

# Observar o Universo

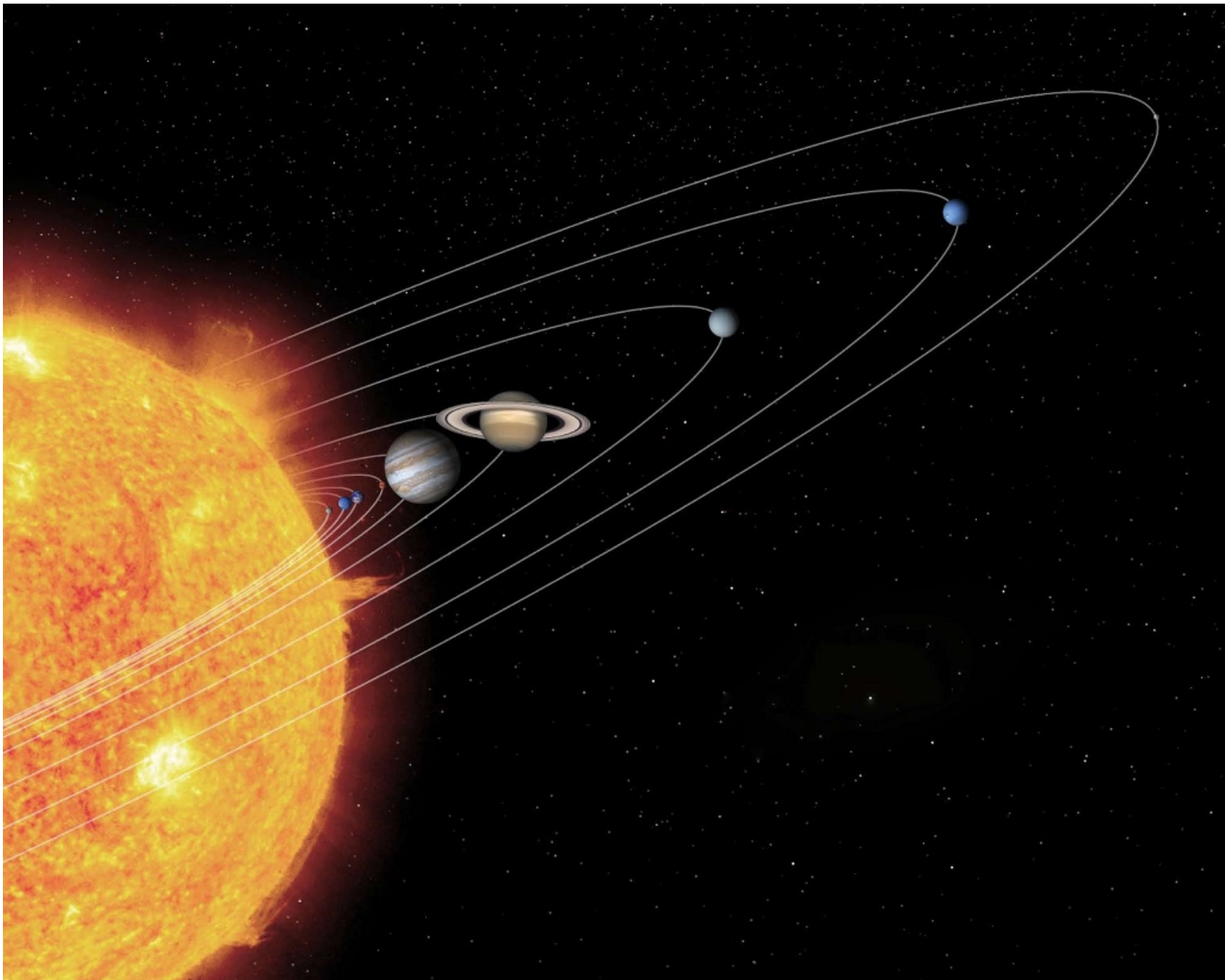
astropartículas  
astronomia e física de partículas

Sofia Andringa, LIP-Lisboa  
O que sabemos do Universo?  
São Tomé e Príncipe, Setembro 2009

Da Terra, vemos o Sol, a luz reflectida na Lua, e a luz emitida por estrelas distantes...



# O nosso Sistema Solar



# Galáxia Espiral, como a Via Láctea

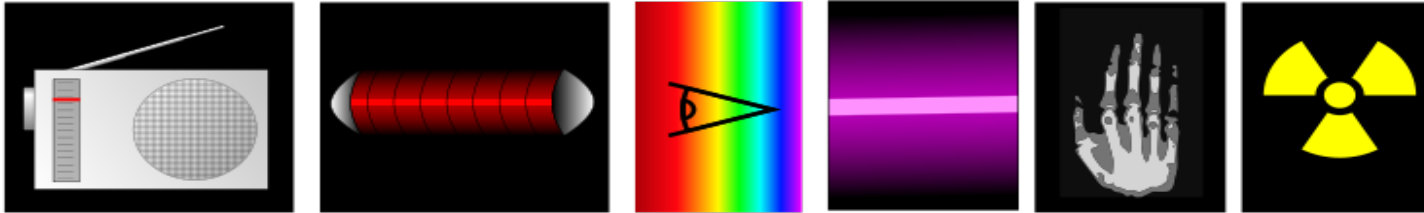




fora da Via Láctea, vemos outras galáxias

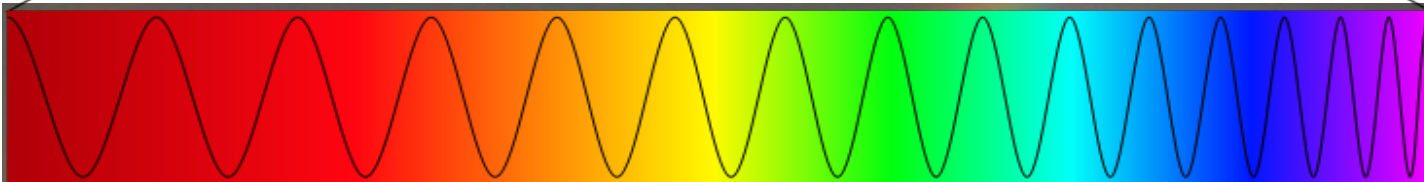


# A luz é radiação electromagnética

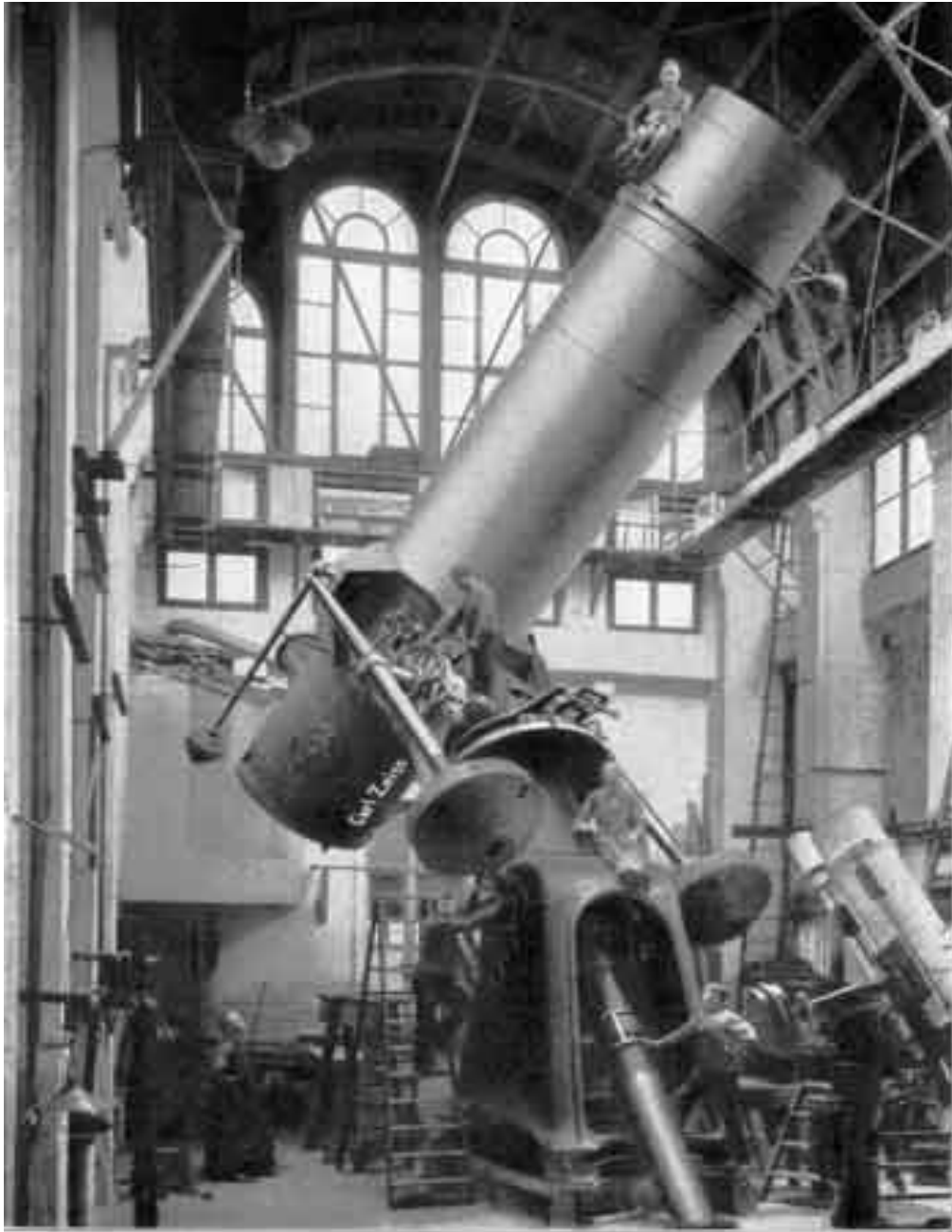


Sol

Infra Vermelho (calor),  
**luz e**  
Ultra Violeta (queimaduras)

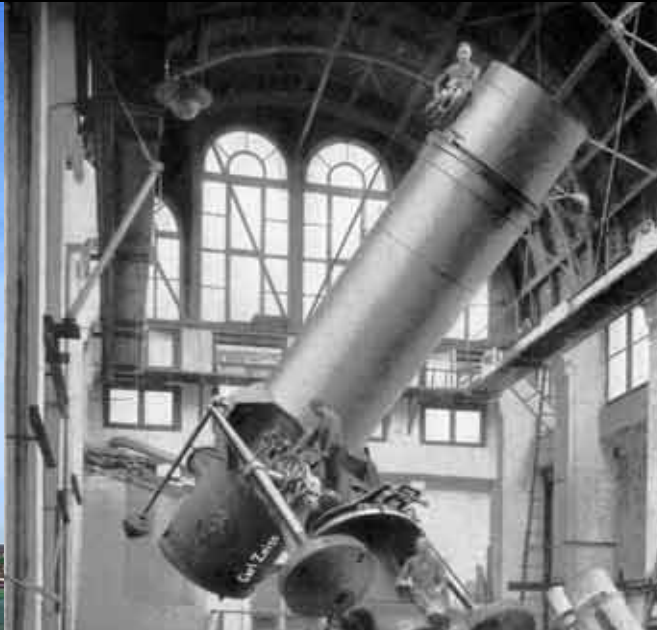
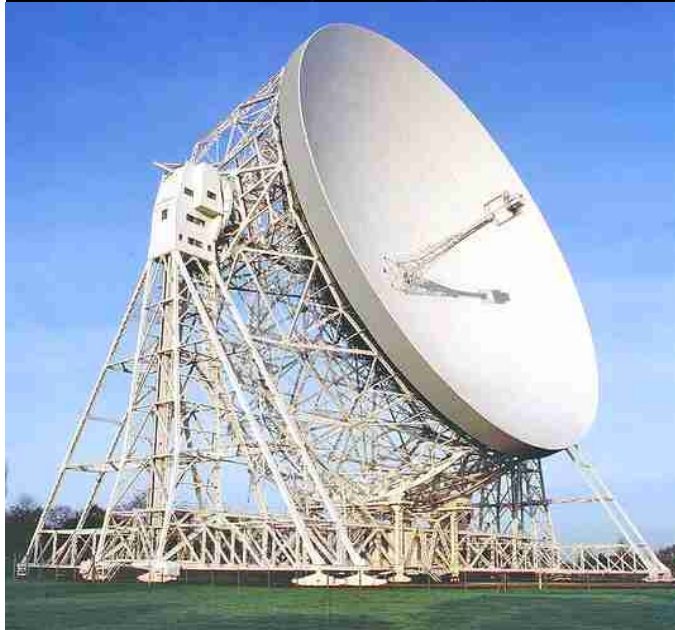
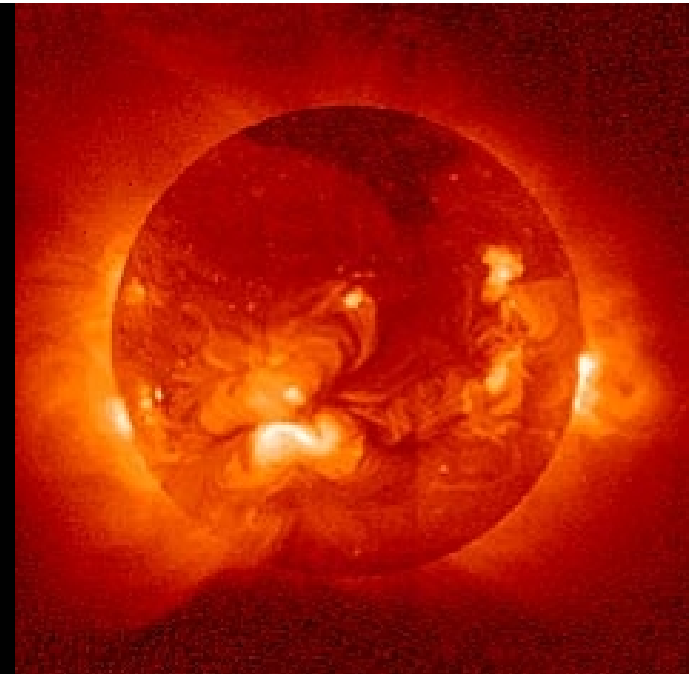
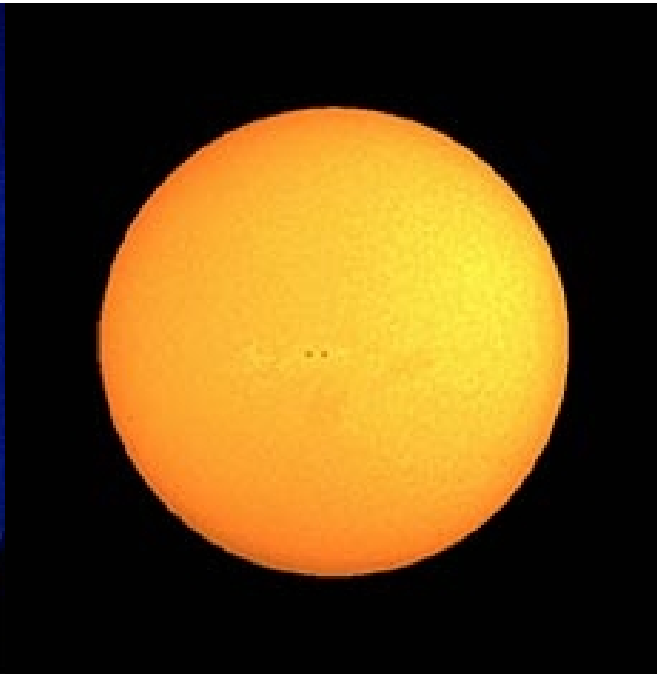
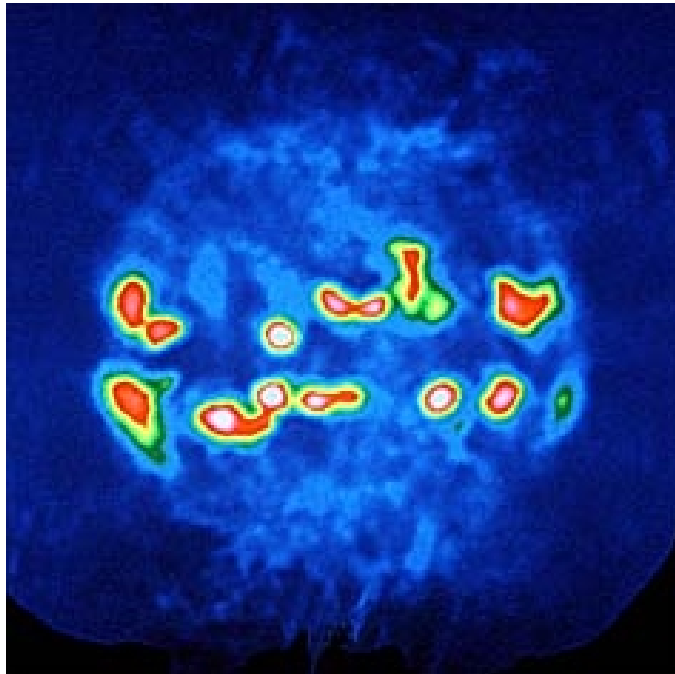


# Telescópios: ver mais longe, ver o invisível

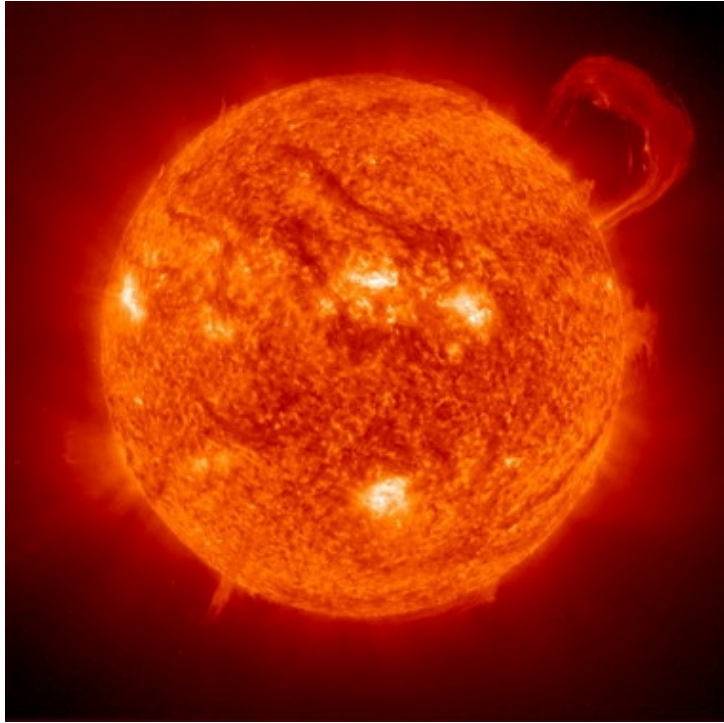




# O Sol em rádio, luz visível e raio-X



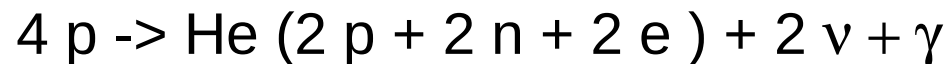
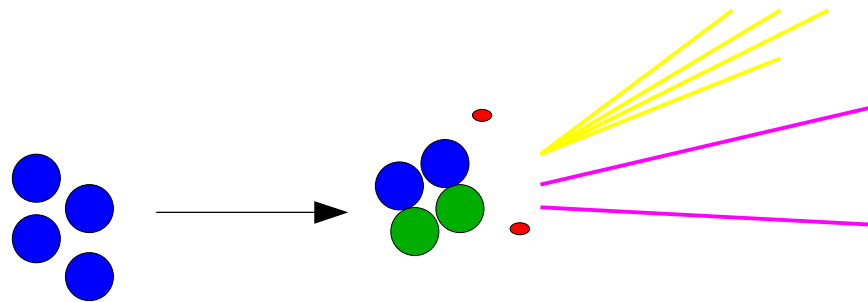
# O que mais emite o Sol?



Nas explosões solares, de grande energia,  
**o Sol emite também partículas de matéria que podem chegar à Terra,**  
mas são desviadas para os pólos pelo campo magnético terrestre!  
São electrões (e positrões), protões e núcleos atómicos.

# Porque brilha o Sol?

As várias estrelas são reactores nucleares.  
Criam núcleos atômicos pesados a partir de protões.  
Todos os núcleos foram produzidos nas estrelas!



**A energia libertada ( $\gamma$ ) chegará até nós como luz milhares de anos depois.**

Os núcleos de He servem depois para fazer núcleos mais pesados.

Os anti-electrões (e) aniquilam-se produzindo mais energia.

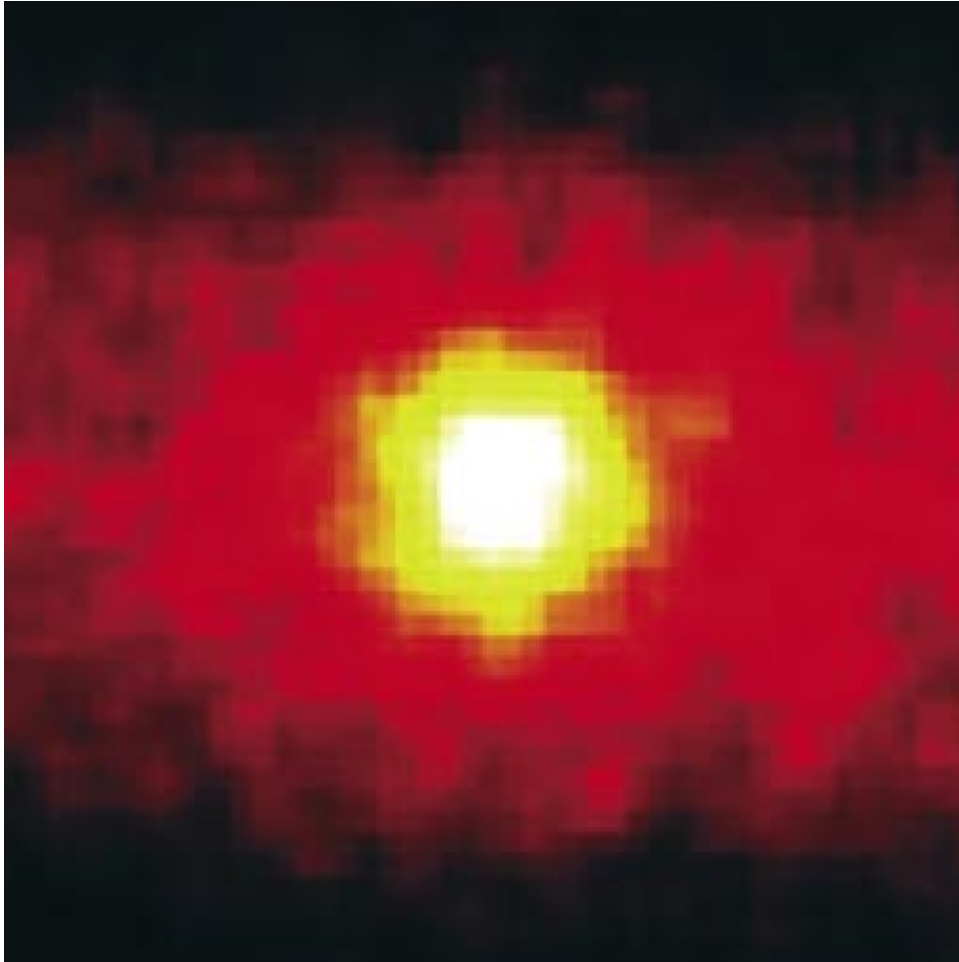
**Os neutrinos ( $\nu$ ) escapam-se:**

**em 8 minutos podem chegar do centro do Sol à Terra!**

Detectando os neutrinos, vemos o centro do Sol hoje, para comparar com a luz.



# O Sol está a apagar-se?



## Centro do Sol, visto durante a noite!

Como não têm carga, os neutrinos podem atravessar o Sol, a Terra... e os detectores.

Só de vez em quando apanhamos um.

As primeiras experiências viam só metade do número de neutrinos esperado por comparação com a luz.

Seria o Sol a apagar-se?

**Não, o Sol está bom e entendemo-lo** (mas só há 10 anos!).

São os neutrinos que mudam de características e não são detectados!

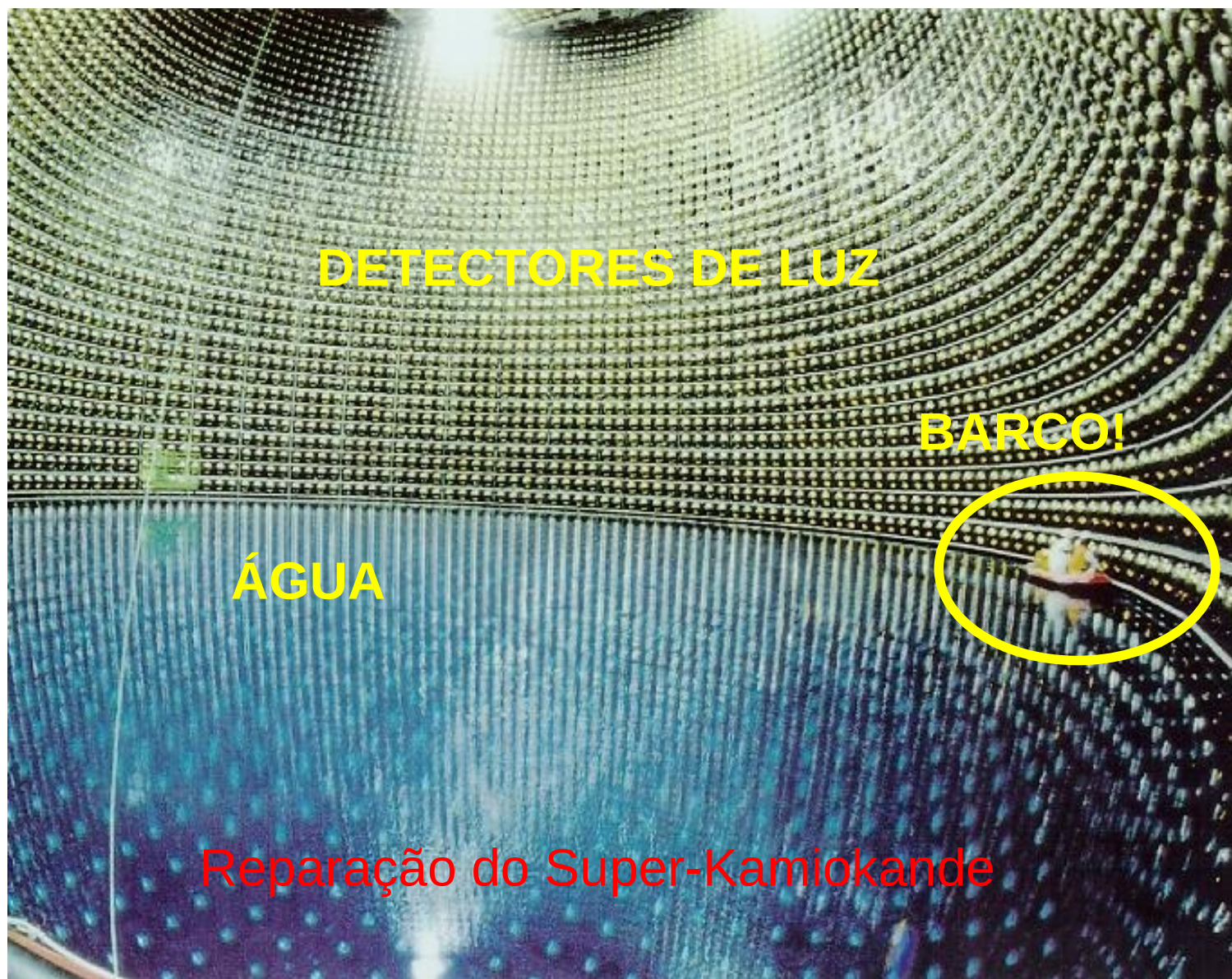
**Tentando estudar o Sol, aprendemos física de partículas:**

os neutrinos “oscilam” porque têm massa,

mas é tão pequena que não a conseguimos medir directamente.

# Detecção de Neutrinos

Detectamos os neutrinos num processo oposto ao que os criou. Como só têm interacção fraca, necessitamos de uma massa muito grande, e escondida para não sermos ofuscados por outras partículas.



**Super-Kamiokande,  
detector no Japão**

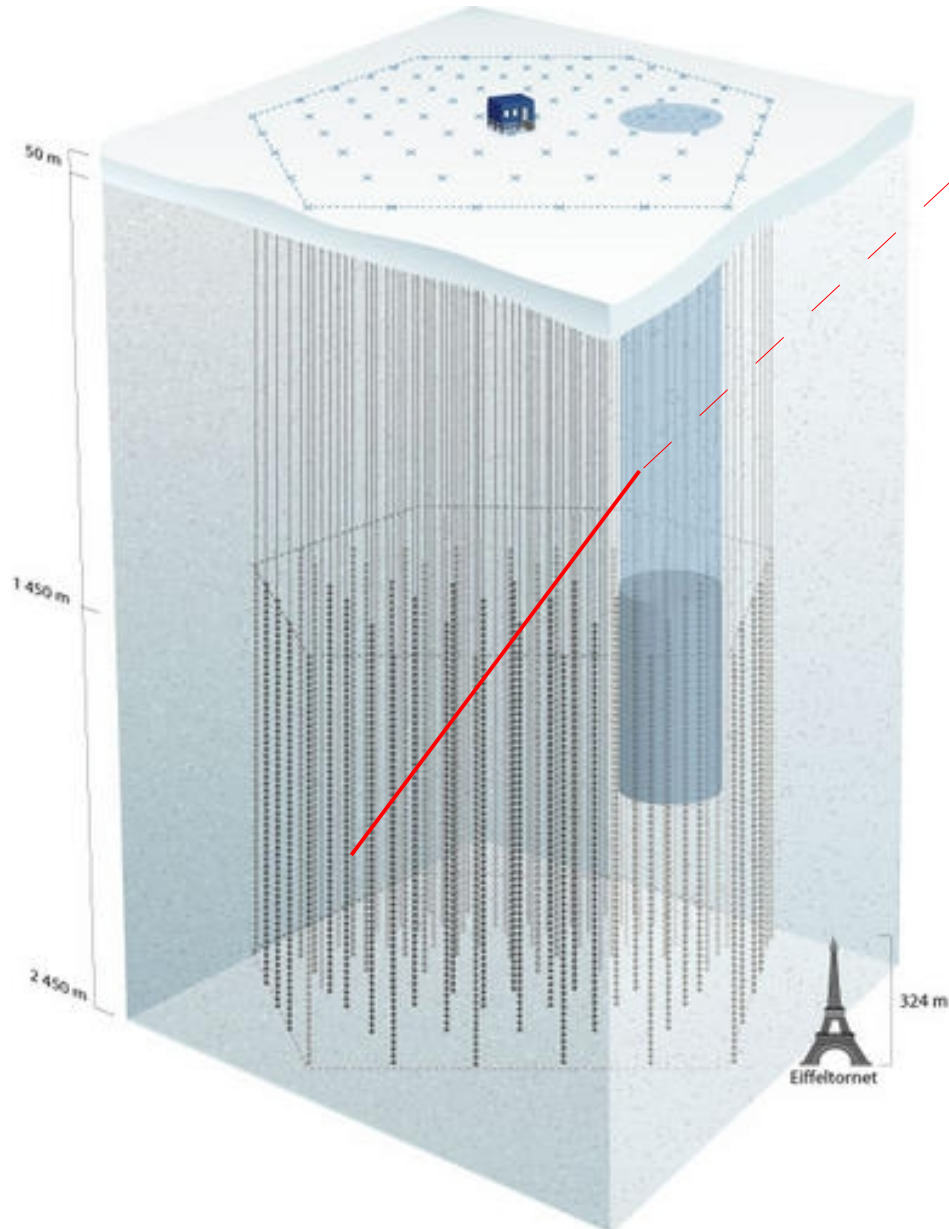
Tanque com 50 kTon  
de água pura, numa  
mina a 1km de  
profundidade



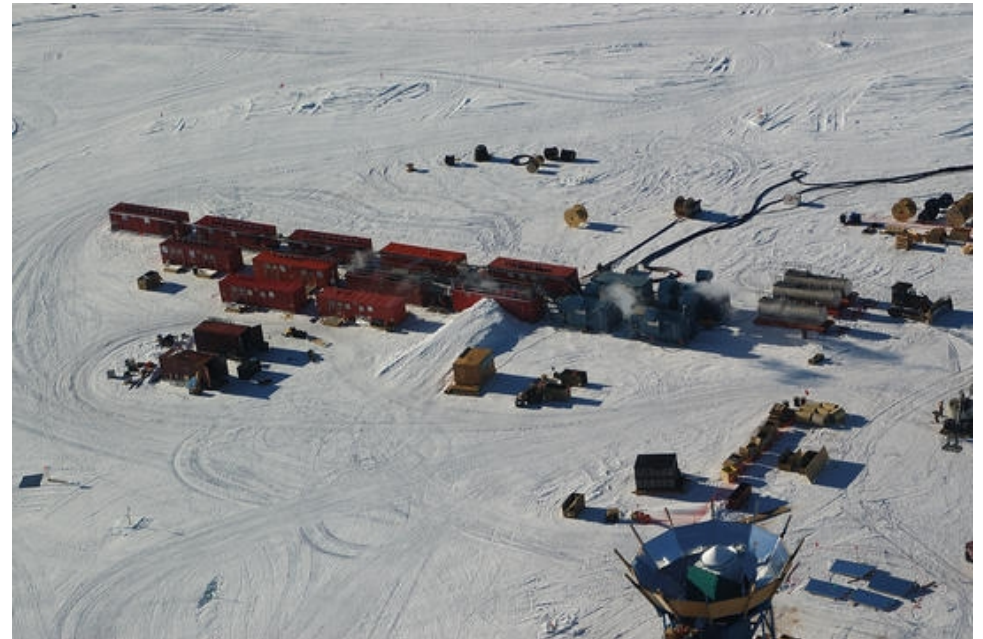
# Detecção de Neutrinos - 2

Para ver os neutrinos do Sol, usamos detectores grandes.

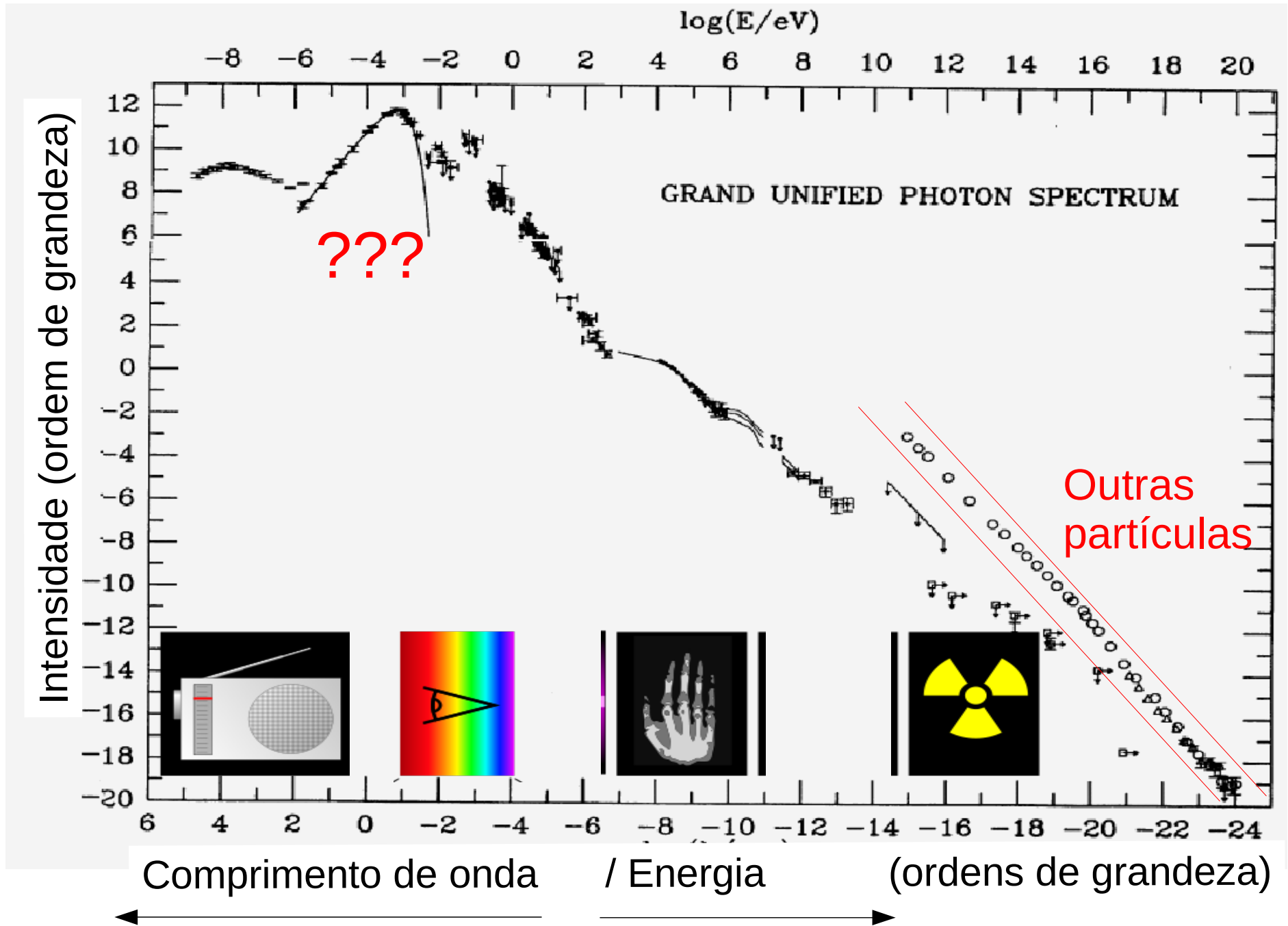
De mais longe chegam menos e precisamos de detectores maiores.



**IceCube: 1 km<sup>3</sup> de gelo do pólo Sul**



# De dia, o Sol ofusca-nos, e à noite?



# Radiação Cósmica de Fundo

1965



Penzias and  
Wilson

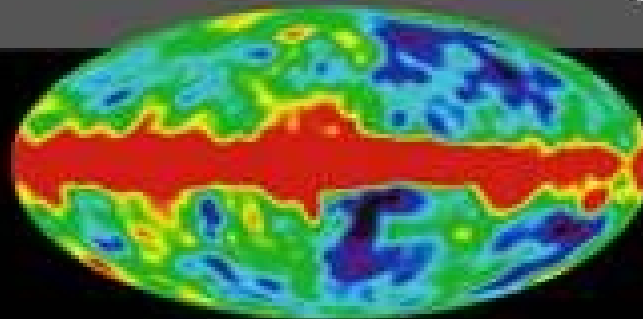


Ruído de fundo de rádio, fraco e igual em todas as direcções.

1992

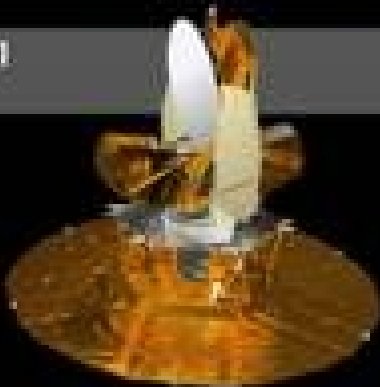


COBE

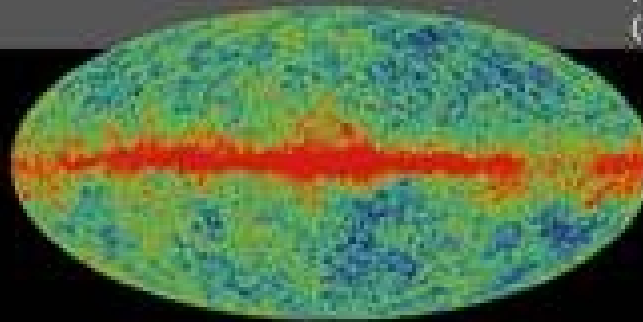


**Emitido quando se formaram os 1os átomos. Todo o Universo é semelhante!**

2001

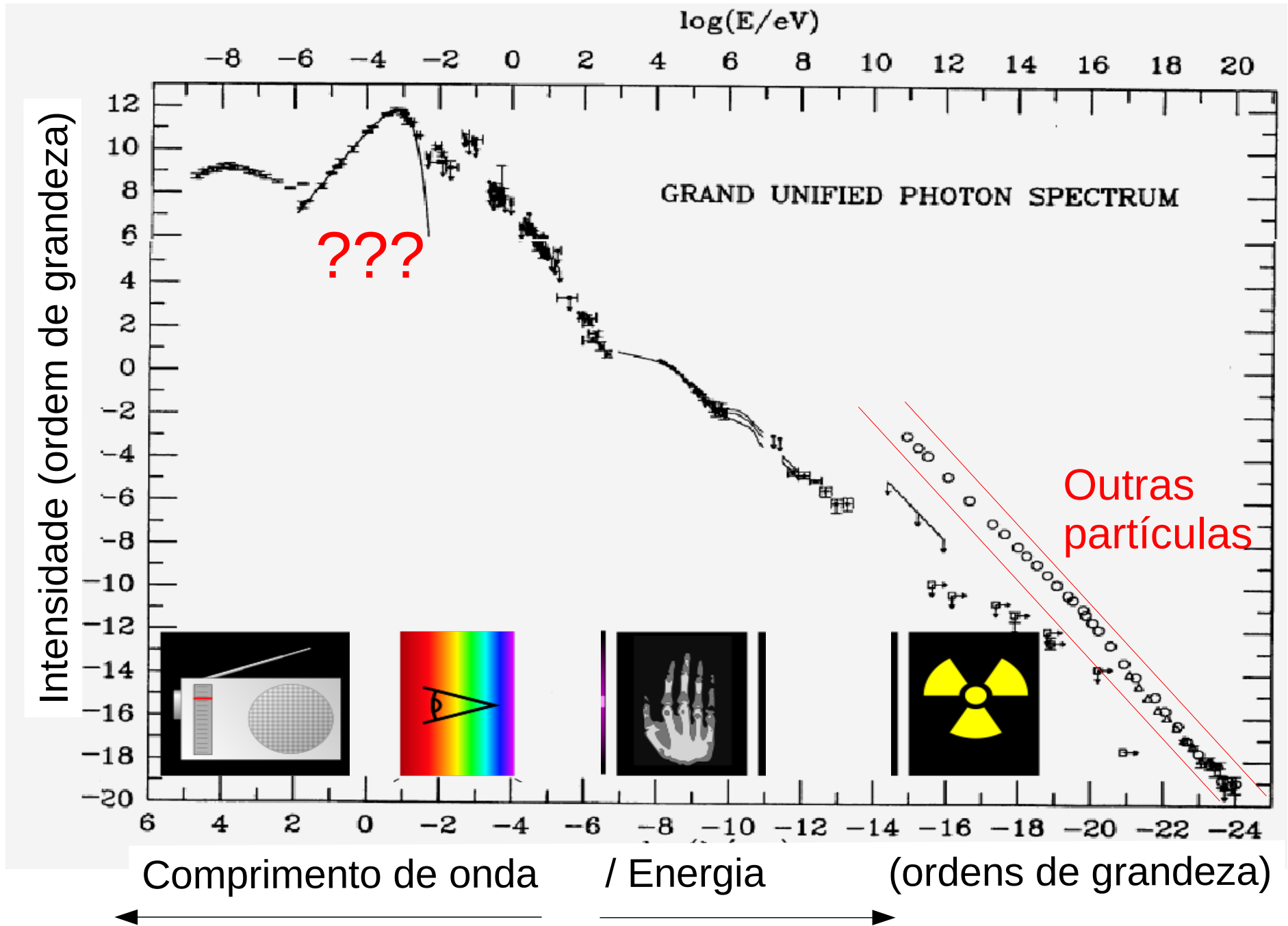


MAP  
(Simulated)



Diferenças de milésimas criaram as estruturas que vemos hoje!

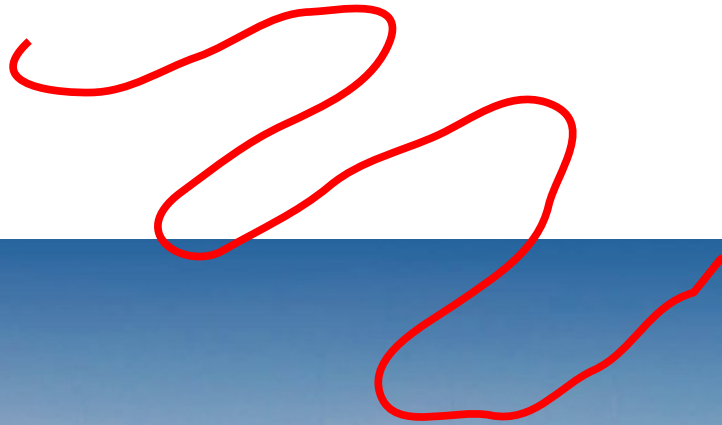
# De dia, o Sol ofusca-nos, e à noite?



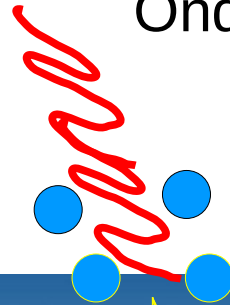


# Telescópios: do Rádio aos Raios Gama

Onda rádio ( ~ 100000 mm )



Onda gama ( ~ 0.000000001 mm )

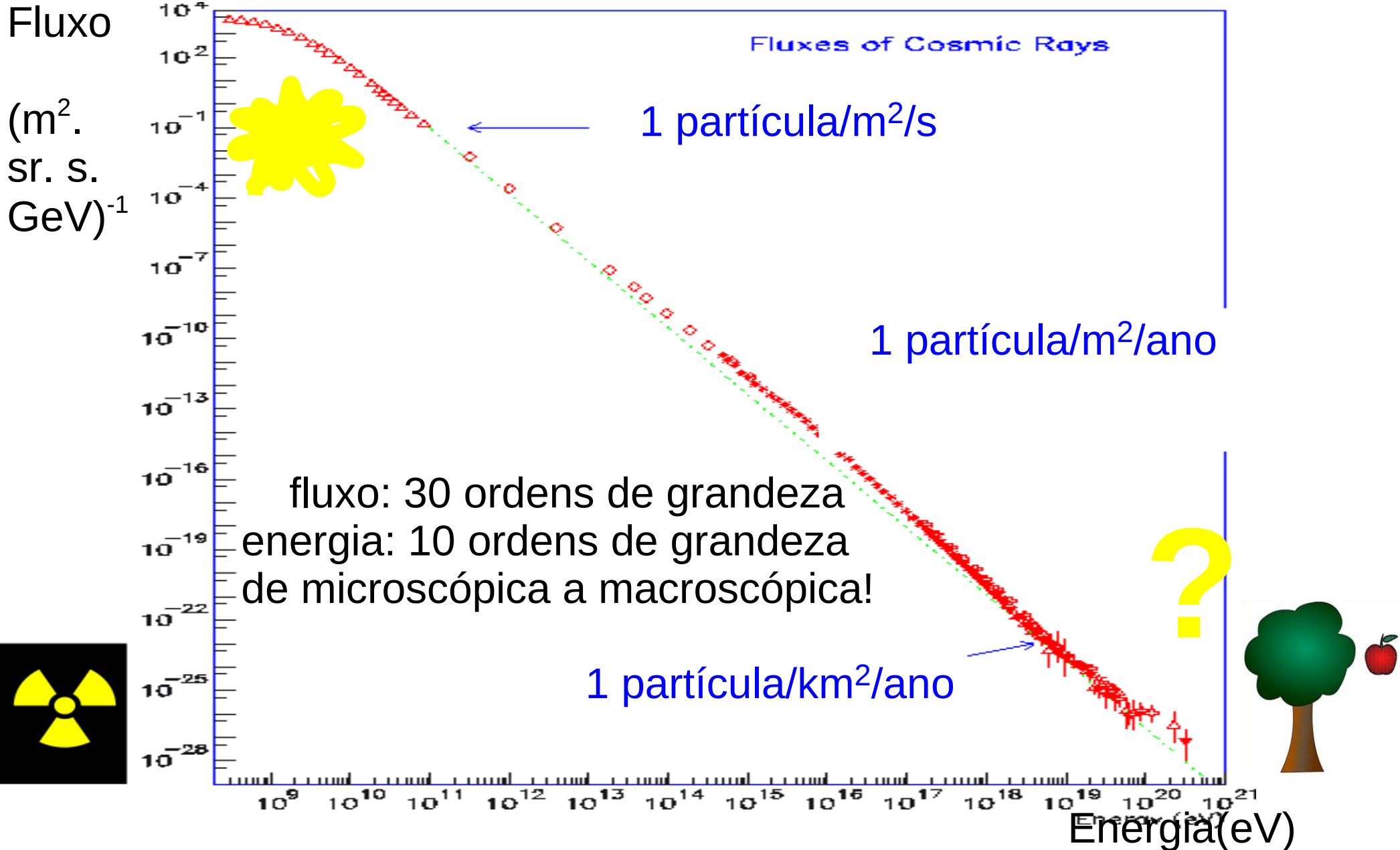


HESS na Namíbia

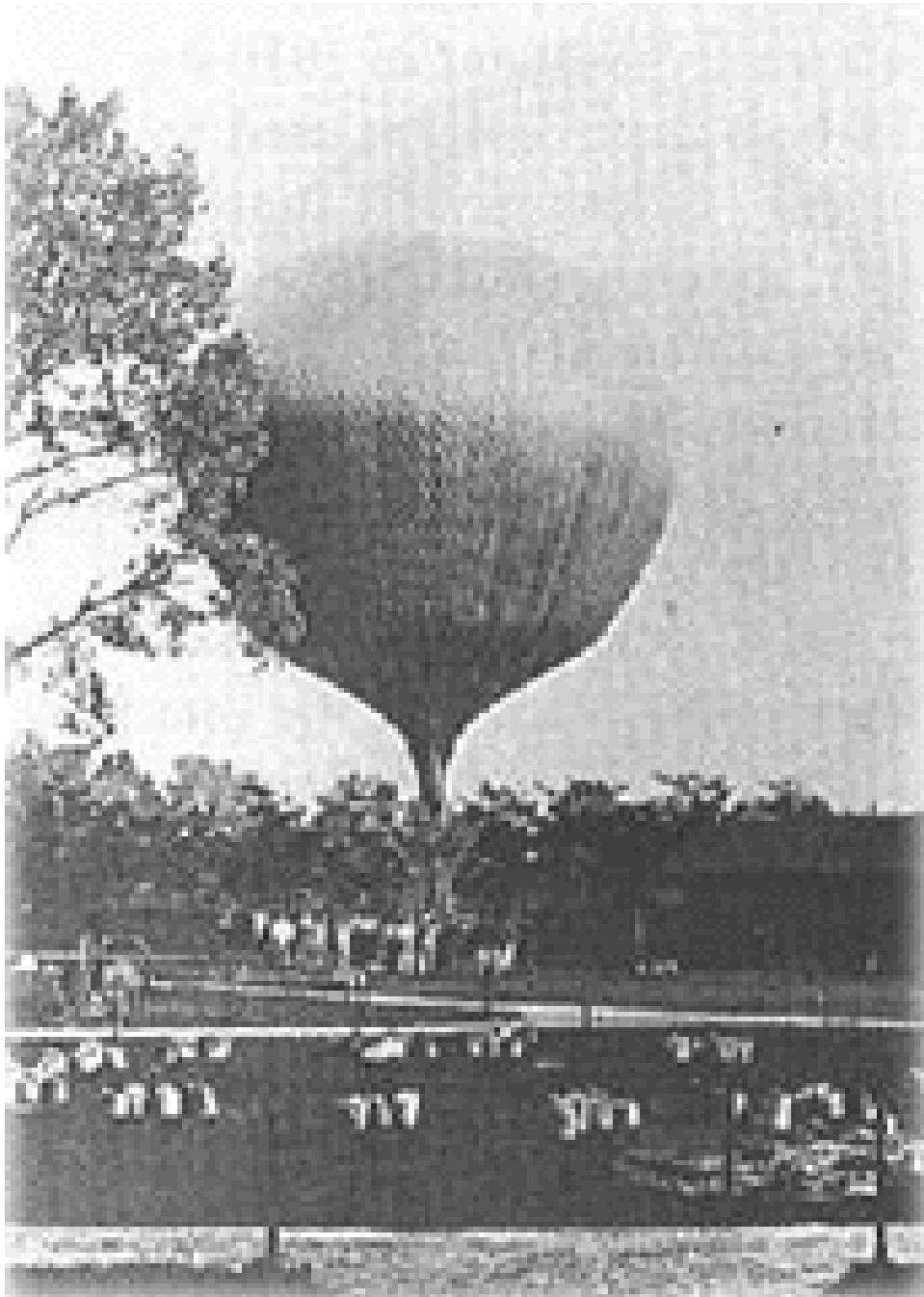


**Os fótons dos Raios Gama interagem com os núcleos da atmosfera. Produzem cascatas de partículas e um cone de luz (ultra-violeta) na atmosfera.**

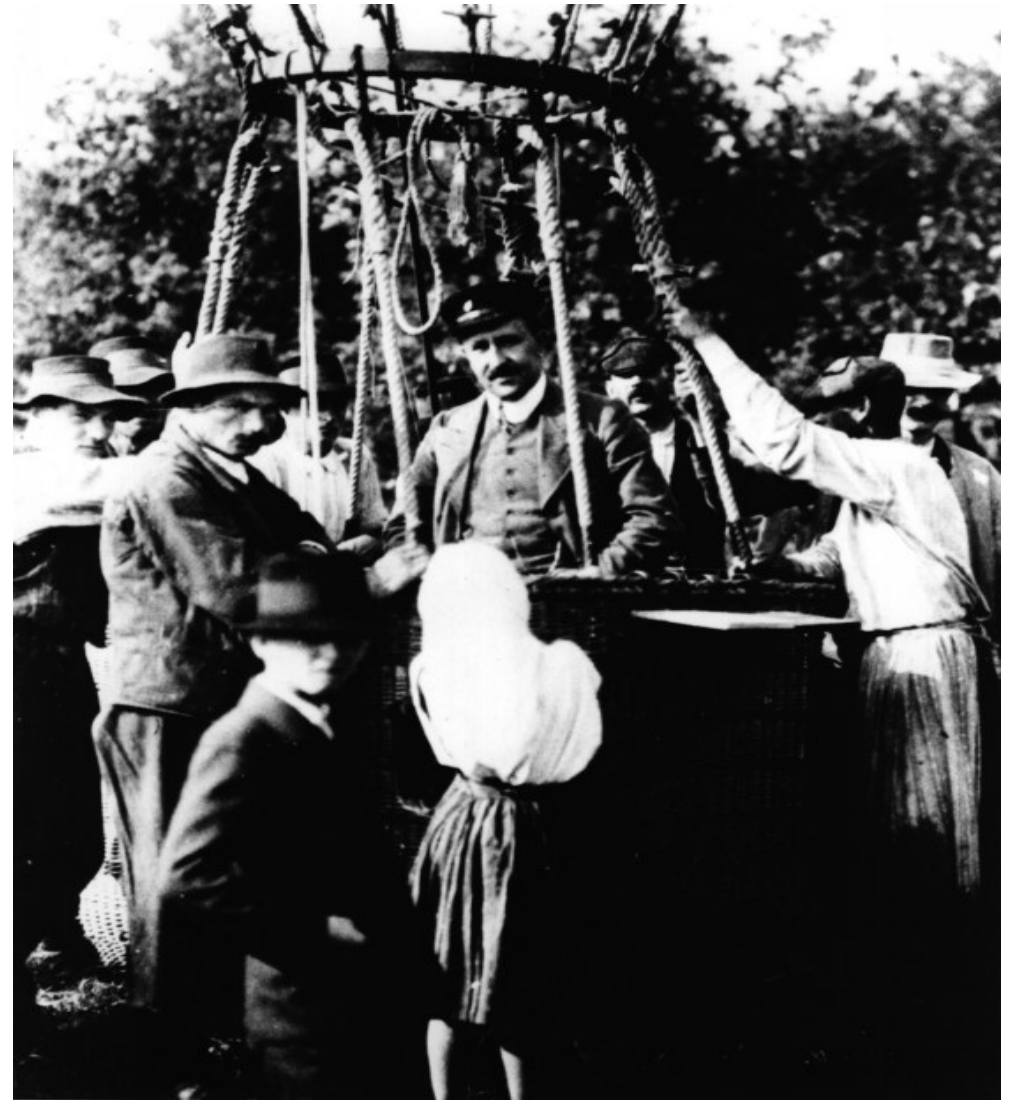
# Raios C3smicos no topo da atmosfera



# Partículas Cósmicas

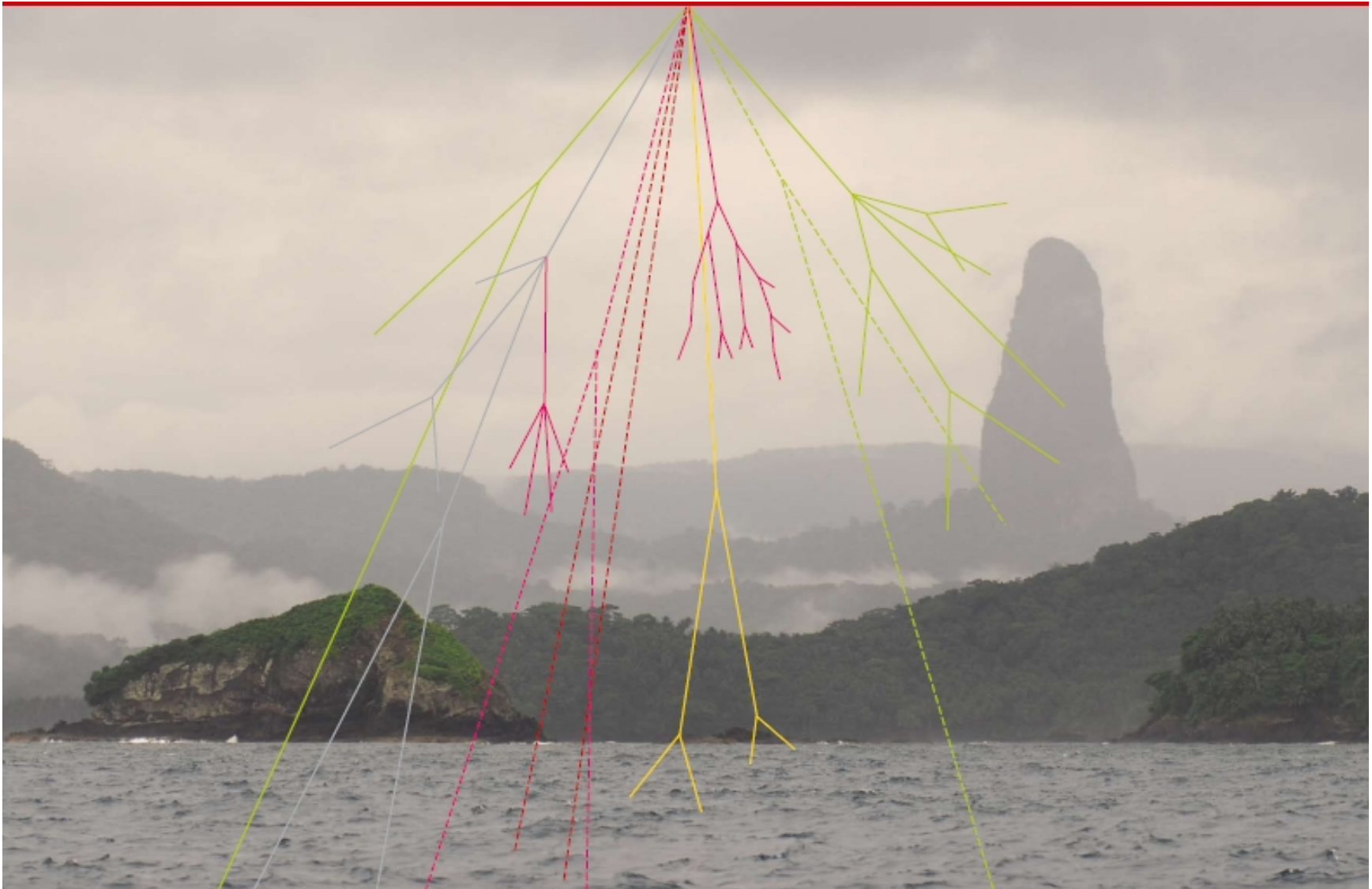


A radiação aumenta com a altitude.  
**A atmosfera protege-nos!**



# Chuveiros / Cascatas de Partículas

A atmosfera protege-nos mesmo de partículas de alta energia!  
Transforma uma em muitas de baixa energia que podemos detectar.





# Física de Partículas e Raios Cósmicos

Muitas descobertas feitas nos raios cósmicos:

1) Para cada partícula há uma **anti-partícula**  
(a mesma massa e cargas simétricas)

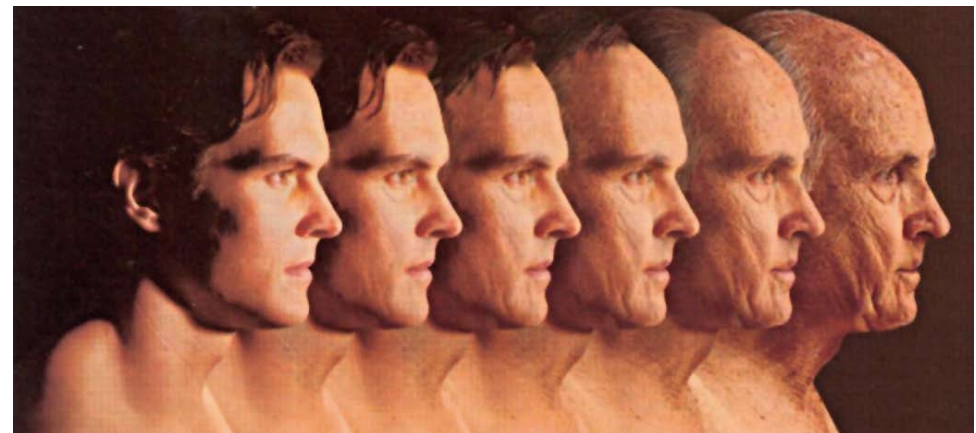
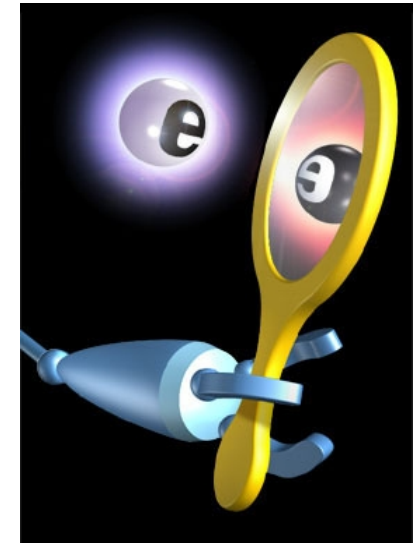
2) Além dos prótons e nêutrons dos núcleos,  
há outras partículas também feitas de **quarks**

3) Os electrões, têm “primos” mais pesados, os **muões!** (e taus)

[4) As oscilações de **neutrinos** também foram estudadas aqui... ]

Em laboratório os muões vivem muito pouco. Mas, quase à velocidade da luz, vêem a atmosfera contraída e conseguem chegar ao chão.

Para nós parece que vivem mais.  
Por efeito da **relatividade**,  
há uma dilatação do tempo!



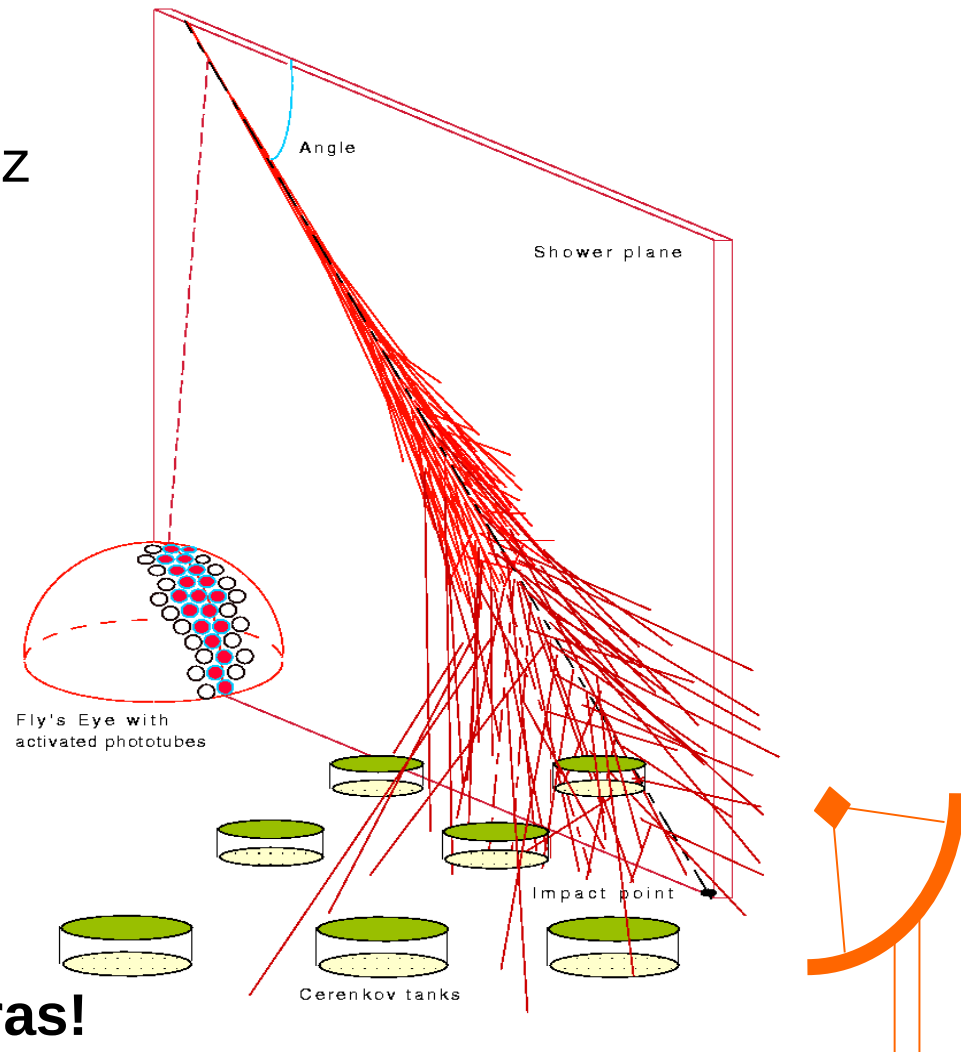
# Detectar os Raios C3smicos de Alta Energia

**Milh3es de novas part3culas e anti-part3culas que produzem outras at3 gastarem toda a energia.**

1) Porque andam mais depressa que a luz no ar, produzem um cone de luz (como nos raios gama).

2) S3o tantas as part3culas carregadas que excitam os 3tomos da atmosfera, emitindo luz (UV) em todas as direc33es.

3) Os mu3es e outras part3culas chegam ao ch3o e podem ser detectados e contados.

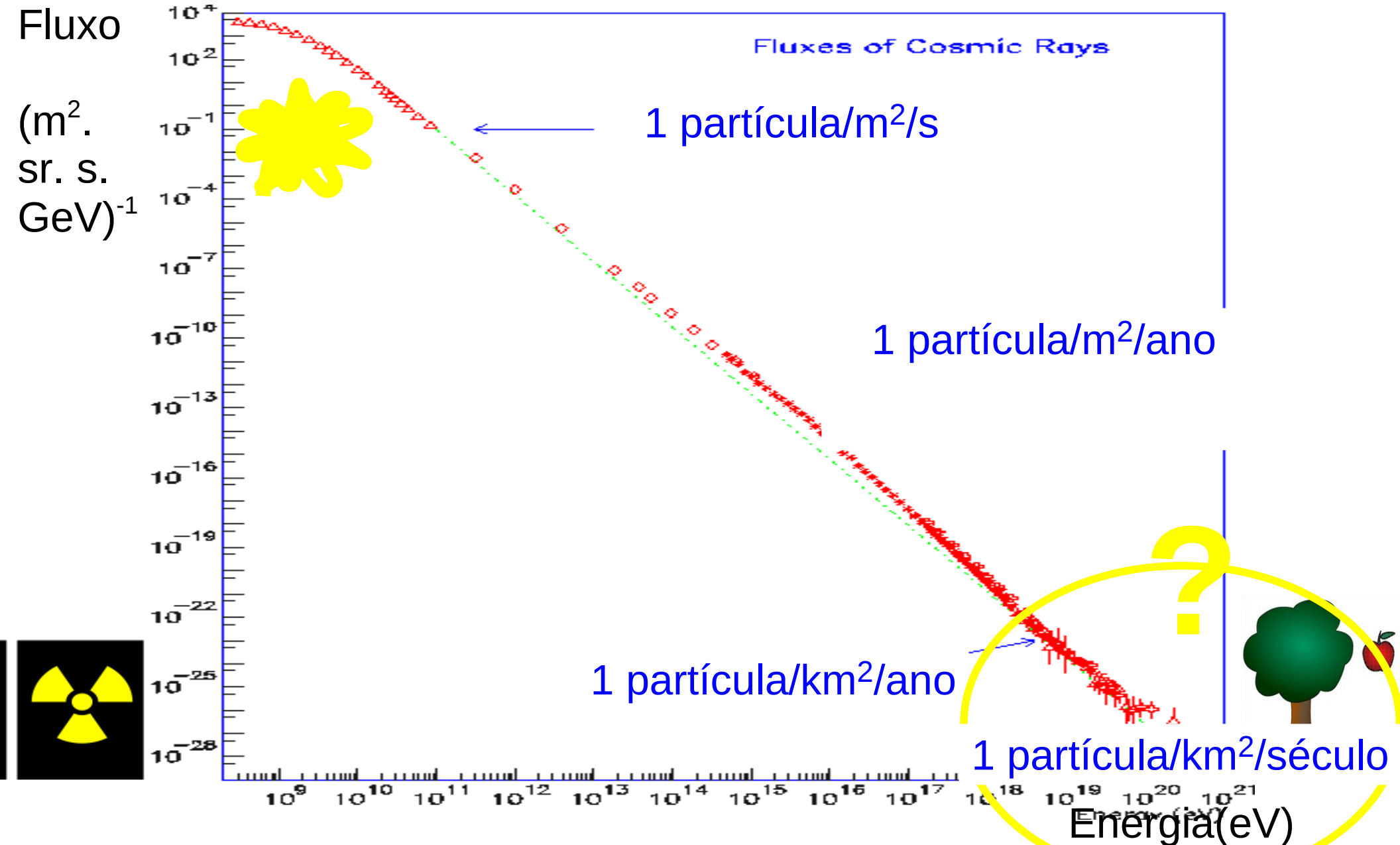


**Podemos detect3-los de v3rias maneiras!**

Medir a sua energia, ver de onde v3m e o que s3o?

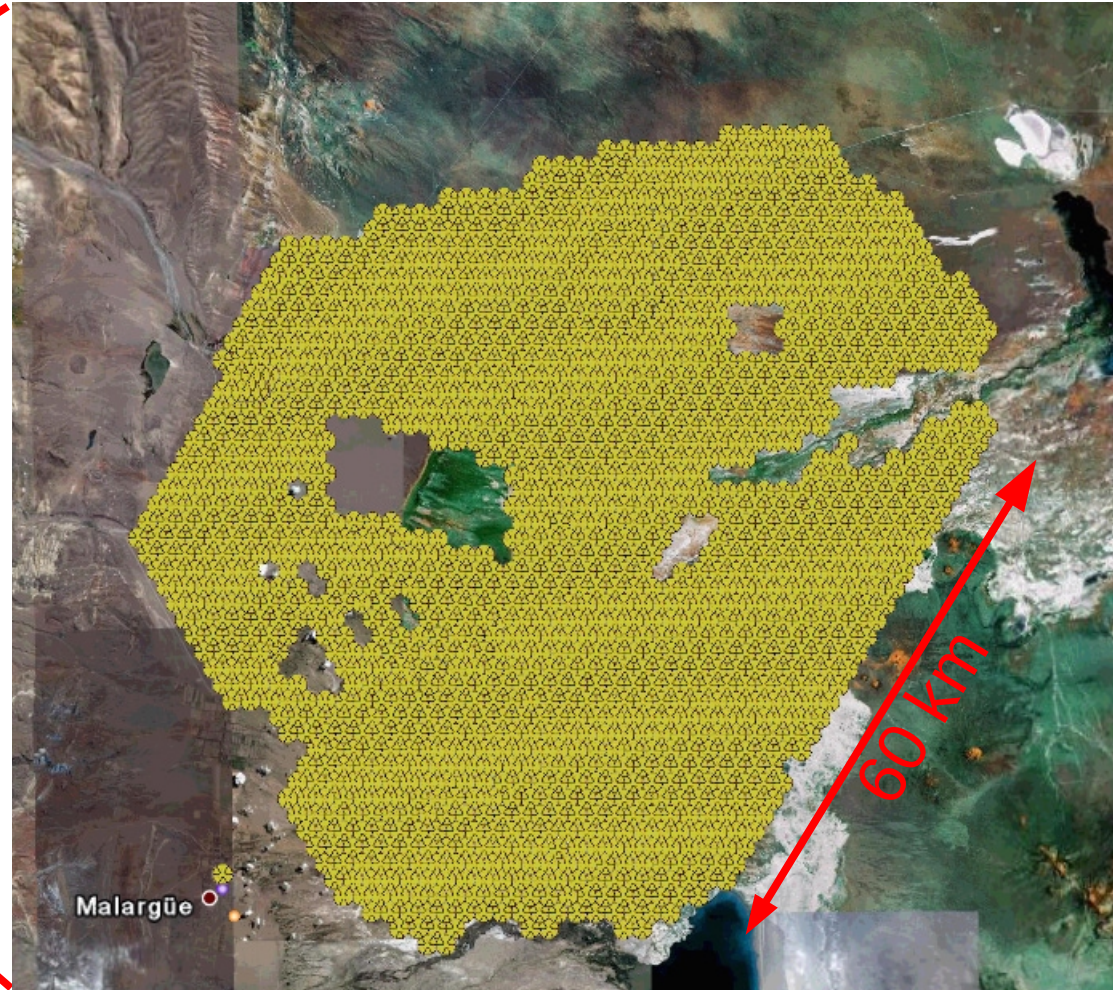


# Raios C3smicos no topo da atmosfera



# Observatório Pierre Auger

1 partícula/km<sup>2</sup>/século = 30 por ano

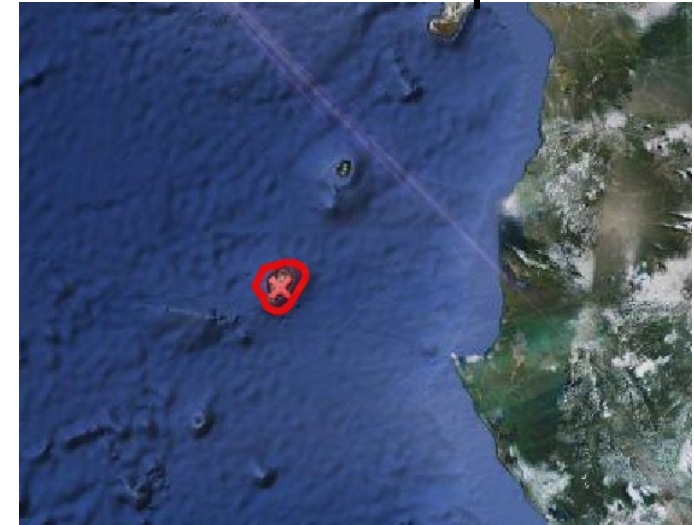


**Malargüe, Mendoza, Argentina**



# Observatório Pierre Auger

1 partícula/km<sup>2</sup>/século = 30 por ano



Auger: 3000 km<sup>2</sup>

São Tomé e

Príncipe:

1000 km<sup>2</sup>

**10 por ano**



# 3000 km<sup>2</sup> de detector de superfície

Pampa Argentina: 1600 tanques de água separados de 1.5 km

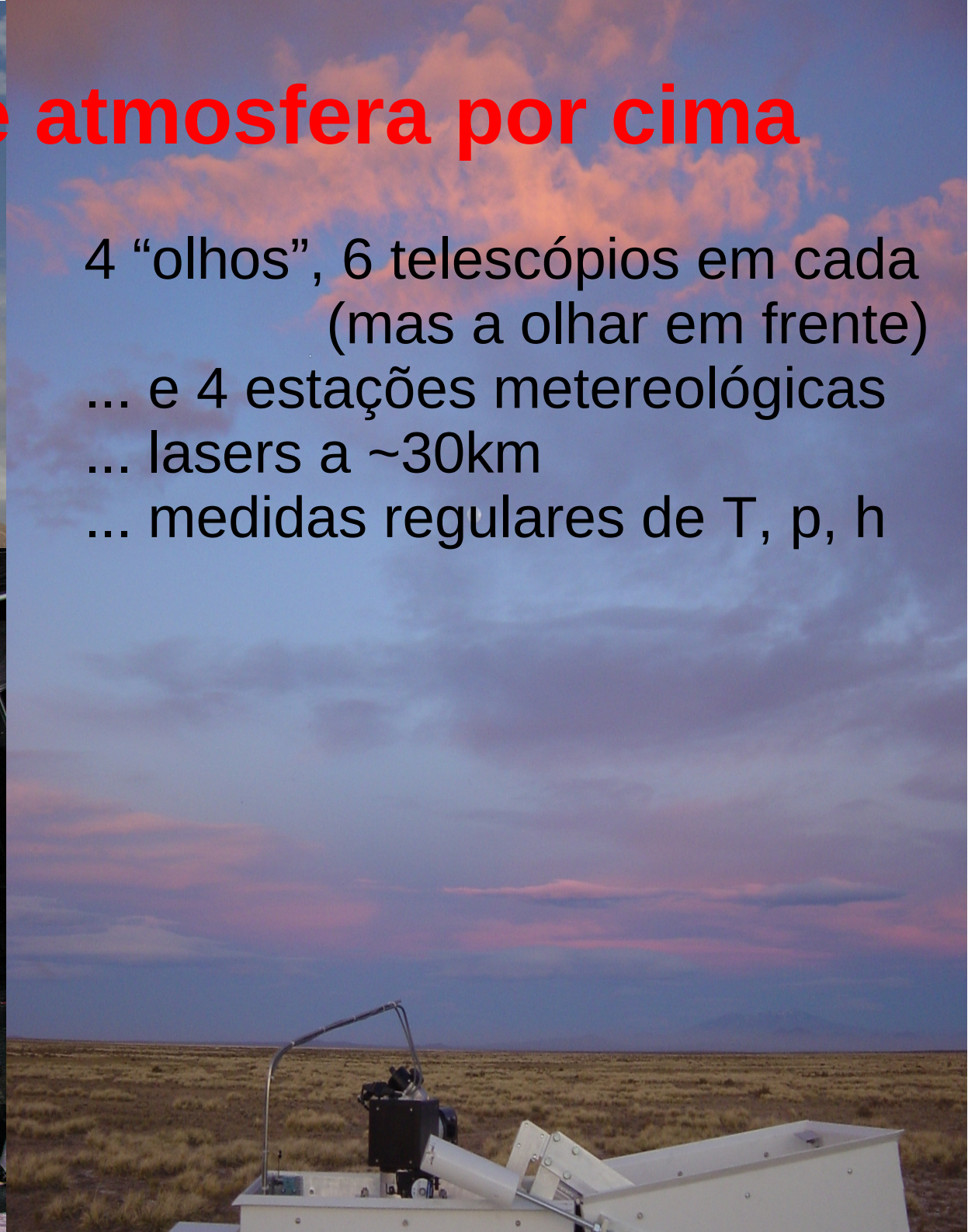
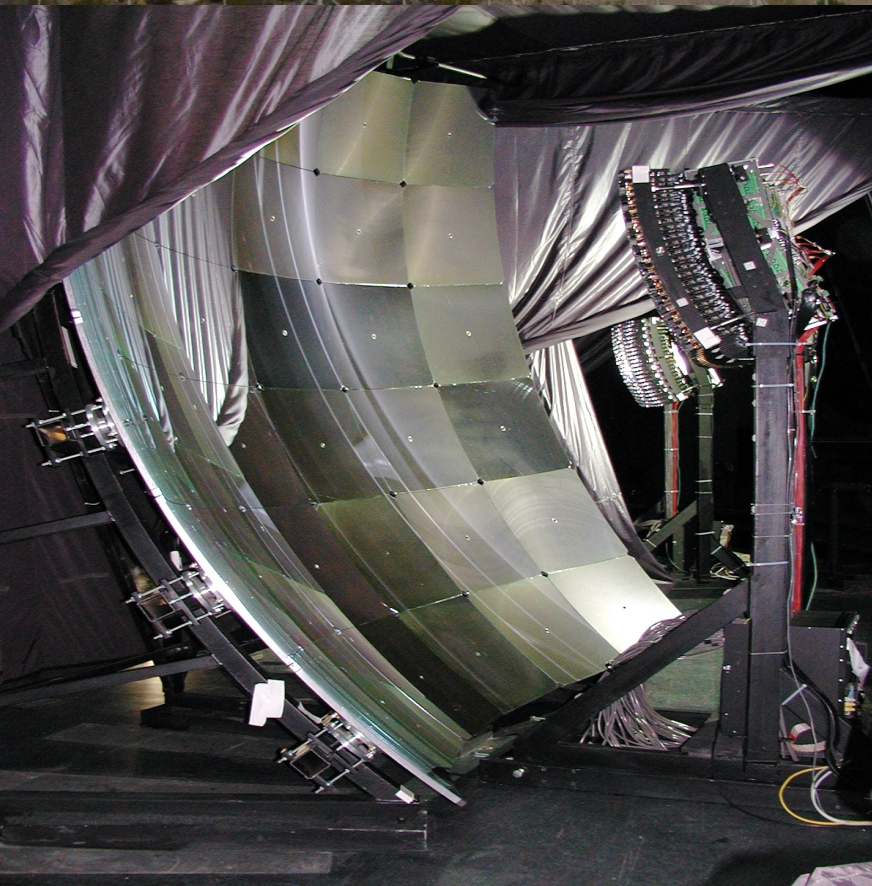


estações autônomas:  
baterias solares, rádio, GPS



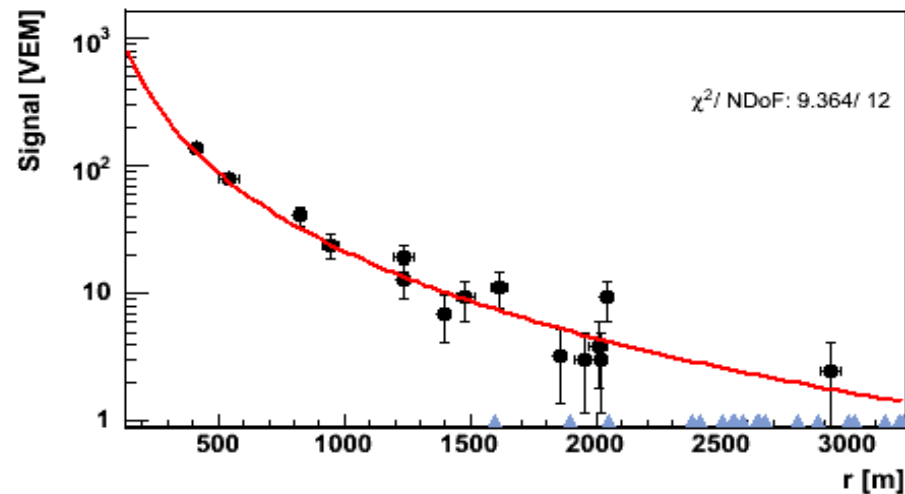
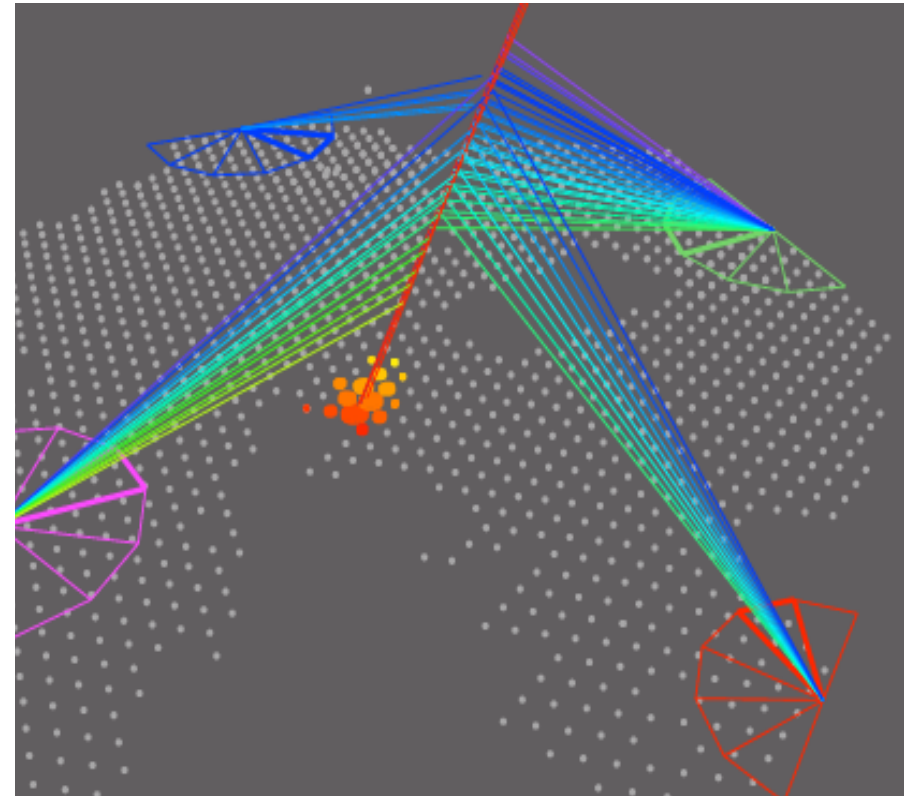
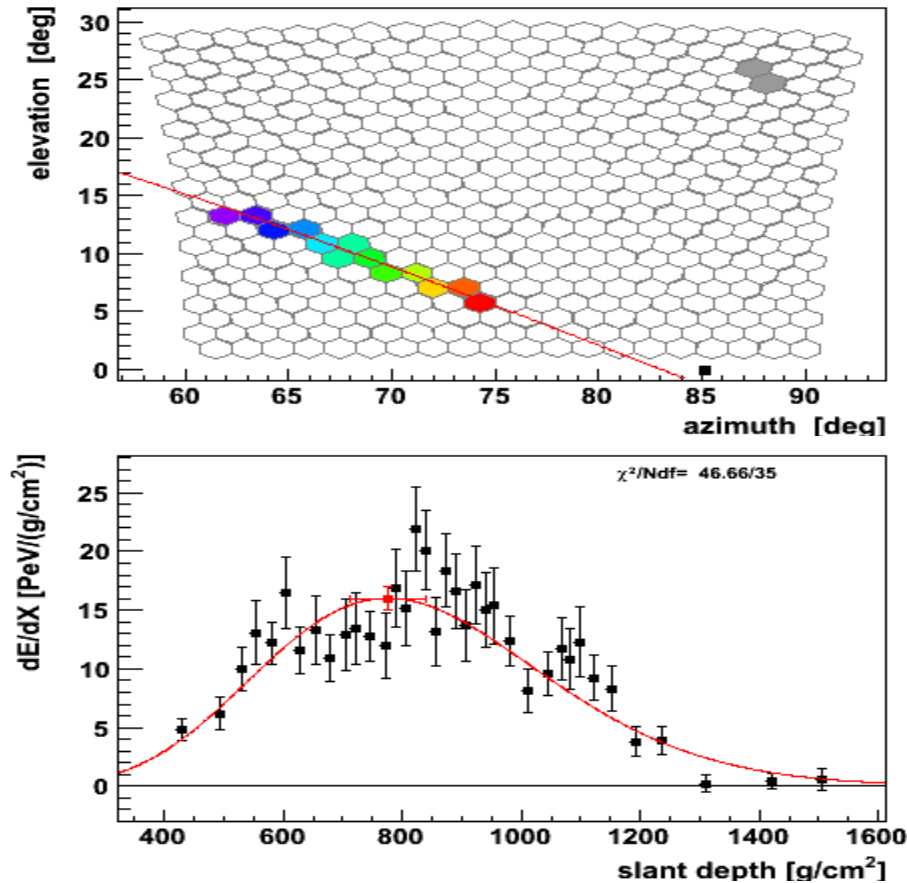
# E vários km de atmosfera por cima

- 4 “olhos”, 6 telescópios em cada (mas a olhar em frente)
- ... e 4 estações meteorológicas
- ... lasers a ~30km
- ... medidas regulares de T, p, h





# Detecção de Raios Cósmiticos em Auger

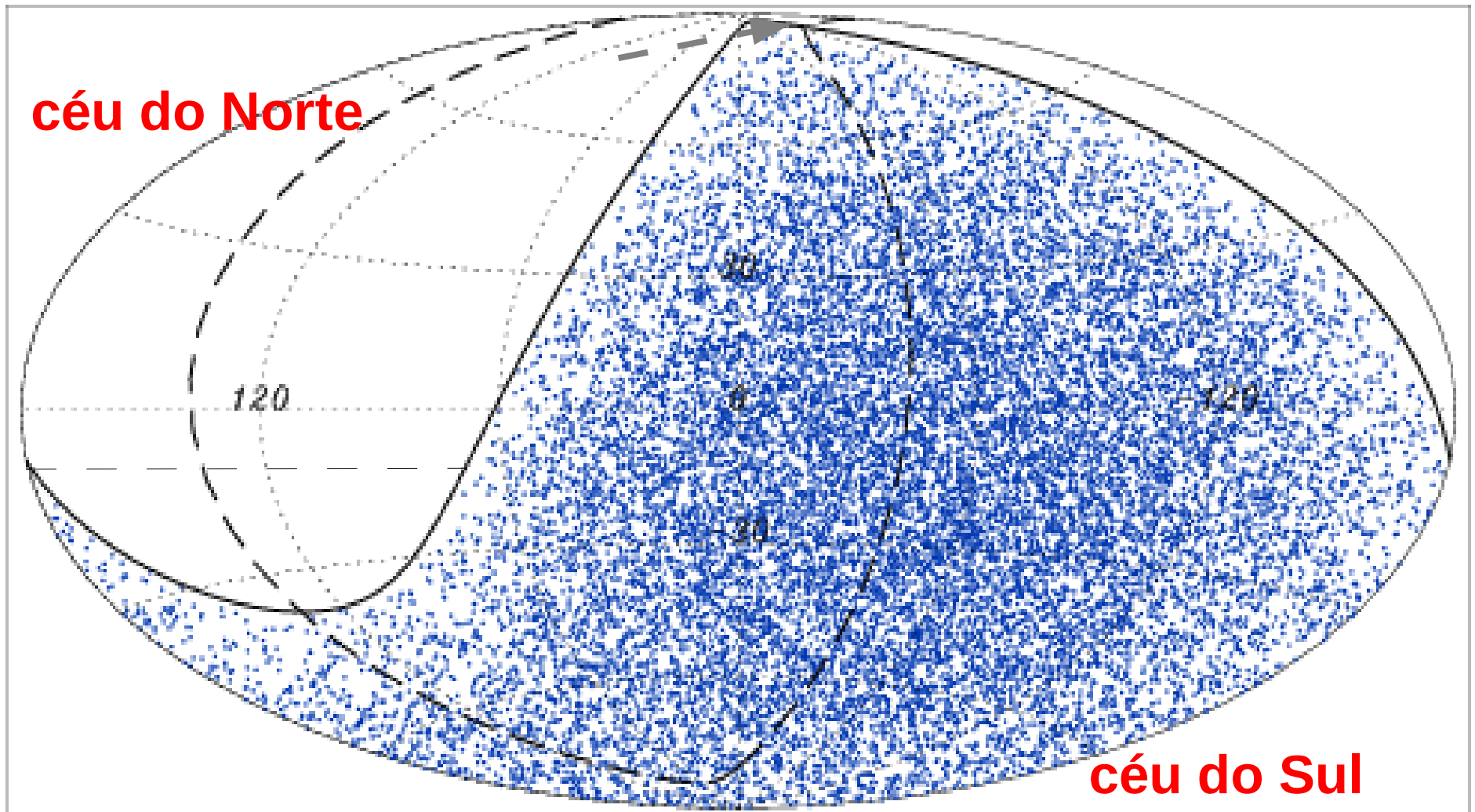


À noite, duas (ou até cinco) medidas do mesmo raio cósmico!  
Duas formas independentes de medir a energia e a direcção para confirmar resultados



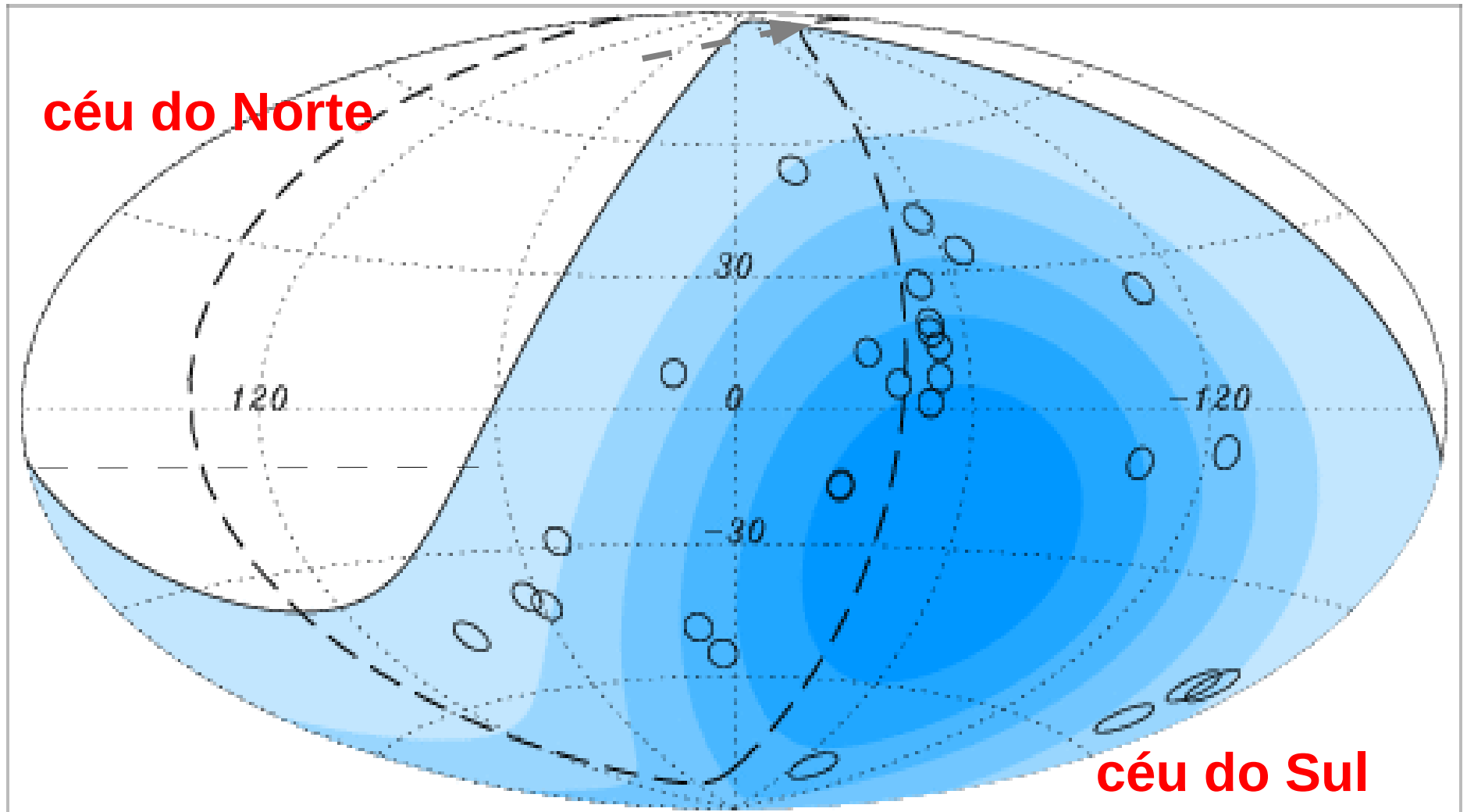
# O céu de Auger ( $E > 0.5 \text{ J}$ )

os raios cósmicos vêm de todas as direcções



# O céu de Auger ( $E \sim 10^9$ J )

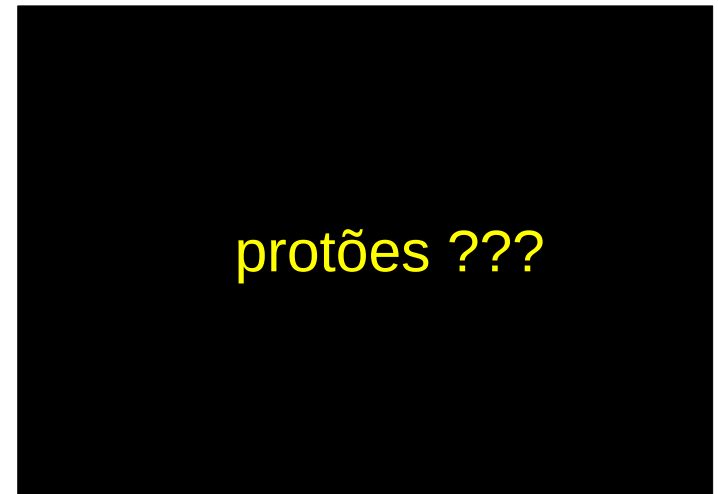
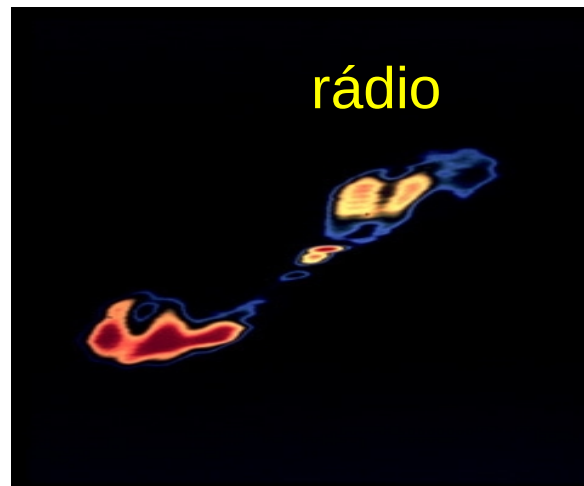
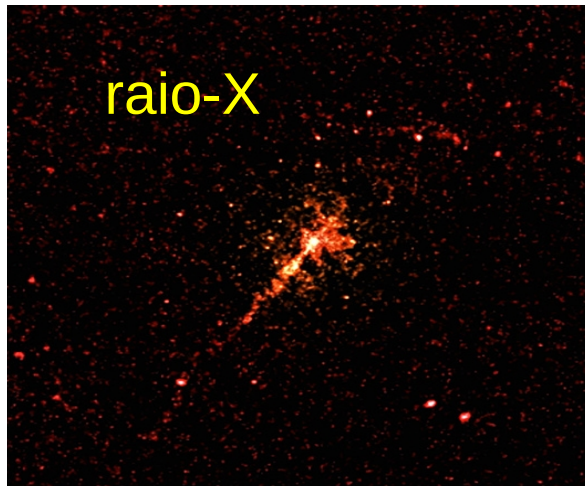
(ainda) poucos raios cósmicos de muito alta energia, mas direcções compatíveis com acumulação de galáxias



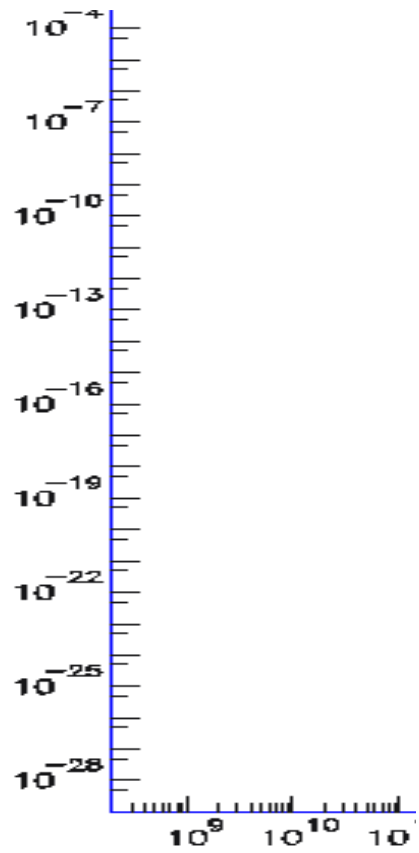
# Centaurus A: um núcleo de galáxia activo



O que se passa no centro da galáxia? Imaginamos um buraco negro, que cria jactos de matéria e luz...  
**Podemos aprender mais?**

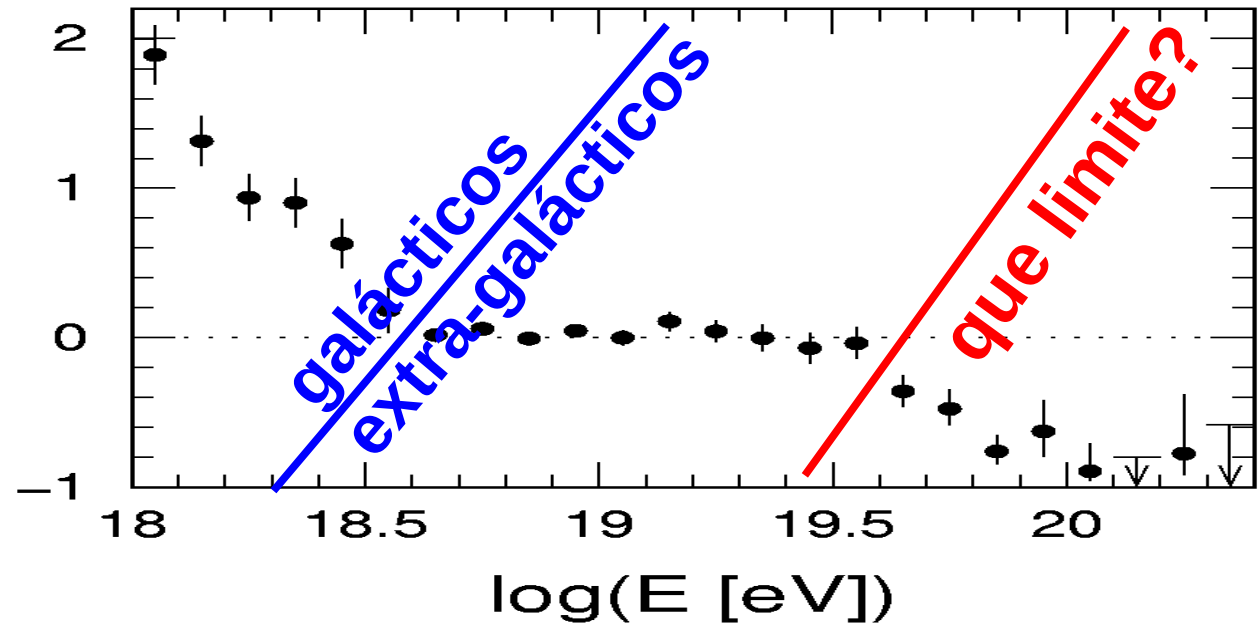


# O fim do espectro de energia

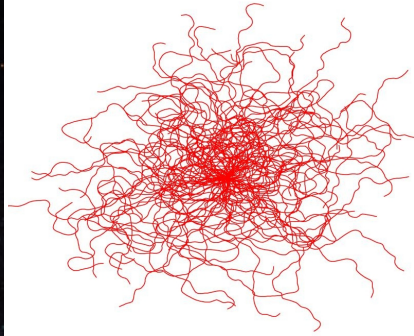


1 partícula/km<sup>2</sup>/século

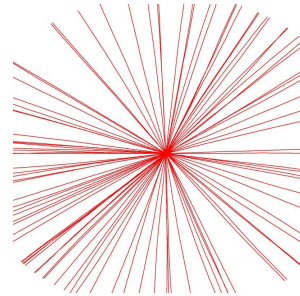
$$J/(Ax E^{-2.6}) - 1$$



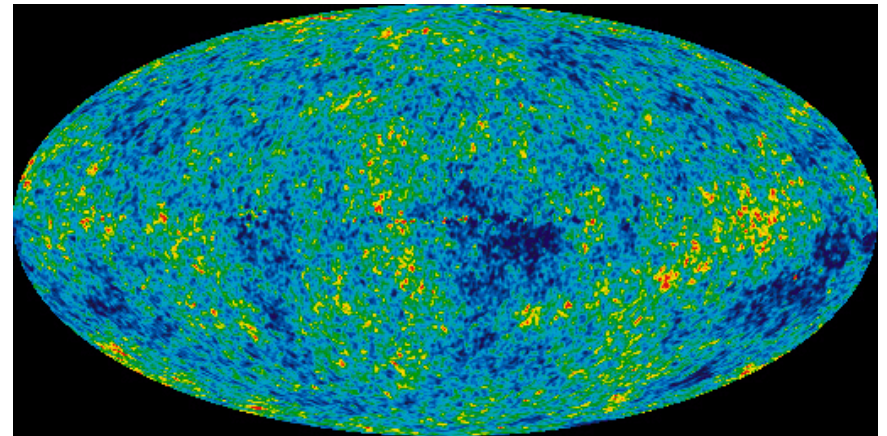
# Limites de energia na galáxia e fora dela?



Partículas de “baixa” energia ficam presas pelos campos magnéticos da sua própria galáxia. Vemos os da nossa galáxia, vindos de todas as direcções.



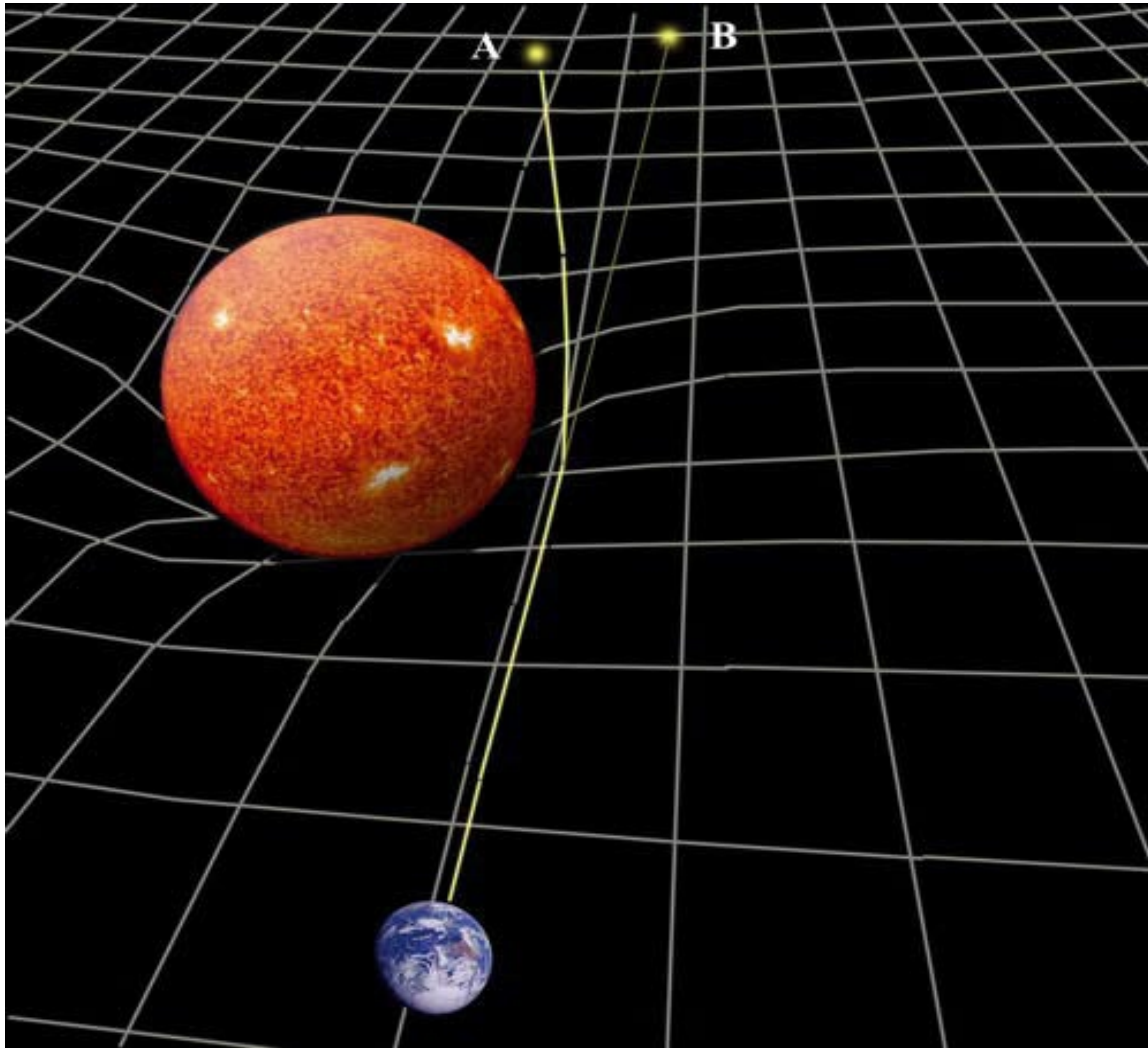
Partículas de muito alta energia, podem chegar de longe, mas Interagem com a radiação cósmica de fundo. Perdem energia ainda antes de chegar à nossa galáxia e à atmosfera terrestre!



**Estudando os raios cósmicos também aprendemos sobre os caminhos!**



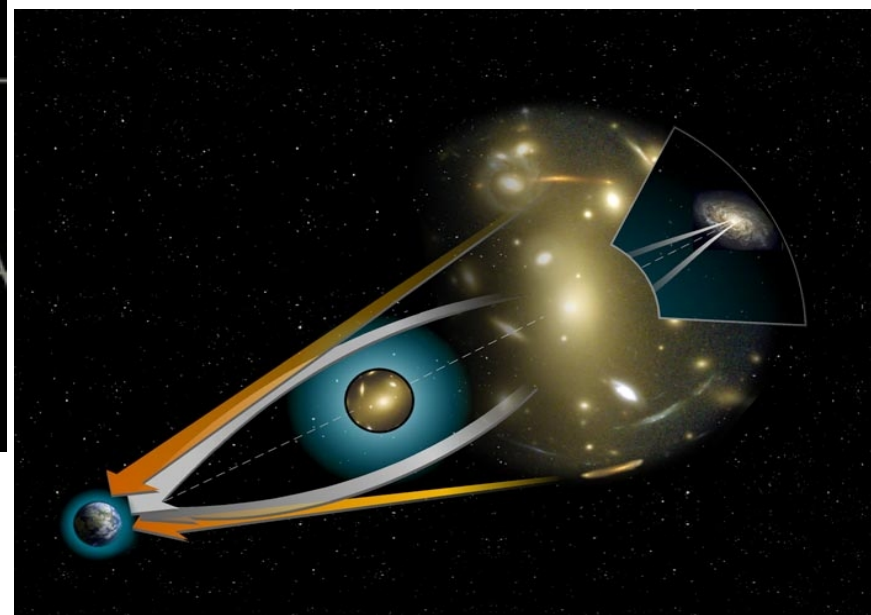
# Alterações ao movimento: visão do que está no meio



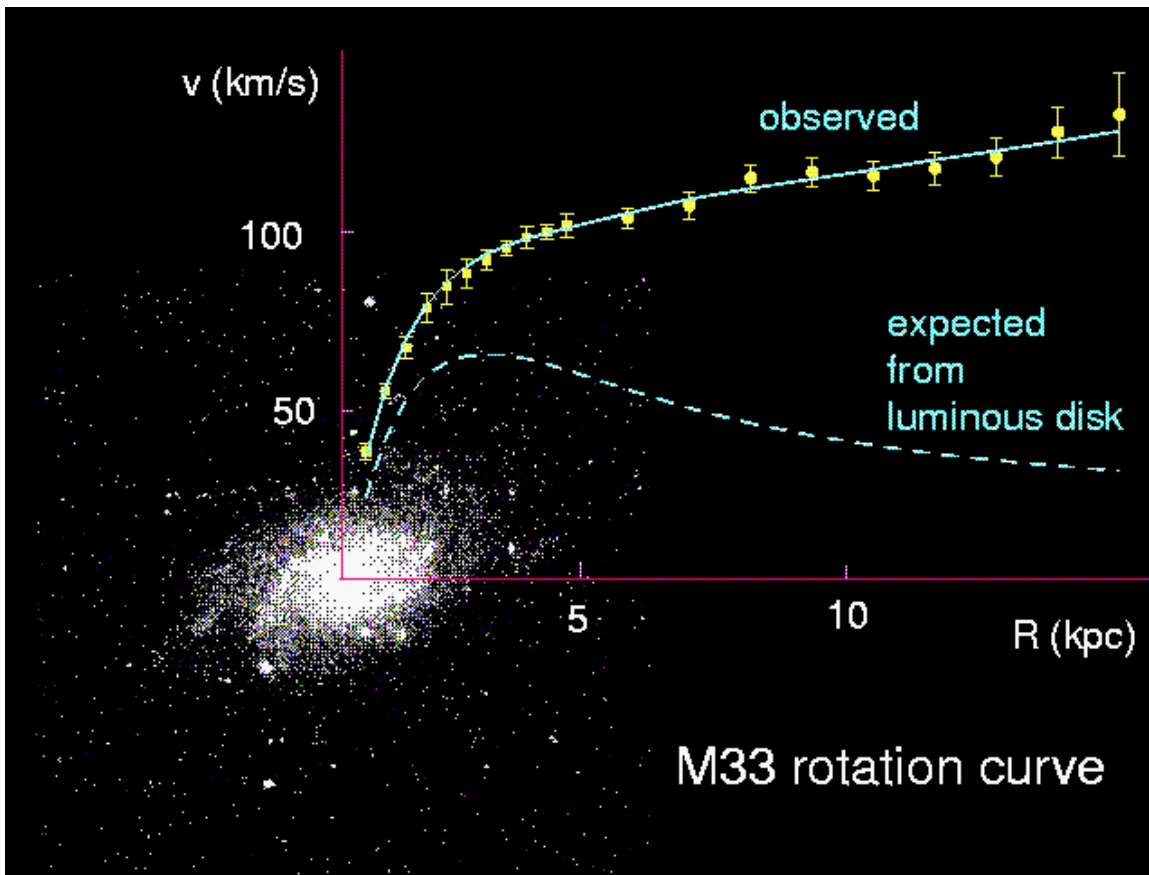
No caso do eclipse de 1919 na Ilha do Príncipe vemos a estrela A na posição B.

Podemos medir a massa do Sol

E ampliar imagens, criando **lentes gravitacionais**



# Matéria escura ?



A rotação das estrelas numa galáxia depende da massa total da galáxia.

Medimos para estrelas distantes do centro das galáxias rotações muito mais rápidas do que a esperada a partir da massa das estrelas visíveis.

Parte das galáxias não brilha?  
Existe uma matéria escura?

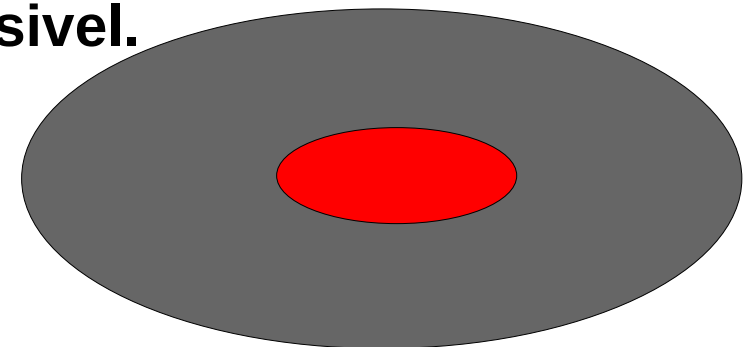
**Apenas 25% da massa total do Universo é visível.**

**De que é feita a matéria escura?**

Será que a podemos isolar?

Que pode viajar e ser detectada na Terra?

Que a podemos criar em laboratório?



# Matéria escura isolada pela primeira vez!



Colisão de aglomerados de galáxias vista em raio-X (rosa) e lente gravitacional (azul).

A matéria “normal” atrasa-se em relação à matéria “escura” que não interage!

**Apenas 25% da massa total do Universo é visível.  
Ainda não sabemos de que é feita a matéria escura,  
Mas ao isolá-la podemos aprender mais sobre ela.**

# Observar o Universo

Com a interacção electromagnética: luz

Com a interacção forte: raios cósmicos

Com a interacção fraca: neutrinos

Com a gravidade: matéria escura

**E juntando as várias observações aprendemos mais**