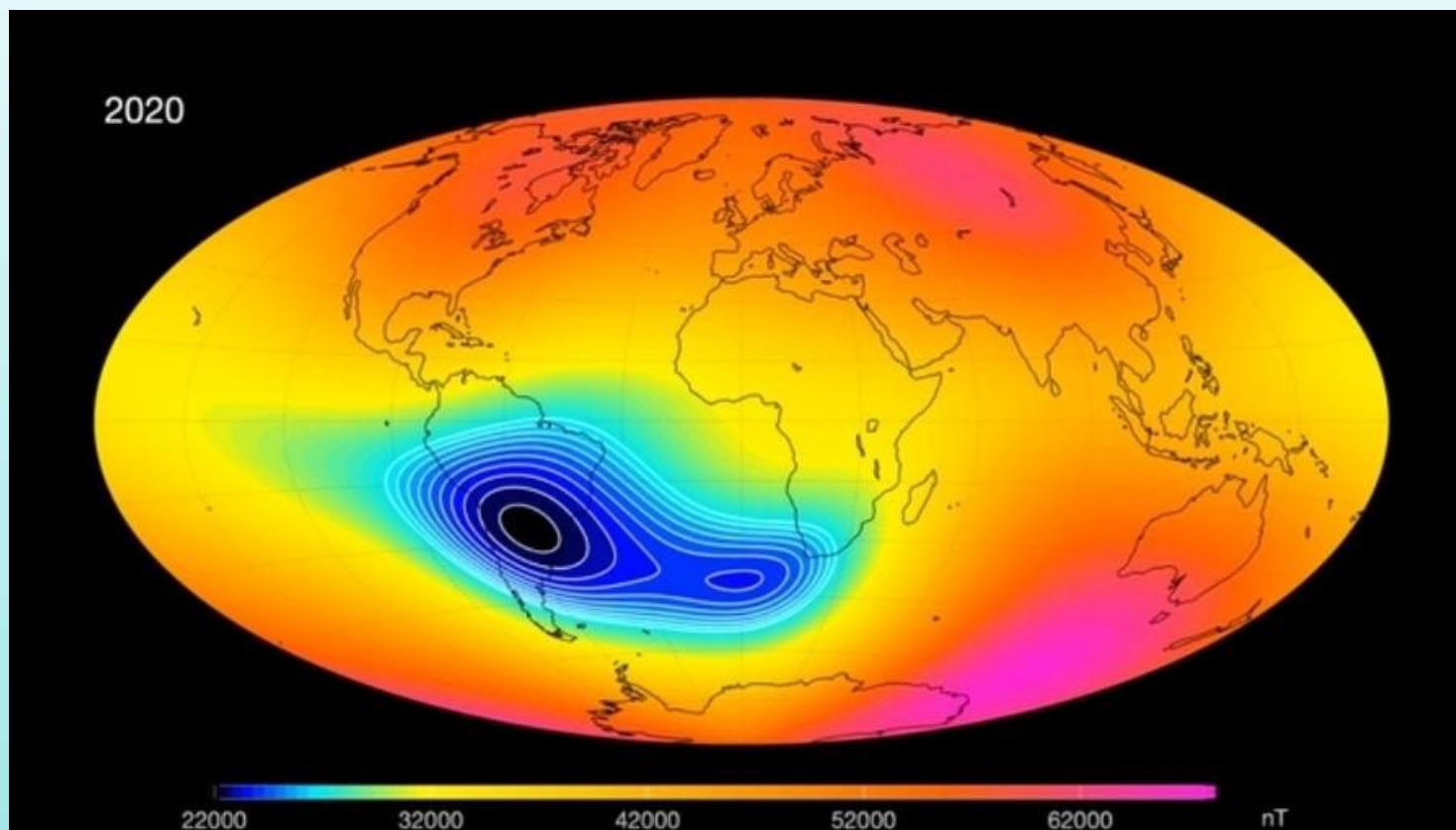




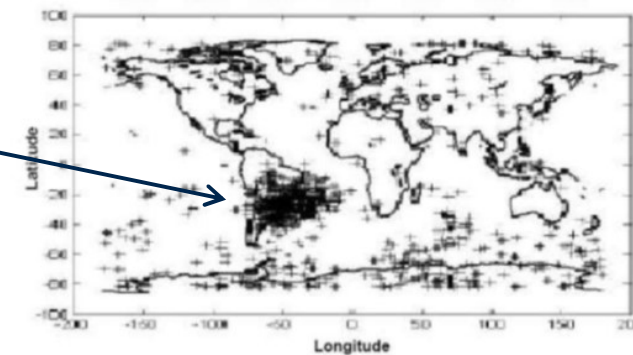
Anomalia do Atlântico Sul



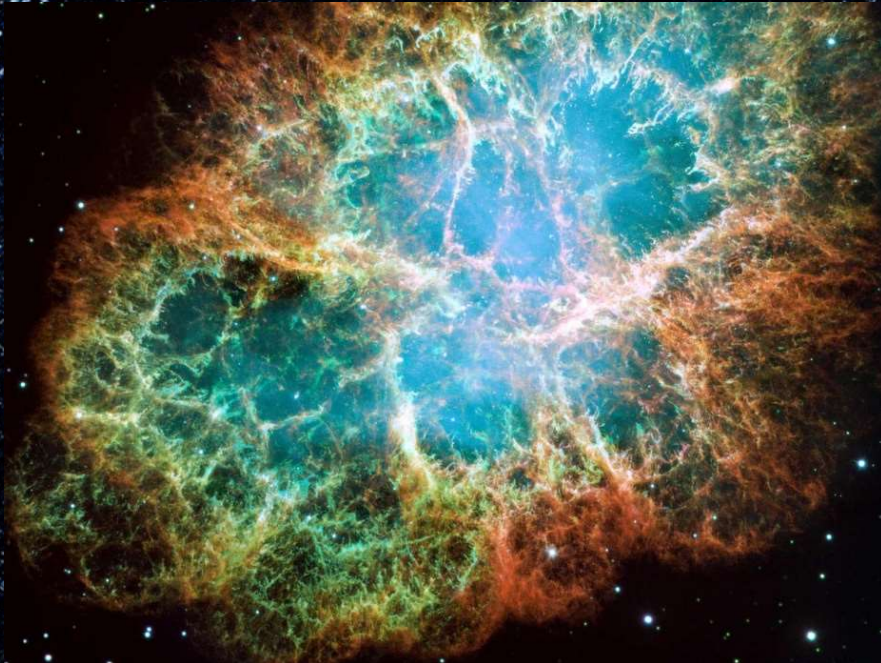
Anomalia do Atlântico Sul



prótons (< GeV)

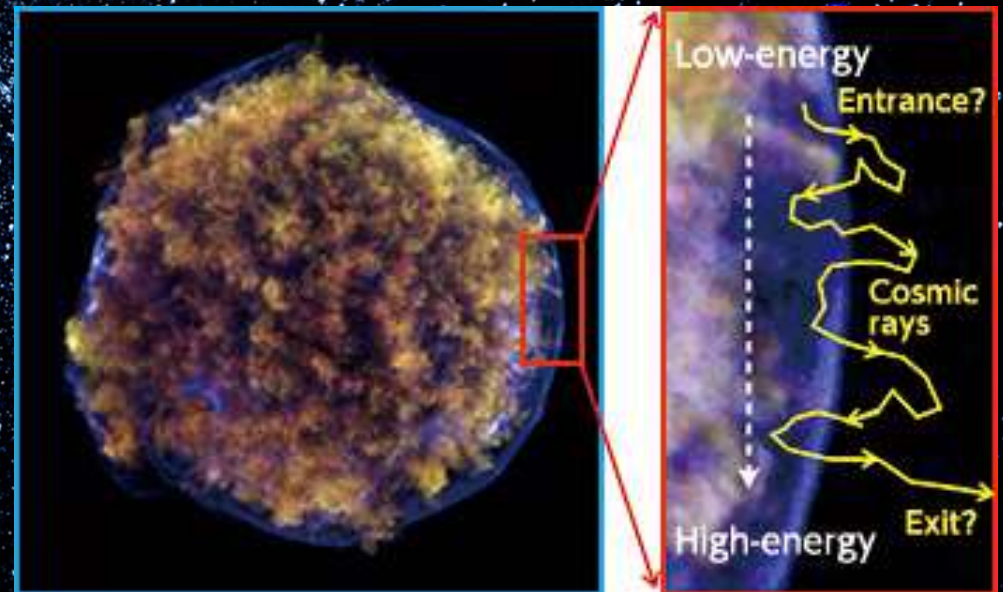


Raios cósmicos galácticos (GCRs) $E < 1\text{-}10 \text{ PeV}$ (PeVatrons)

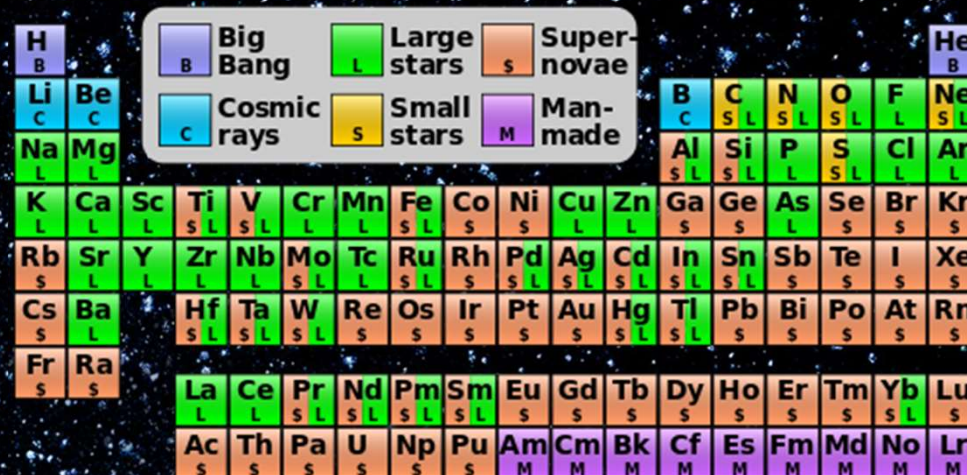


Nebulosa de Órion
(remanescente de supernovas)

Mecanismo de Fermi (1ª ordem):



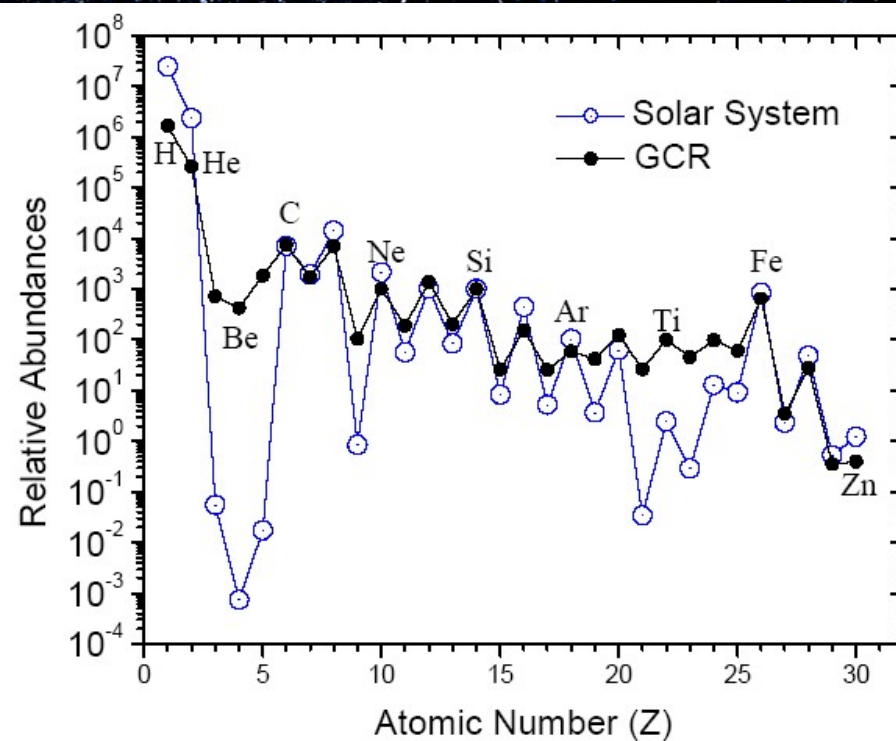
$$\varphi = kE^{-\gamma}$$



Cosmic Ray Spallation for Boron

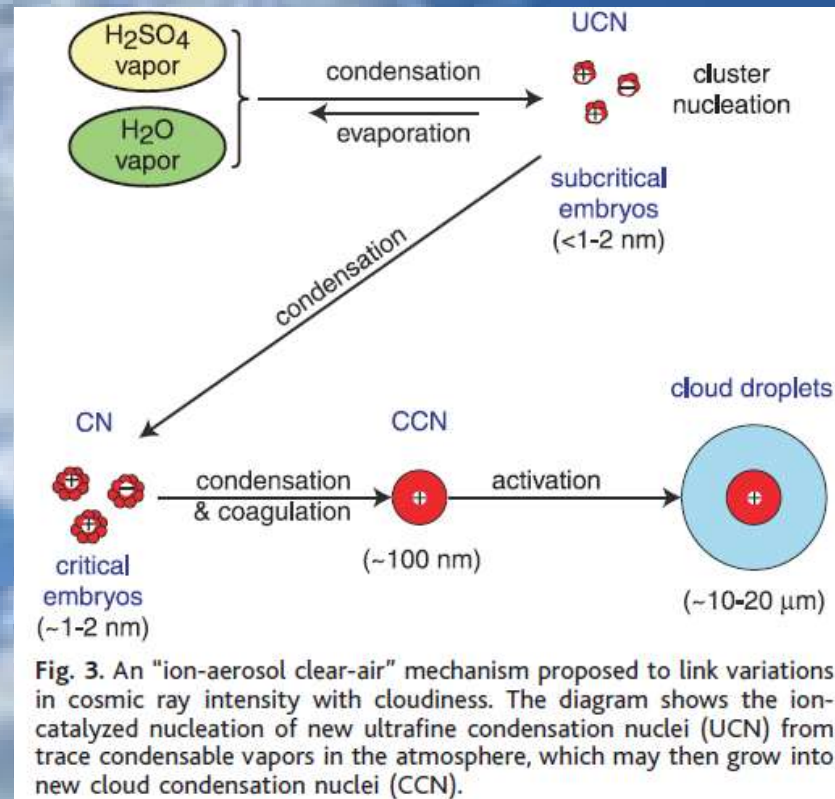
Diagram illustrating the process of Cosmic Ray Spallation for Boron:

- An **Energetic Particle** (red sphere) strikes a **Carbon atom floating in interstellar space** (cluster of red and grey spheres).
- The collision results in the formation of a **Newly formed Boron atom** (cluster of red and grey spheres) and **Dispersed Particles from collision** (red spheres).



Cloud formation

GCRs



Lightning formation

GCRs

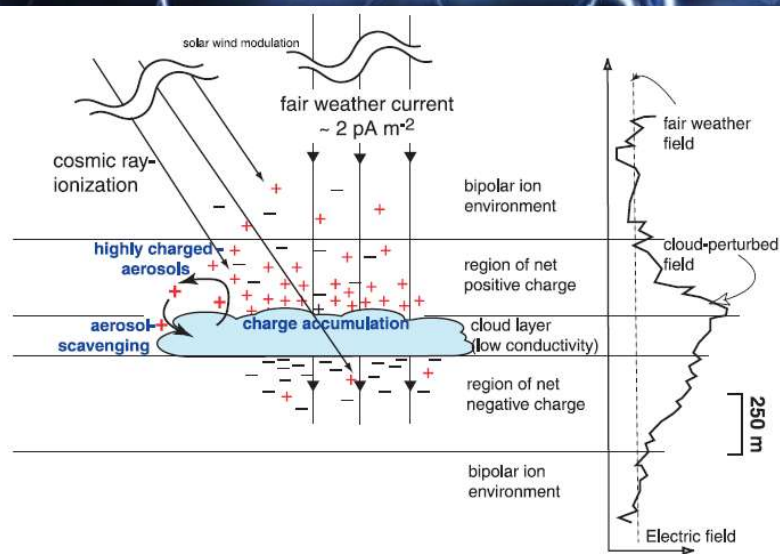


Fig. 4. An "ion-aerosol near-cloud" mechanism. The diagram shows the development of highly charged aerosols at cloud boundaries, which may then migrate within clouds and possibly enhance the formation of ice particles. The electric-field profile on the right side is taken from observations (48). The vertical scale is also shown.

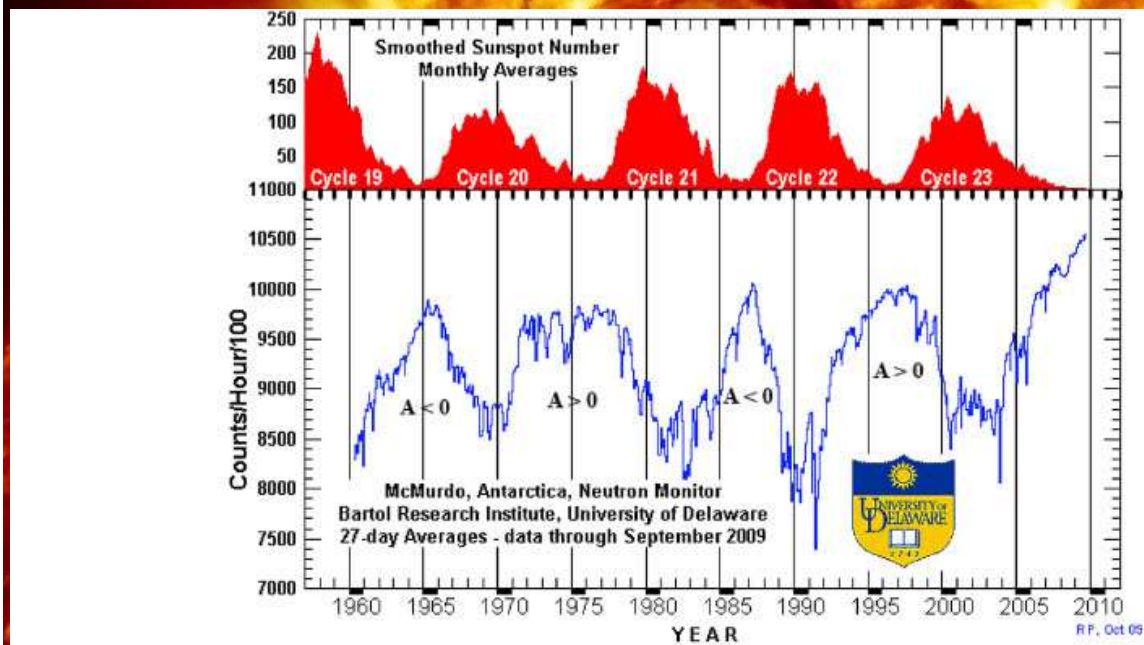


Figura 10 - Figura indicando a anticorrelação entre a contagem de manchas solares, indicadores do ciclo de atividade solar, e a detecção de neutrons em solo, produzidos na interação dos raios cósmicos primários com os elementos atmosféricos. Modificado de <http://neutromm.bartol.udel.edu/~rvle/modplotM.gif>. acesso em 25/5/2013.

Anticorrelação entre Raios Cósmicos e Manchas Solares

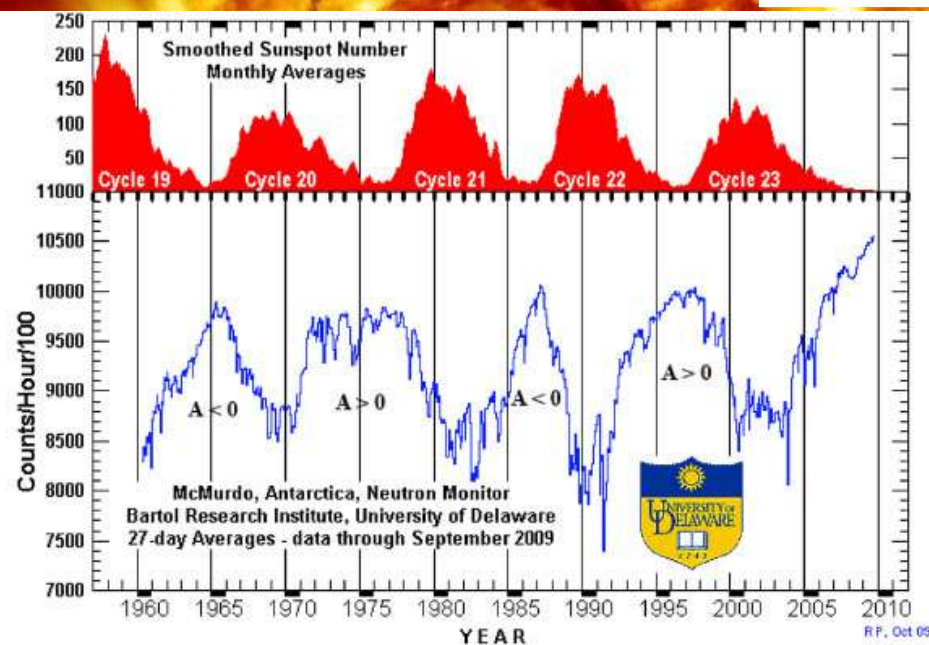
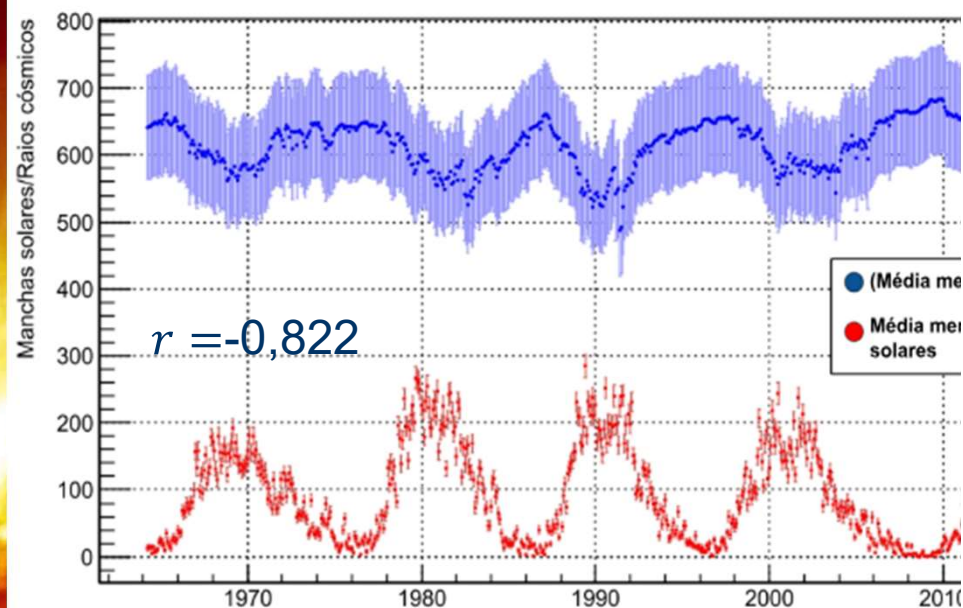
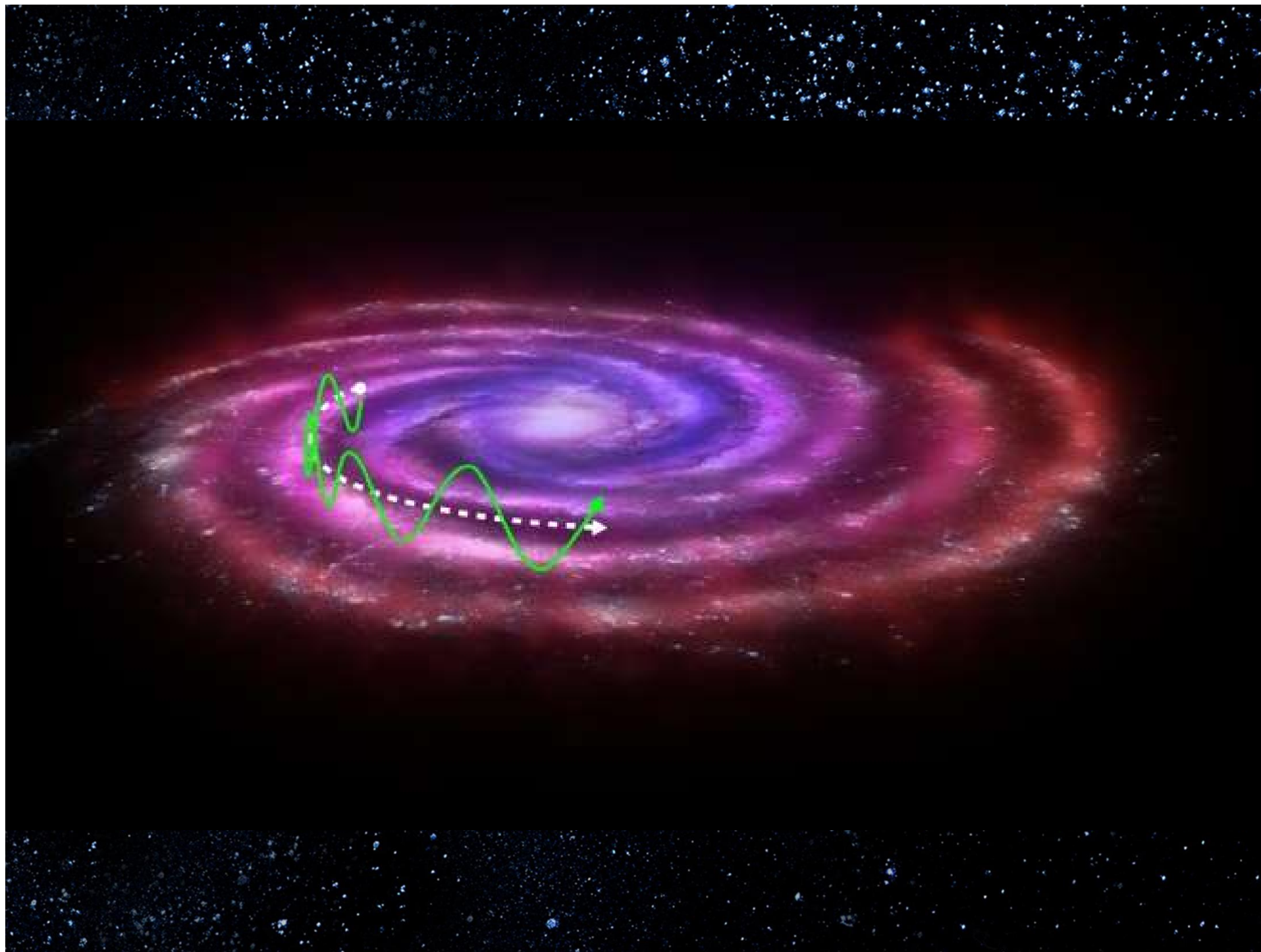


Figura 10 - Figura indicando a anticorrelação entre a contagem de manchas solares, indicadores do ciclo de atividade solar, e a detecção de neutrons em solo, produzidos na interação dos raios cósmicos primários com os elementos atmosféricos. Modificado de <http://neutromm.bartol.udel.edu/~pvle/modplotM.gif>. acesso em 25/5/2013.

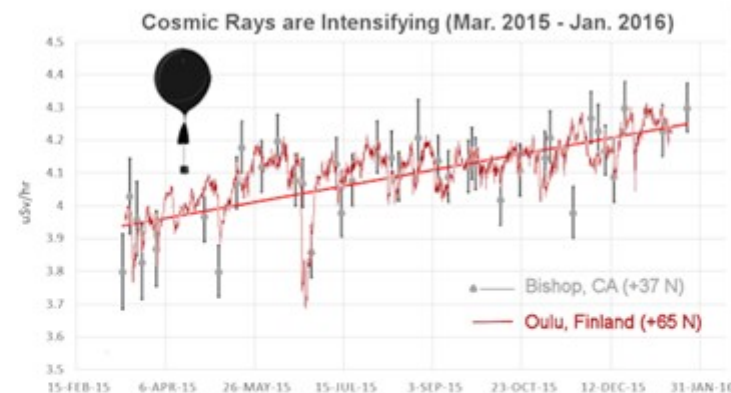


Cosmic Rays are Intensifying

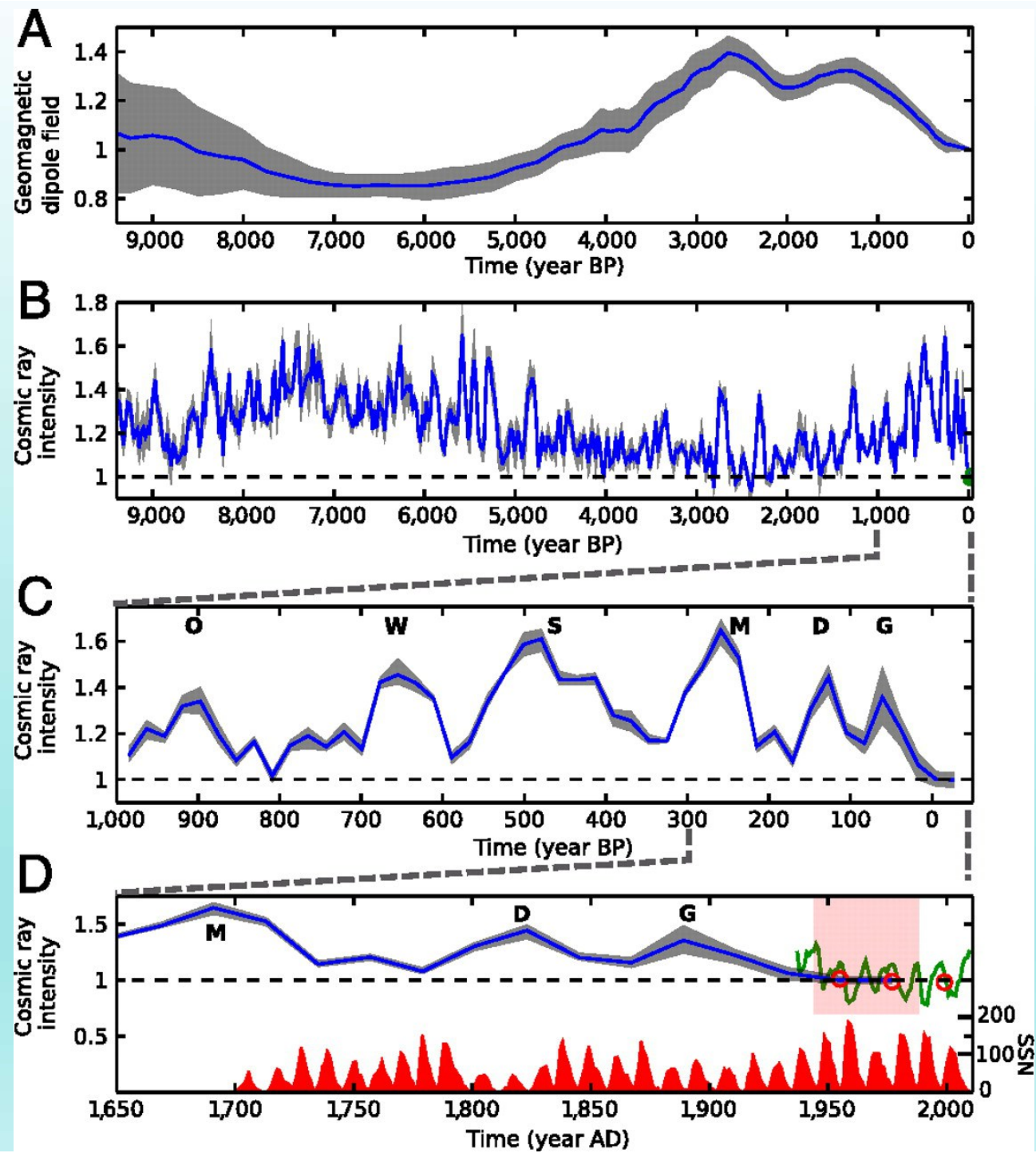
January 31, 2016

Cosmic Rays, high-altitude ballooning

For the past year, [neutron monitors](#) around the Arctic Circle have sensed an increasing intensity of cosmic rays. Polar latitudes are a good place to make such measurements, because Earth's magnetic field funnels and concentrates cosmic radiation there. Turns out, Earth's poles aren't the only place cosmic rays are intensifying. Spaceweather.com and the students of [Earth to Sky Calculus](#) have been launching helium balloons to the stratosphere to measure radiation, and they find the same trend over California:



In the plot, neutron monitor measurements from the University of Oulu [Cosmic Ray Station](#) are traced in red; gamma-ray/X-ray measurements over California are denoted in gray. The agreement between the two curves is remarkable. It means that the



[nature](#) > [nature podcast](#) > article

NATURE PODCAST | 22 October 2021

Viking presence in the Americas pinpointed by ancient solar storm

A solar storm in the year 993 has allowed researchers to show that Vikings were in the Americas exactly 1,000 years ago.

[Nick Petric Howe](#)

Subscribe



It's been known since the 1960s that the Vikings crossed the Atlantic and landed in North America but no-one could be sure exactly when. Attempts to date an archeological site in Newfoundland gave previous results spanning 300 years.

In this podcast we hear from a research team who've managed to obtain a remarkably precise date for Viking presence in America. By combing tree rings for traces of an ancient solar storm they can identify an individual year when Vikings were living on the continent. They hope that this technique could unravel other archaeological mysteries allowing historians better understand the distant past.



Sign up to Nature Briefing

An essential round-up of science news, opinion and analysis, delivered to your inbox every weekday.

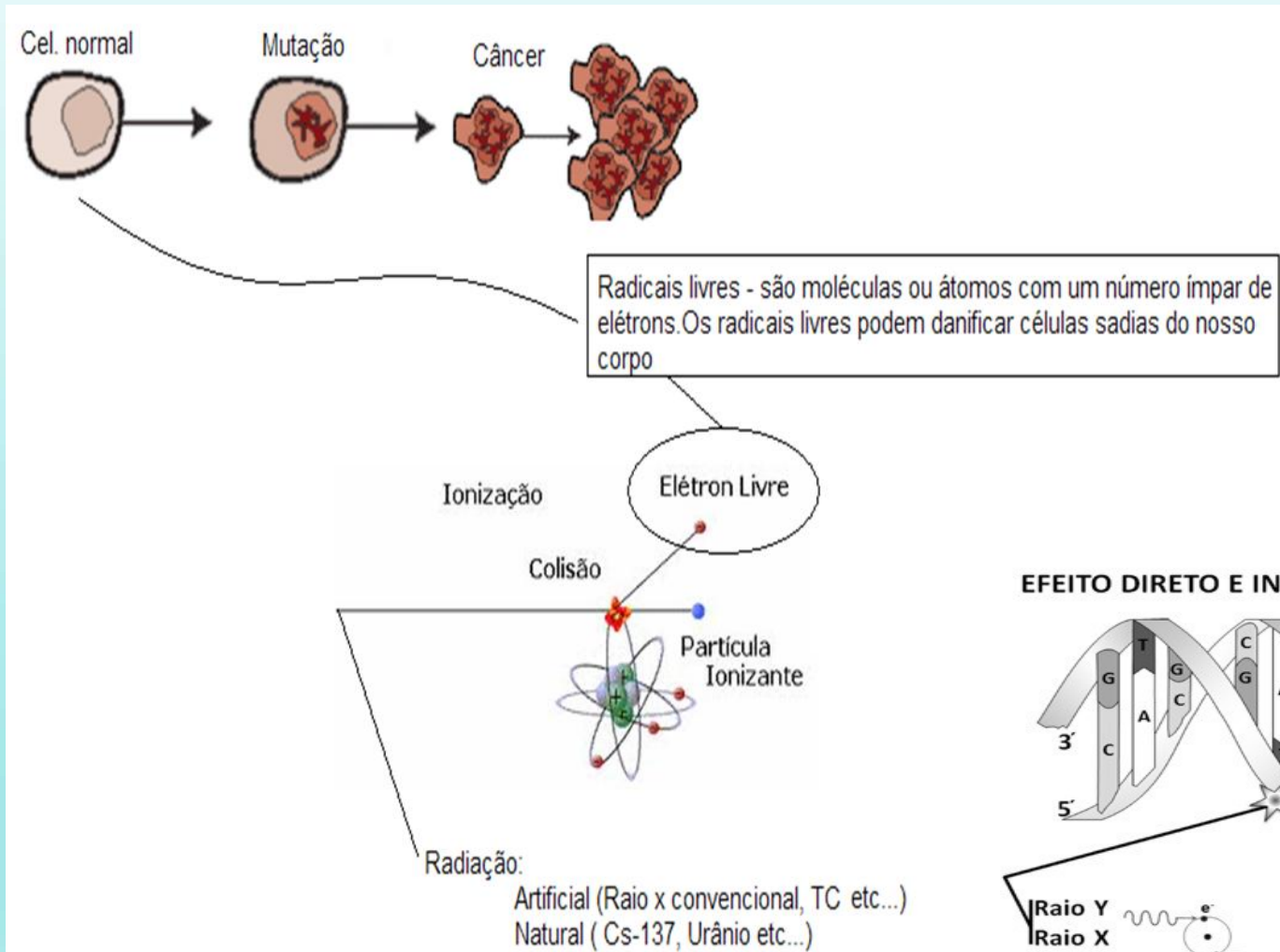
Email address

e.g. jo.smith@university.ac.uk

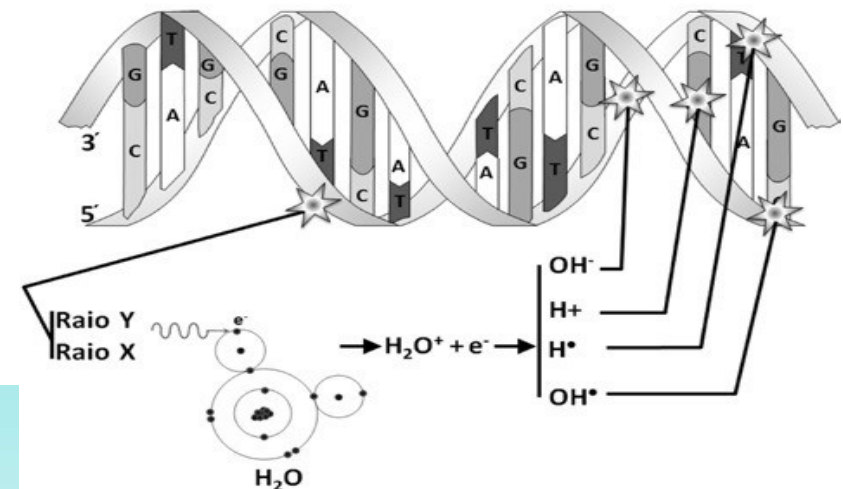
☐ Yes! Sign me up to receive the daily *Nature Briefing* email. I agree my information will be processed in accordance with the Nature and Springer Nature Limited [Privacy Policy](#).

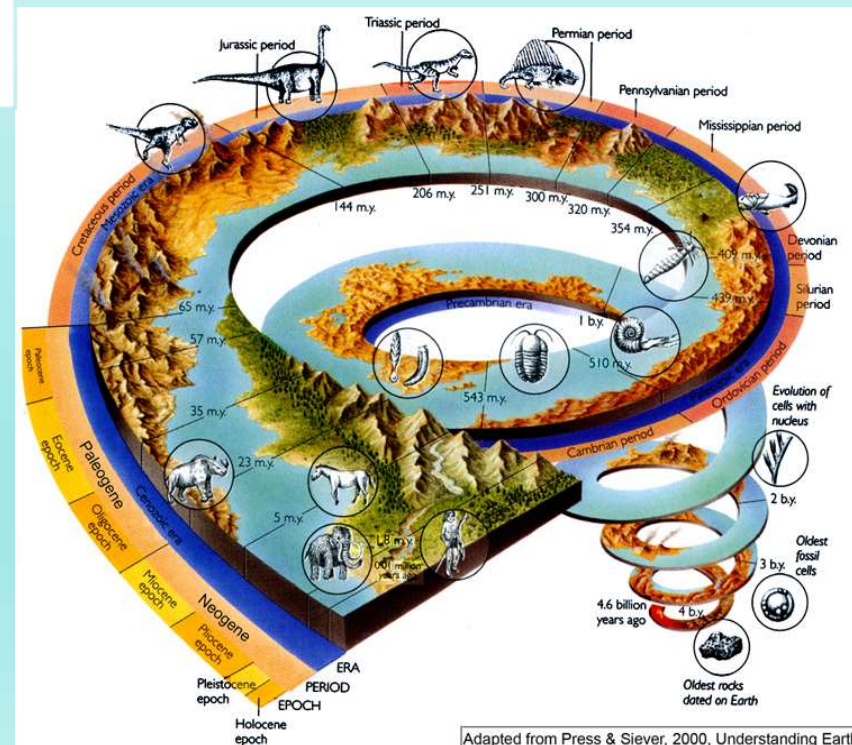
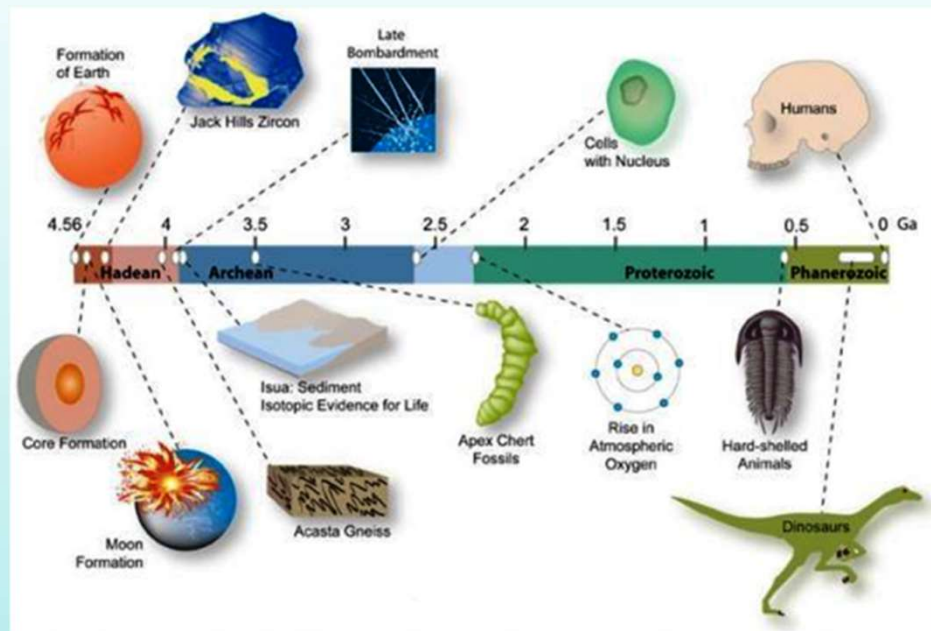
Sign up

Efeitos biológicos das radiações



EFEITO DIRETO E INDIRETO DA RADIAÇÃO IONIZANTE





Adapted from Press & Siever, 2000, Understanding Earth

Meio ambiente

Vida na Terra parece intimamente conectada aos raios cósmicos

Redação do Site Inovação Tecnológica - 07/01/2022

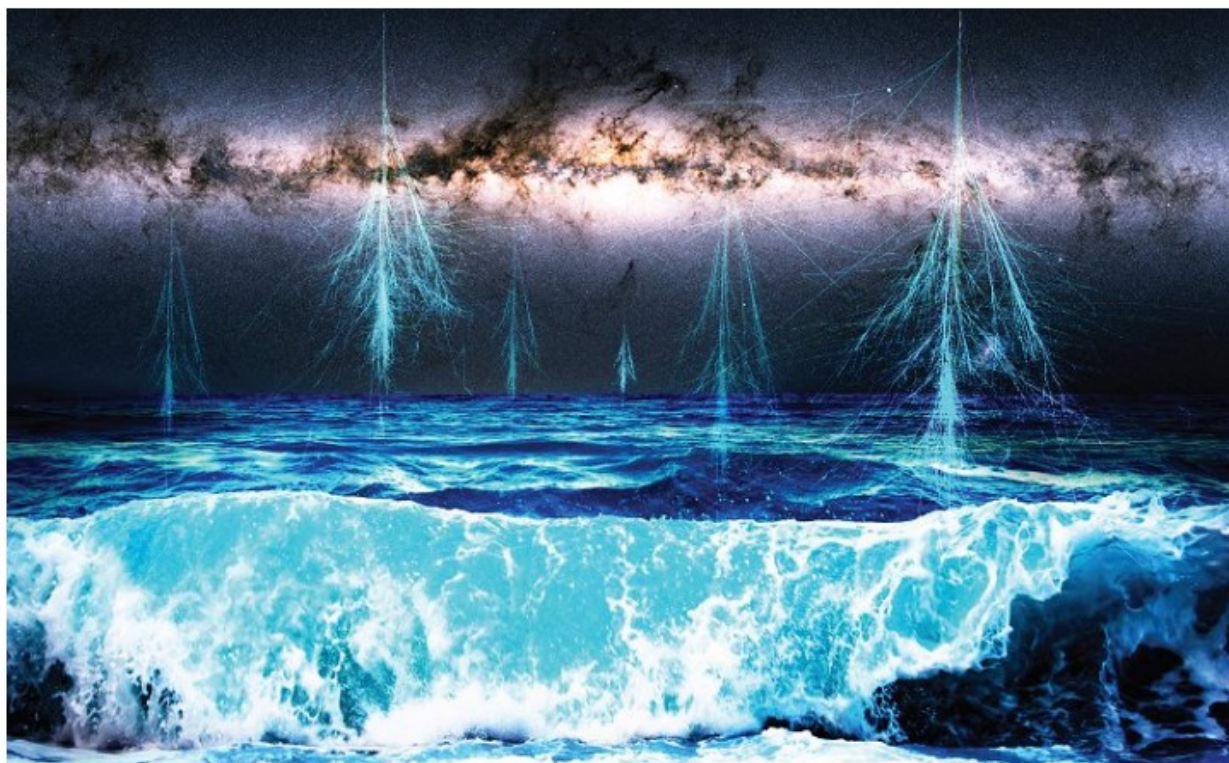


Ilustração da Via Láctea vista da Terra. As supernovas aceleram os raios cósmicos para altas energias, essas partículas entram na atmosfera da Terra e produzem as chamadas **chuvas de partículas secundárias**. Um resultado surpreendente é que as mudanças nos raios cósmicos ao longo da história influenciaram a vida na Terra.

[Imagem: H. Svensmark/DTU Space]

Meio ambiente

Descoberta correlação misteriosa entre terremotos e raios cósmicos

Redação do Site Inovação Tecnológica - 16/06/2023



Mudanças na intensidade dos raios cósmicos que chegam à Terra podem ajudar a prever terremotos - mas precisaremos desvendar o enigma primeiro.

[Imagem: IFJ PAN/NASA/JSC]

Uma descoberta, muitas perguntas

Na verdade, a natureza global do fenômeno observado e o avanço de 15 dias na atividade sísmica evidente na radiação cósmica não são os únicos quebra-cabeças intrigantes associados a esta descoberta.

Uma grande surpresa é a periodicidade em grande escala da correlação, um fenômeno que ninguém esperava: As análises mostram que o máximo de correlação ocorre a cada 10-11 anos, um período semelhante ao do ciclo de atividade solar. Mas não se apresse, porque a correlação não coincide em nada com o máximo do ciclo da nossa estrela.

Além disso, existem outras periodicidades comuns de natureza desconhecida nesses dados associando raios cósmicos e tremores sísmicos. Os exemplos incluem mudanças periódicas na atividade sísmica e na intensidade da radiação cósmica secundária ao longo de um ciclo correspondente ao dia estelar da Terra (igual a 24 horas menos ~236 segundos).

Será então que as correlações cósmico-sísmicas são causadas por algum fator que nos chega de fora do Sistema Solar, capaz de produzir simultaneamente radiação e efeitos sísmicos?

Essa falta de explicações simples para as periodicidades observadas levou os cientistas a sugerirem que, para resolvermos o enigma, será necessário levar em consideração o possível papel de outros fenômenos menos convencionais.

Um deles poderia ser a passagem da Terra por um fluxo de matéria escura modulada pelo Sol e outros corpos massivos em nosso sistema planetário. A Terra, com seu grande campo magnético, é um detector de partículas extremamente sensível, muitas vezes maior do que os detectores construídos pelo homem. Portanto, é razoável levantar a possibilidade de que esse sensor planetário possa responder a fenômenos que são invisíveis aos dispositivos de medição existentes.

"Independentemente da fonte das periodicidades observadas, o mais importante nesta fase da pesquisa é termos demonstrado uma ligação entre a radiação cósmica registrada na superfície do nosso planeta e sua sismicidade - e se há algo que podemos ter certeza, é que nossa observação aponta para oportunidades de pesquisa totalmente novas e empolgantes," disse o professor Piotr Homola, do Instituto de Física Nuclear da Polônia.

Credo

Esta pesquisa foi possível graças ao projeto internacional CREDO (sigla em inglês para Observatório Extremamente Distribuído de Raios Cósmicos).

Trata-se de um observatório virtual de raios cósmicos, aberto a todos, que coleta e processa dados não apenas de detectores científicos sofisticados, mas também de um grande número de detectores menores, entre os quais os sensores CMOS nos telefones celulares (para transformar seu celular em um detector de raios cósmicos, basta instalar o aplicativo gratuito *CREDO Detector*).

Uma das principais tarefas do CREDO é monitorar as mudanças globais no fluxo de radiação cósmica secundária que atinge a superfície do nosso planeta. Essa radiação é produzida na estratosfera da Terra de forma mais intensa dentro do chamado máximo Regener-Pfotzer, quando partículas de radiação cósmica primária - aquelas que chegam do espaço - colidem com as moléculas de gás da nossa atmosfera e iniciam cascatas de partículas secundárias, criando os famosos **chuveiros de partículas**.

Bibliografia:

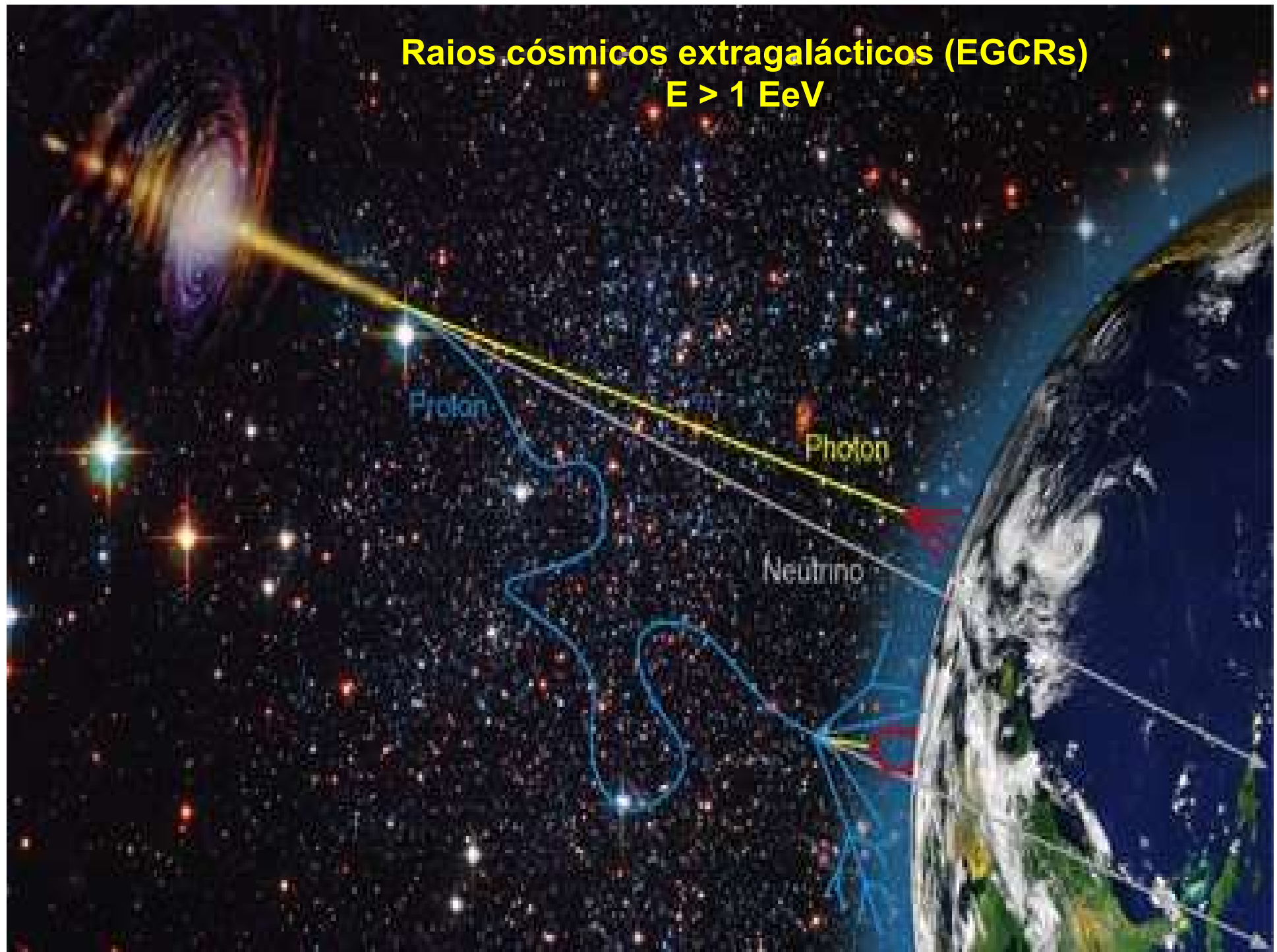
Artigo: *Observation of large scale precursor correlations between cosmic rays and earthquakes with a periodicity similar to the solar cycle*

Autores: P. Homola, V. Marchenko, A. Napolitano, R. Damian, R. Guzik, D. Alvarez-Castillo, S. Stuglik, O. Ruimi, O. Skorenok, J. Zamora-Saa, J. M. Vaquero, T. Wibig, M. Knap, K. Dziadkowiec, M. Karpiel, O. Sushchov, J. W. Mietelski, K. Gorzkiewicz, N. Zabari, K. Almeida Cheminant, B. Idzkowski, T. Bulik, G. Bhatta, N. Budnev, R. Kaminski, M. V. Medvedev, K. Kozak, O. Bar, A. Bibrzycki, M. Bielewicz, M. Frontczak, P. Koacs, B. Lozowski, J. Miszczyk, M. Nizwiecki, L. del Peral, M. Piekarczyk, M. D. Rodríguez Frías, K. Rzecki, K. Smelcerz, T. Sosnicki, J. Stasielak, A. A. Tursunov

Revista: *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*

DOI: 10.1016/j.jastp.2023.106068

Raios cósmicos extragalácticos (EGCRs) $E > 1 \text{ EeV}$



EGCRProp

Home

EGCRProp

Details

Written by Super User

Category: [Uncategorised](#)

Published: 30 May 2018

Hits: 1088



Main Menu

[Home](#)

[Download](#)

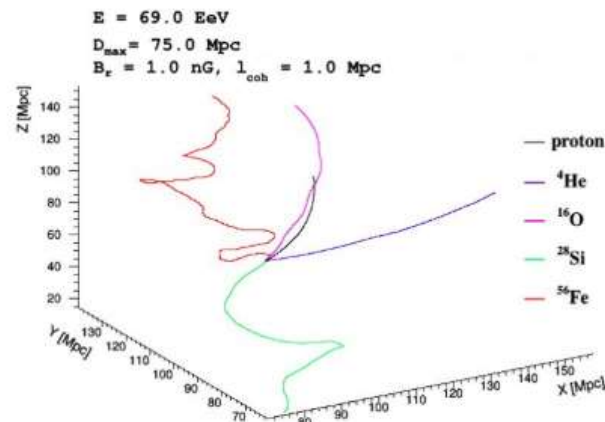
Login Form

☐ Remember Me

[Log in](#)

[Forgot your username?](#)

[Forgot your password?](#)



Welcome to the ExtraGalactic Cosmic-Ray Propagator (EGCRProp) page. EGCRProp is a Monte Carlo code written in C++ for the propagation of Ultra-High Energy Cosmic Rays (UHECRs) through Extragalactic Magnetic Fields (EMFs). In the simulation it is calculated the three-dimensional trajectory of nuclei (from proton up to Fe) through spherical cells of coherent magnetic fields with smooth transitions. We take into account the energy losses due to the interactions between the UHECRs and the Extragalactic Background Light (EBL). The code takes advantage of GNU MPFR library, a portable library for arbitrary-precision binary floating-point computation. You can find the code to actually perform your simulations is available: [here](#).

Please, acknowledge the use of the EGCRProp code by quoting this site <http://pesquisa.ufabc.edu.br/egcrprop> and citing M.A. Leigui de Oliveira, and R.P. Costa Junior. "A Numerical Model for the Propagation of Ultra-High Energy Cosmic Rays through Extragalactic Magnetic Fields", Proc. of the 35th ICRC (ICRC2017), PoS(ICRC2017)477.

You are here: [Home](#)

EGCRProp

- Cosmic rays are charged particles, so they are influenced by magnetic fields present in space, and suffer a magnetic force:

$$\vec{F}_B = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

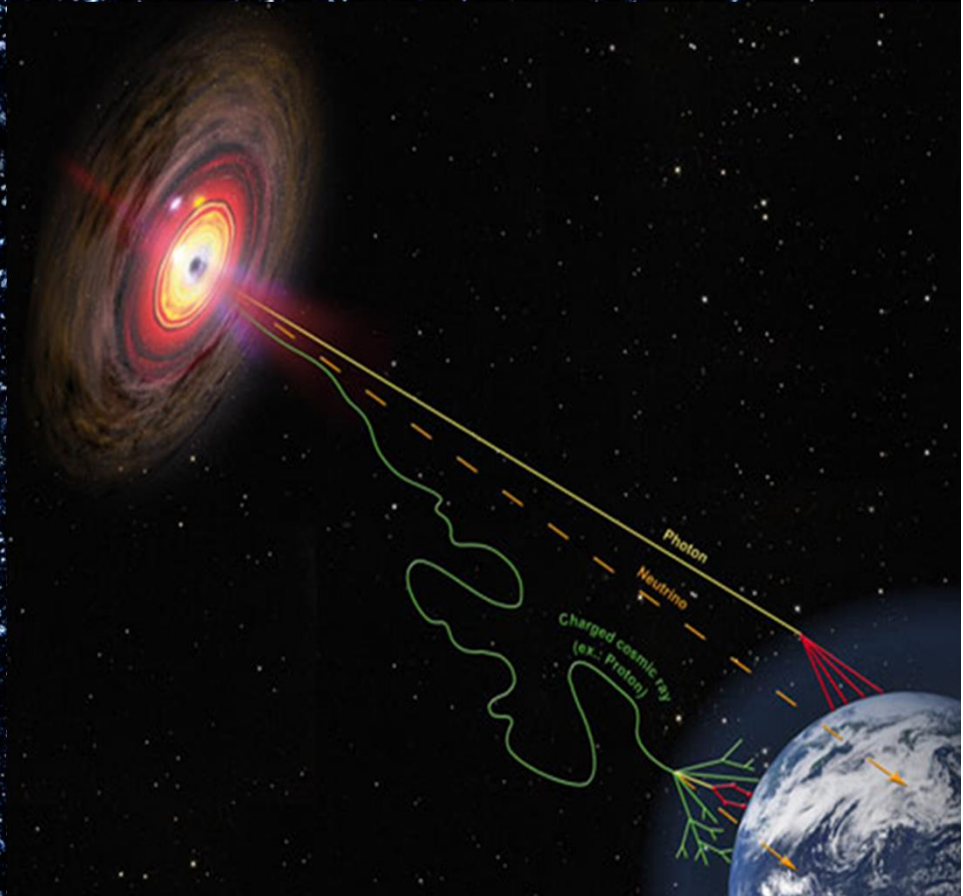
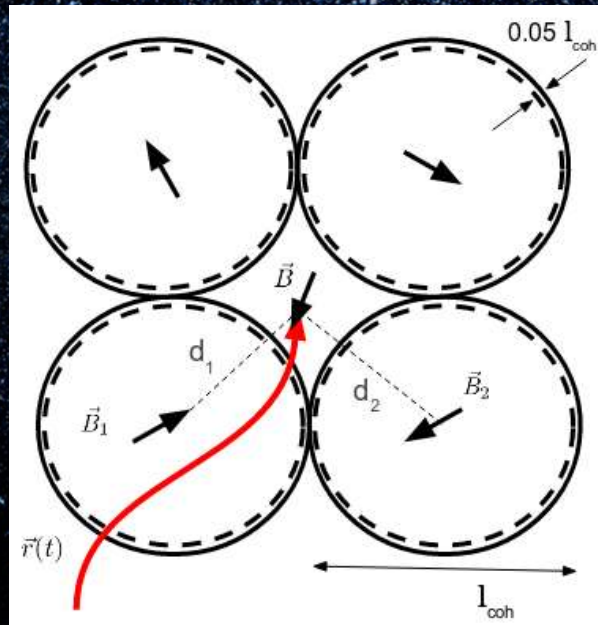
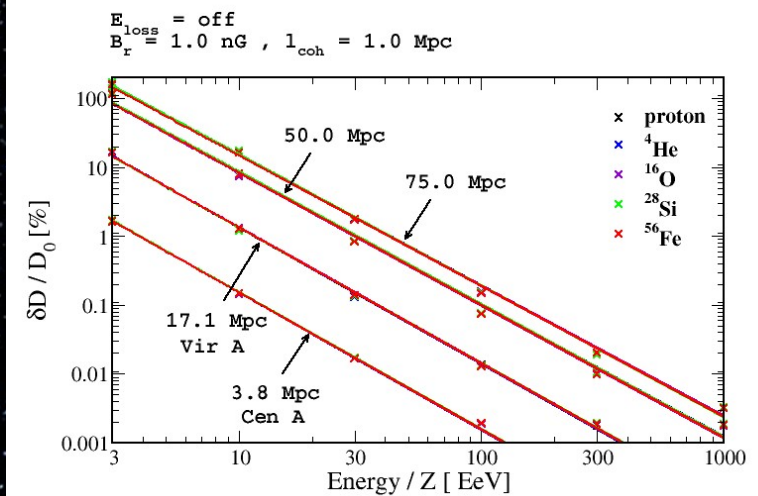
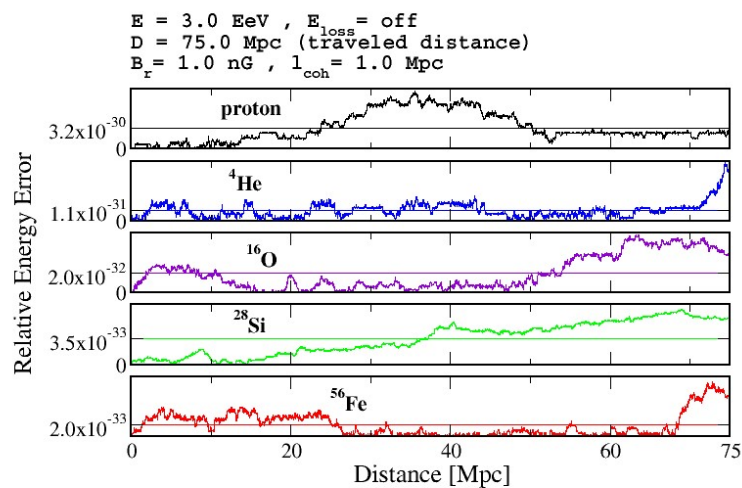
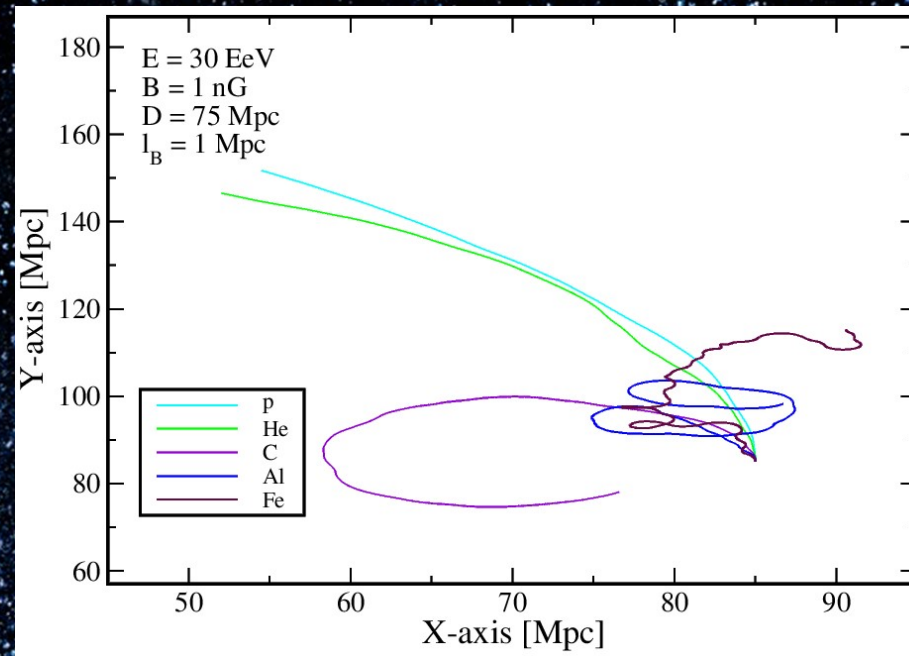
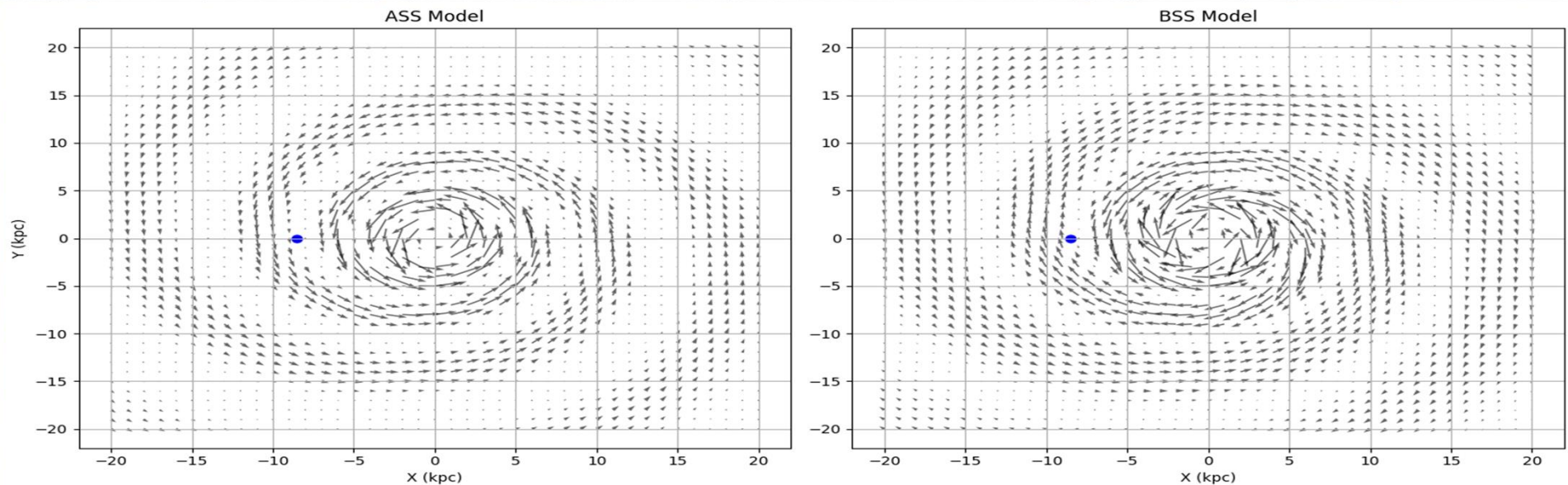


Figure 4: Trajectory propagations of a photon, cosmic ray and neutrino. [3]

EGCRProp



Models for the Galactic Magnetic Field



Representation of the ASS (Left) and BSS (Right) models. The arrows represent the magnetic field direction vectors, and their size indicates its intensity. The blue dot is at $(-8.5, 0, 0)$ kpc mark Earth's position in the Milky Way.

$$B_{sp} = B_0(\rho) \cos^2 \left(\theta - \beta \ln \left(\frac{\rho}{\xi_0} \right) \right)$$

ASS Field

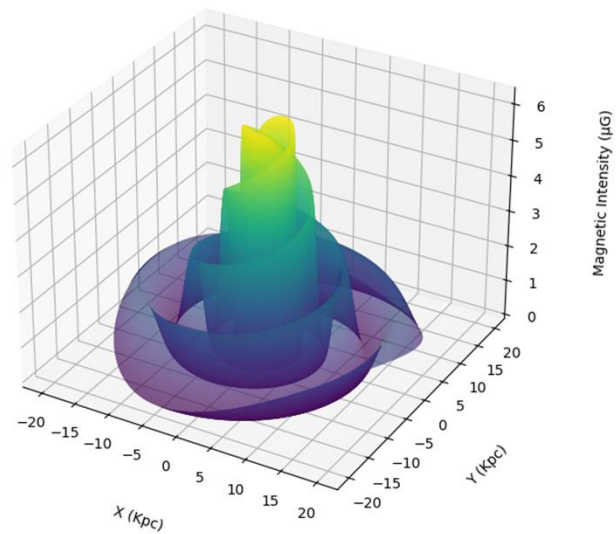
$$B_{sp} = B_0(\rho) \cos \left(\theta - \beta \ln \left(\frac{\rho}{\xi_0} \right) \right)$$

BSS Field

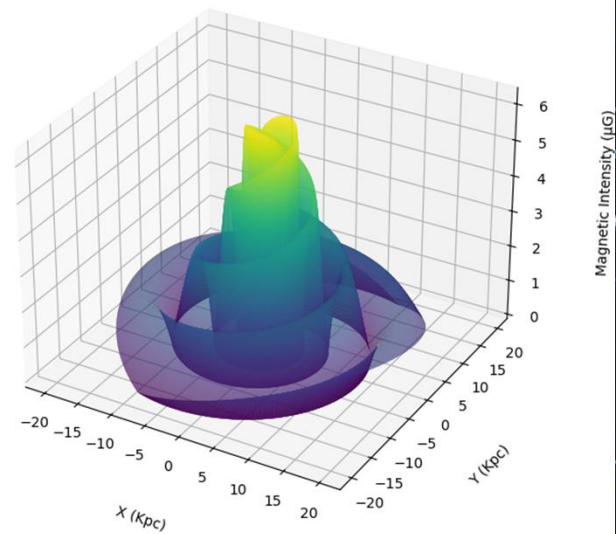
$$B_0(\rho) = \frac{3r_0}{\rho} \tanh^3(\rho/\rho_1) \mu\text{G} = \frac{3r_0}{\rho} \tanh^3(\rho/\rho_1) \cdot 10^{-10} \text{ T}$$

Models for the Galactic Magnetic Field

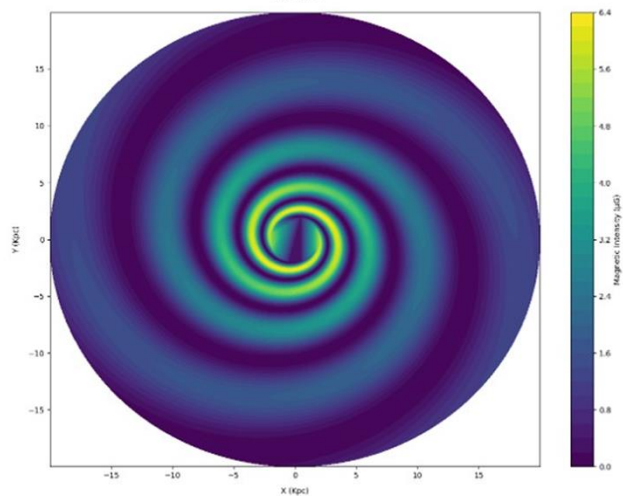
ASS Model



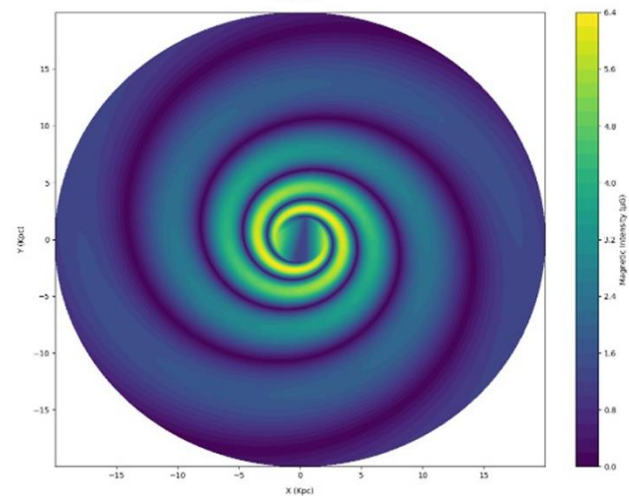
BSS Model



ASS Model

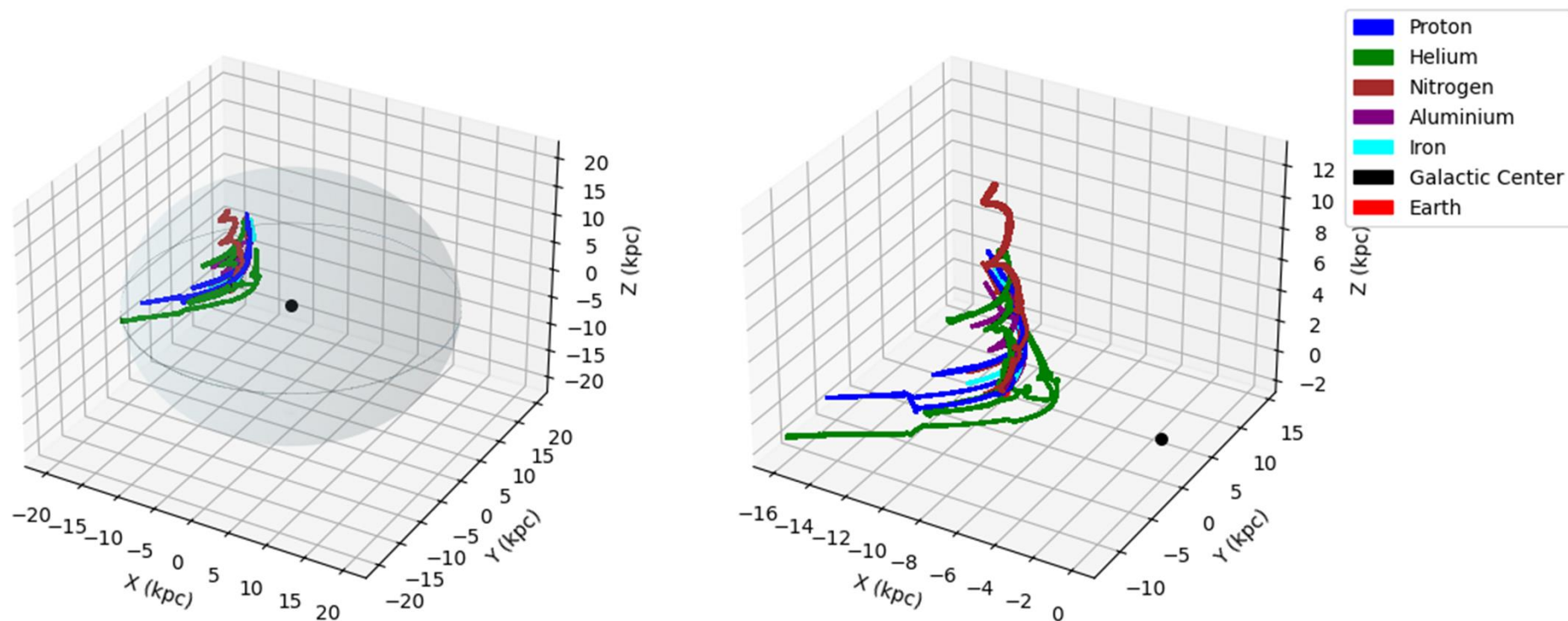


BSS Model



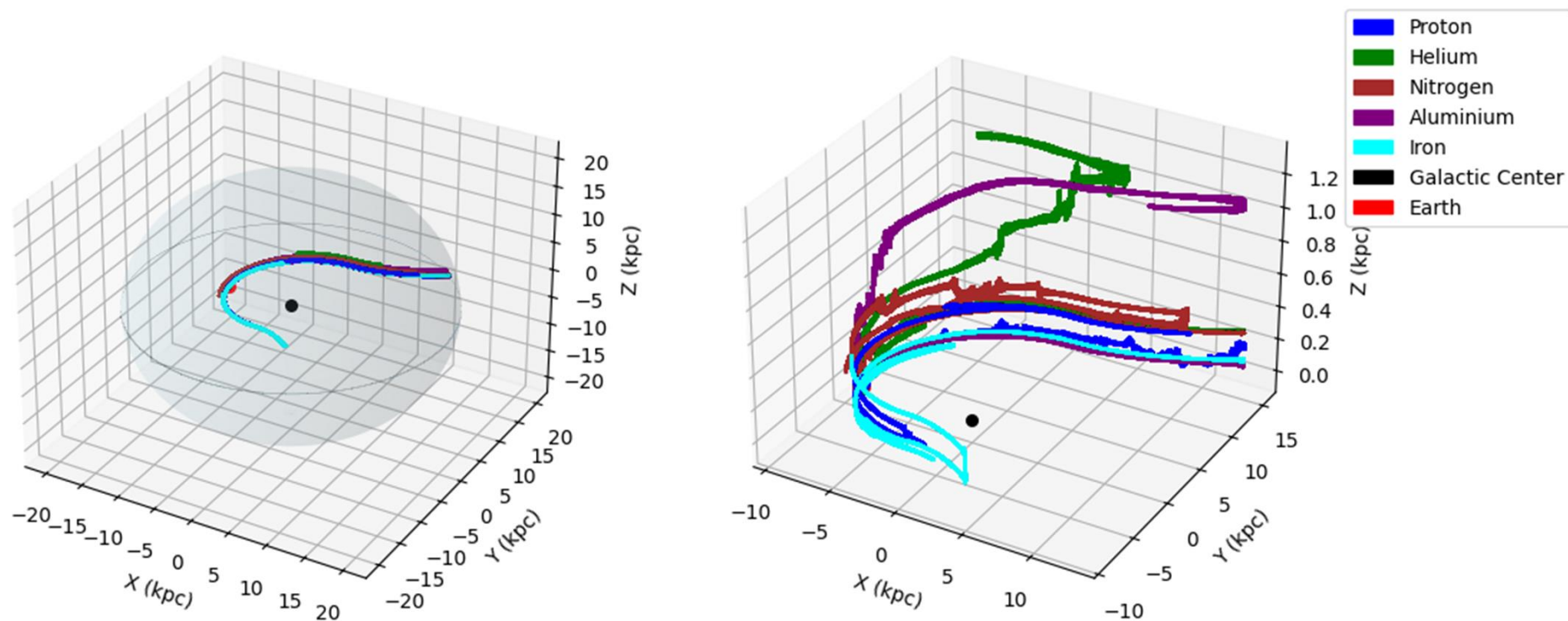
Models for the Galactic Magnetic Field

Galactic Propagation ASS - 60 PeV



Models for the Galactic Magnetic Field

Galactic Propagation BSS - 60 PeV



Models for the Galactic Magnetic Field

Larmor Radius VS Time for Different Particle Types (60 PeV)

