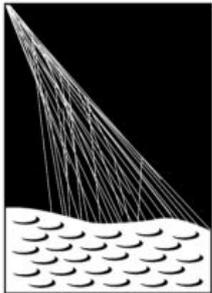


Astropartículas: neutrinos e os raios cósmicos

#AugerMasterclass2023

Sofia Andringa, Julho 2023



PIERRE
AUGER
OBSERVATORY



CIÊNCIA VIVA



De que são feitas as coisas?

6

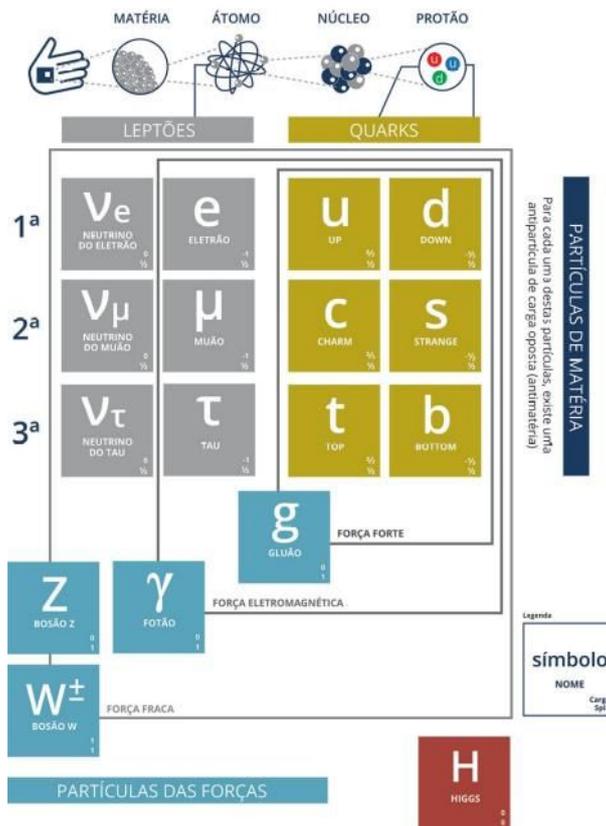
PERIODIC TABLE OF THE ORIGINS OF THE ELEMENTS

KEY

- The Big Bang**
Made in nuclear reaction chains after the big bang
- Cosmic rays**
Fragmentation of elements by cosmic rays
- Fusion in stars**
From nuclear fusion reactions inside stars
- Slow-process neutron capture**
Atoms capture neutrons then undergo beta decay
- Rapid-process neutron capture**
Atoms capture many neutrons then undergo beta decay
- Synthetic elements**
Created in nuclear reactors/particle accelerators

1 H HYDROGEN																	2 He HELIUM	
3 Li LITHIUM	4 Be BERYLLIUM																	10 Ne NEON
11 Na SODIUM	12 Mg MAGNESIUM																	18 Ar ARGON
19 K POTASSIUM	20 Ca CALCIUM	21 Sc SCANDIUM	22 Ti TITANIUM	23 V VANADIUM	24 Cr CHROMIUM	25 Mn MANGANESE	26 Fe FERRO	27 Co COBALTO	28 Ni NÍQUEL	29 Cu COPPER	30 Zn ZINCO	31 Ga GÁLIUM	32 Ge GERMÂNIO	33 As ARSENÍO	34 Se SELÊNIO	35 Br BROMÍO	36 Kr KRÍPTON	
37 Rb RUBÍDIO	38 Sr STRONCÍO	39 Y ÍTRIO	40 Zr ZIRCONÍO	41 Nb NÍBÍO	42 Mo MOLÍBDENIUM	43 Tc TECNÉCIO	44 Ru RÚTENIO	45 Rh RÓDIO	46 Pd PALÁDIO	47 Ag PRATA	48 Cd CÁDIO	49 In ÍNDIO	50 Sn ESTÂNCIO	51 Sb ANTIMÔNIO	52 Te TELÚRIO	53 I ÍODIO	54 Xe XENÔNIO	
55 Cs CÉSIO	56 Ba BÁRIO	La-Lu	72 Hf HAFNÍO	73 Ta TÂNTALO	74 W TUNGSTÊNIO	75 Re RÊNIO	76 Os ÓSMÍO	77 Ir ÍRIDIUM	78 Pt PLATINA	79 Au OURIVEL	80 Hg MERCÚRIO	81 Tl TÁLÍO	82 Pb CHUMBO	83 Bi BISMUTO	84 Po PÓLONIO	85 At ASTATÍO	86 Rn RÁDIO	
87 Fr FRÂNCÍO	88 Ra RÁDIO	Ac-Lr	104 Rf RIFÉRMIO	105 Db DUBNÍO	106 Sg SEABÓRGIO	107 Bh BOHRIUM	108 Hs HASSÍO	109 Mt MÉTALIO	110 Ds DARMSTÁDÍO	111 Rg ROENTGÊNIO	112 Cn COPIERNÍCIO	113 Nh NIHÓNIO	114 Fl FLÓRIDIO	115 Mc MOSCÓVIO	116 Lv LIVERNÍO	117 Ts TENESSÓO	118 Og OGANESSÓO	
57 La LANTÂNIO	58 Ce CÉRIO	59 Pr PRÓTIUM	60 Nd NÉODÍMIO	61 Pm PROMÉTEIO	62 Sm SAMÁRIO	63 Eu EUROPIUM	64 Gd GÁDOLÍO	65 Tb TERBÍO	66 Dy DÍSPROSIUM	67 Ho HÓLMIUM	68 Er ÉRBIUM	69 Tm TÉLURIUM	70 Yb ÍTRIO	71 Lu LUTÉCIO				
89 Ac ACTÍNIO	90 Th TÓRIUM	91 Pa PROTÁCTÍO	92 U URÂNIO	93 Np NEPULÚMIO	94 Pu PLÚTÓNIO	95 Am AMÉRICIO	96 Cm CÉRIO	97 Bk BERÉLÍO	98 Cf CALIFÓRNIUM	99 Es EINSTEÍNIO	100 Fm FERMIUM	101 Md MÉNDÉLÉVIO	102 No NÉBOLÍO	103 Lr LAVÊNCEIO				

For more detail, visit <http://bit.ly/ElementOrigins>



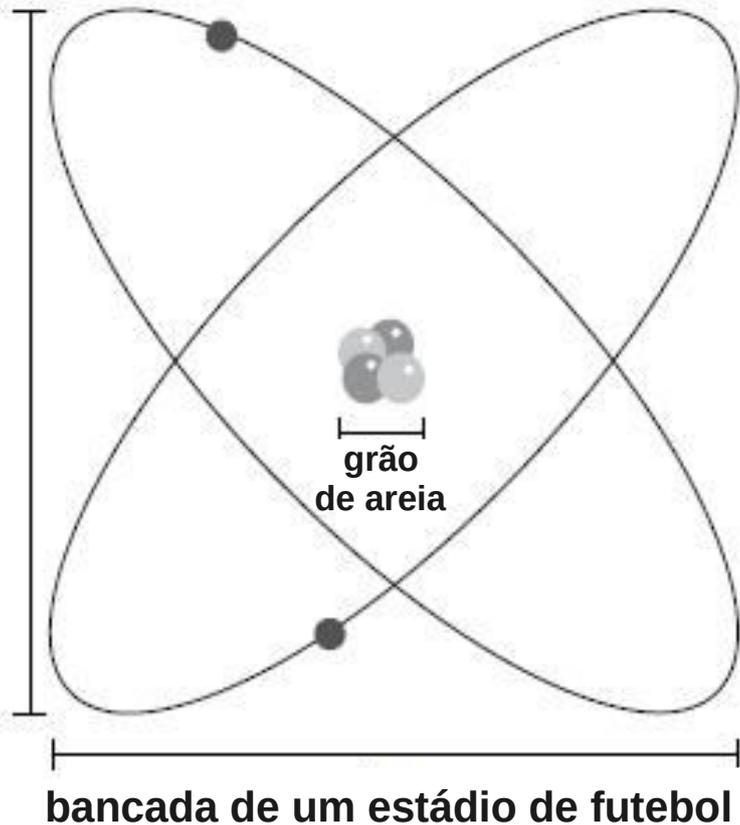
© Andy Brunning/Compound Interest 2019 | www.compoundchem.com | @compoundchem
Shared under a Creative Commons 4.0 Attribution-NoDerivatives-NonCommercial licence.



#IYPT2019



De que são feitos os átomos?



os átomos são feitos principalmente de vazio !!

Z elétrons elementares

Z prótons + $(A-Z)$ nêutrons, feitos de quarks

força eletromagnética

núcleo atrai os elétrons

pode ligar átomos para formar moléculas

devia destruir o núcleo atômico?

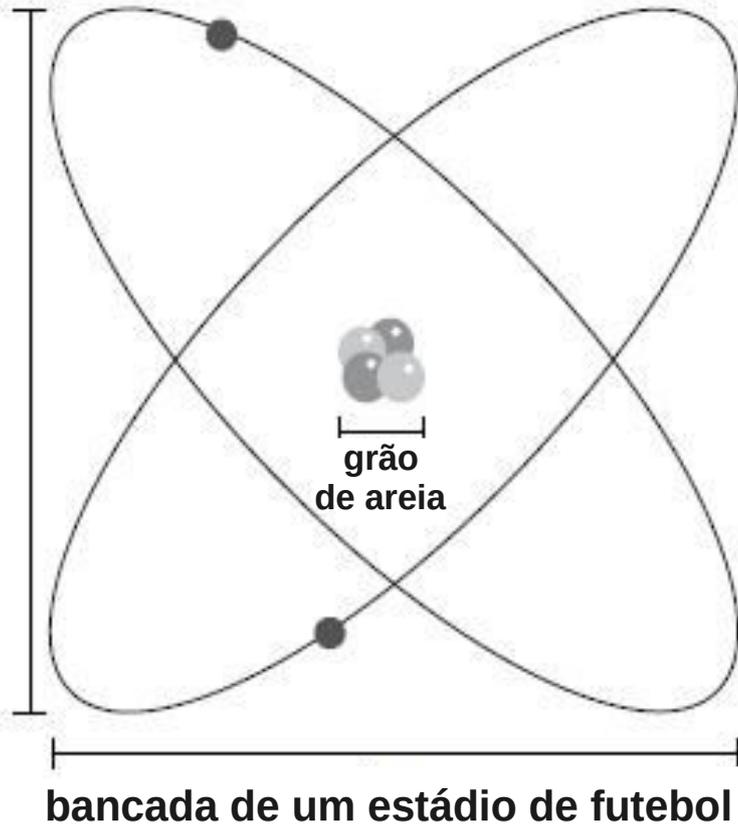
força nuclear forte

liga prótons e nêutrons

liga os quarks dentro de prótons e nêutrons

explica a massa do núcleo, e do átomo!

Partículas das forças



o fóton da força eletromagnética

os átomos emitem fótons de raios-X (“baixa energia”)
os núcleos emitem fótons de raios-gama (“alta energia”)

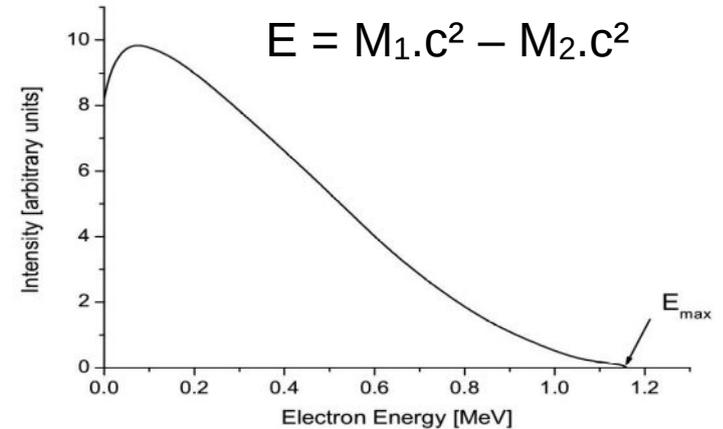
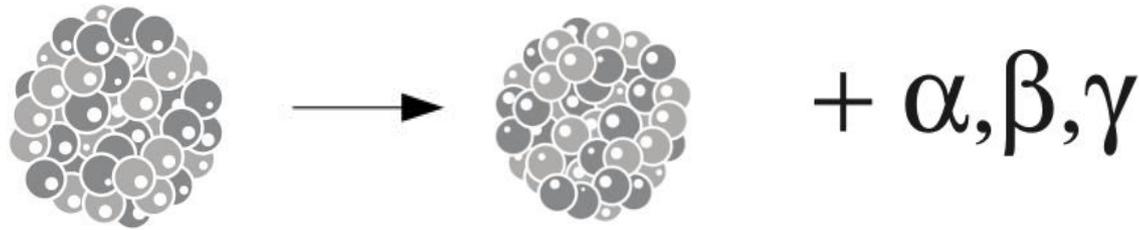
as cargas elétricas são “vistas” em partículas de luz!

o glúon da força nuclear forte

os prótons e nêutrons “sentem” outra partícula
os nêutrons aumentam a coesão do núcleo

prótons e nêutrons não são elementares...

Radioatividade



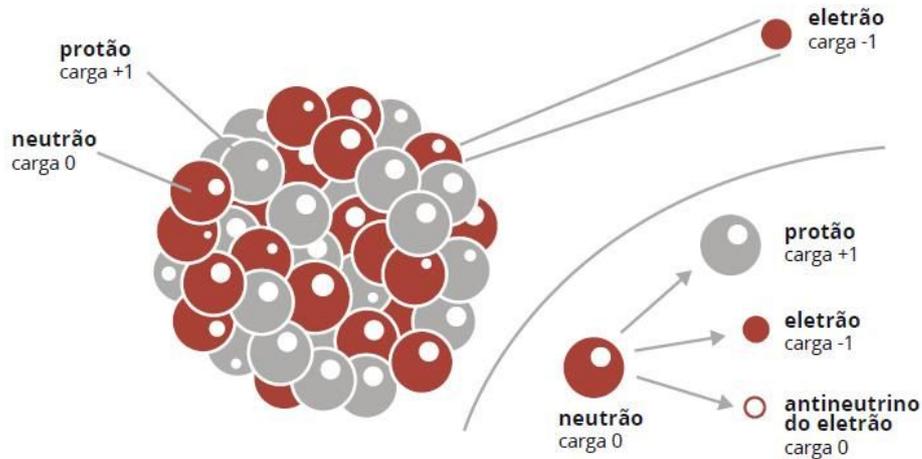
α (força forte): núcleo pesado parte-se em dois (um deles ${}^4\text{He}$ = partícula alfa)
 $(A,Z) \rightarrow (A-4,Z-2) + \text{He}(4,2); \quad E(\alpha) = M(A,Z) - M(A-4,Z-4)$, energia cinética fixa

β (força fraca): núcleo com alguns neutrões emite um eletrão (partícula beta)
 $(A,Z) \rightarrow (A,Z-1) + e^-; \quad E(\beta) < M(A,Z) - M(A,Z-1)$, **a energia não se conserva?**

γ (força eletromagnética): núcleo excitado emite um fóton (raio gama)
 $(A,Z)^* \rightarrow (A,Z-1) + \gamma; \quad E(\gamma) = M(A,Z)^* - M(A,Z)$, comprimento de onda fixo

Neutrinos e a força fraca

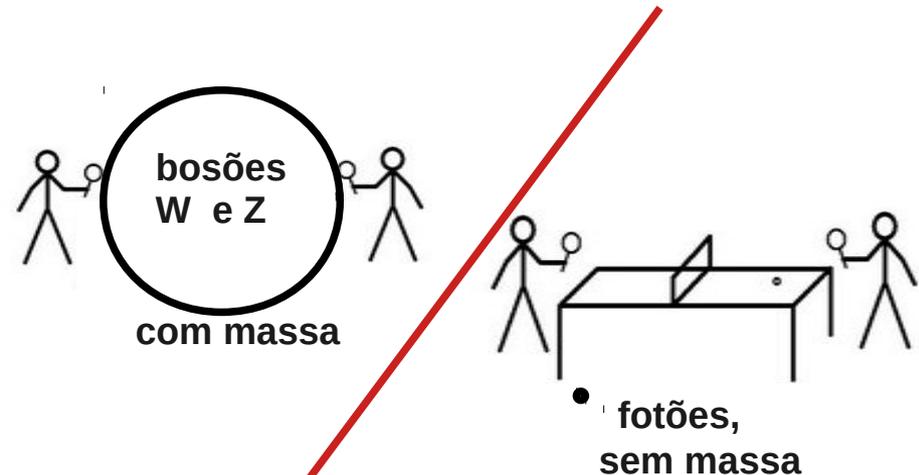
DECAIMENTO β



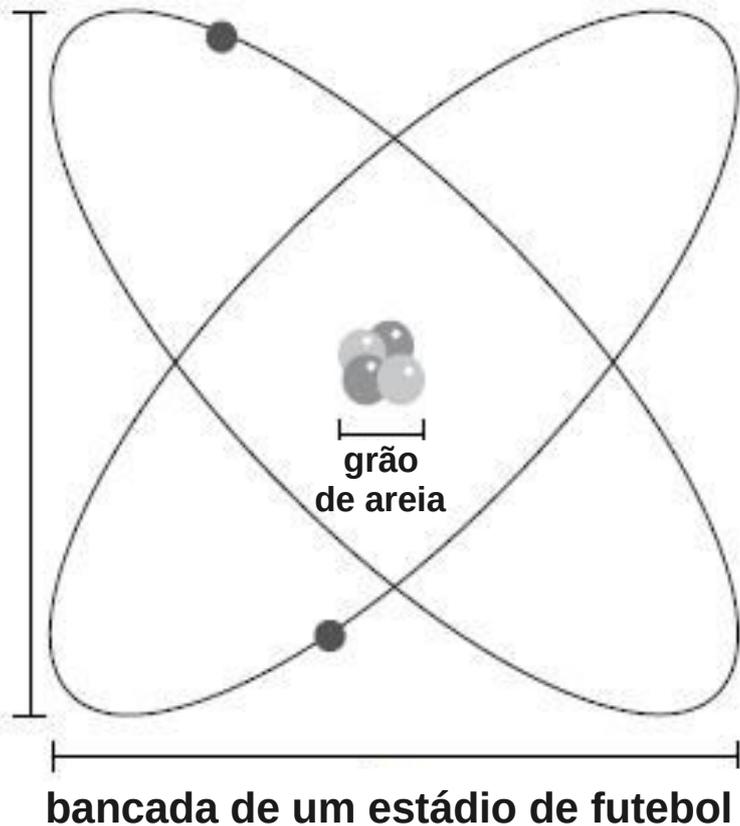
neutrinos só sentem a força nuclear fraca
(e só em distâncias muito curtas)

em 1930, é proposto um “remédio desesperado”:
uma partícula sem massa, sem carga elétrica e
... que não podemos detetar...

em 1957, foi detetado o primeiro (anti-)neutrino!



Neutrinos interagem fracamente



os neutrinos atravessam os átomos pelo vazio

só muito raramente batem no núcleo – e mudam-no!

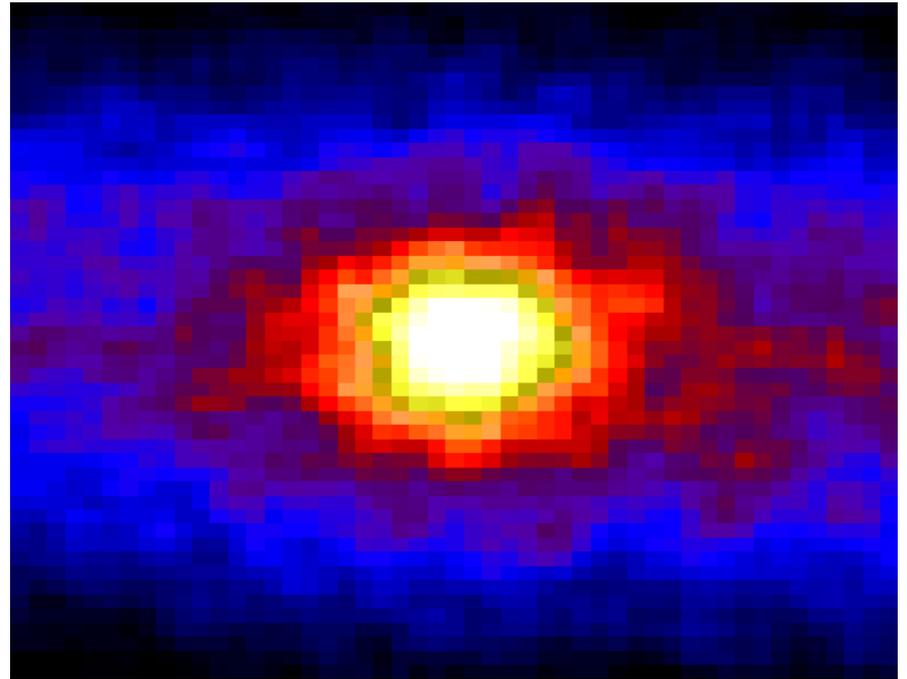
é preciso 10^{19} neutrinos atravessarem-nos
(cerca de um ano a apanhar neutrinos do Sol)
para que um deles interaja no nosso corpo...

Neutrinos do Sol, da Terra, e...

Podemos calcular quantos neutrinos
chegam centro do Sol: $\sim 10^{12} / \text{cm}^2 / \text{min}$

neutrinografia do Sol
(500 dias e noites de exposição
num detetor de 50 kton de água)

Ou anti-neutrinos da Terra, ou...
de uma Supernova?



De que são feitas as coisas?

de partículas elementares e forças fundamentais

1ª geração, descoberta estudando a “matéria normal”

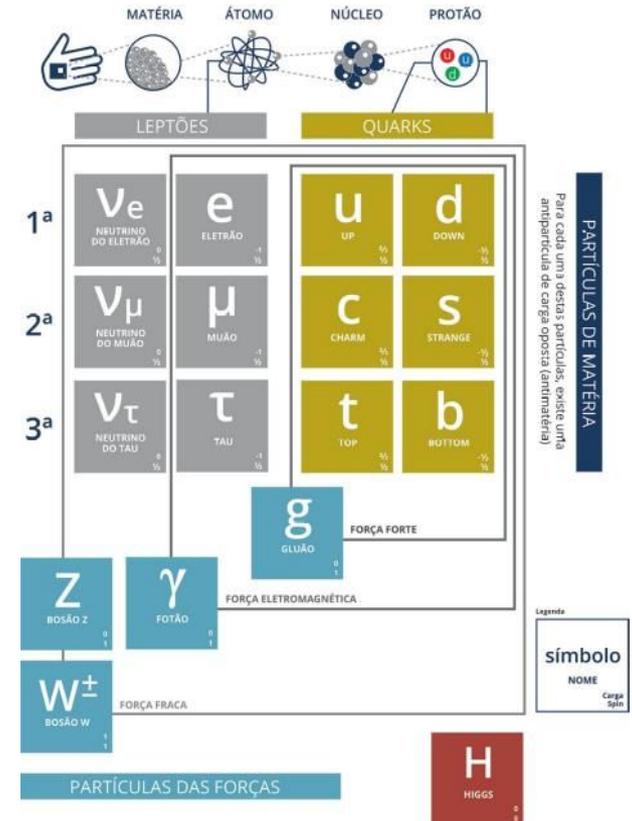
2ª geração, descoberta por surpresa na Natureza

3ª geração, descoberta em experiências no laboratório

(tabela completada em 2012 com o bóson de Higgs)

$$E = m c^2$$

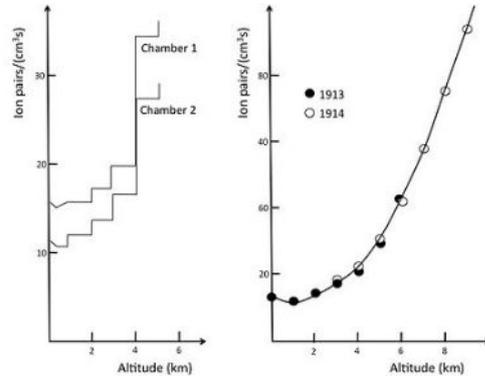
com mais energia podemos criar novas partículas



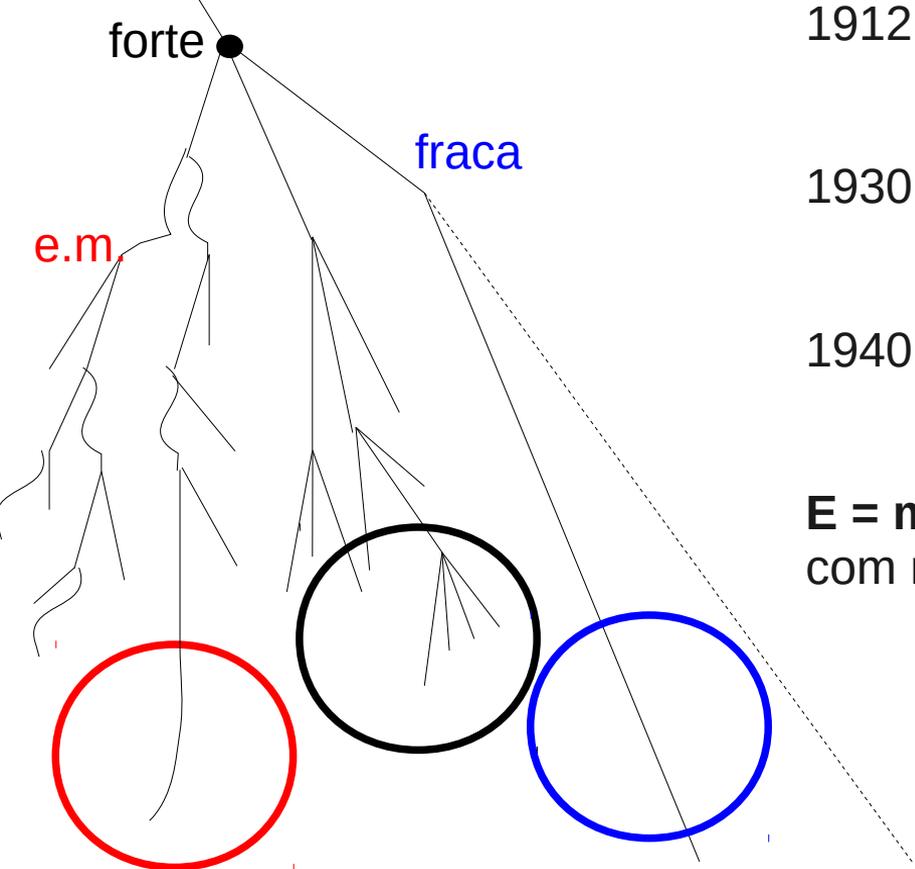
os raios cósmicos

1912: subindo num balão para se afastar da radiação natural
Hess descobriu que a radiação aumenta com a altitude

os raios cósmicos são núcleos atômicos vindos do espaço
(basicamente os mesmos que vemos na Terra :-)



os raios cósmicos



1912: subindo num balão para se afastar da radiação natural
Hess descobriu que a radiação aumenta com a altitude

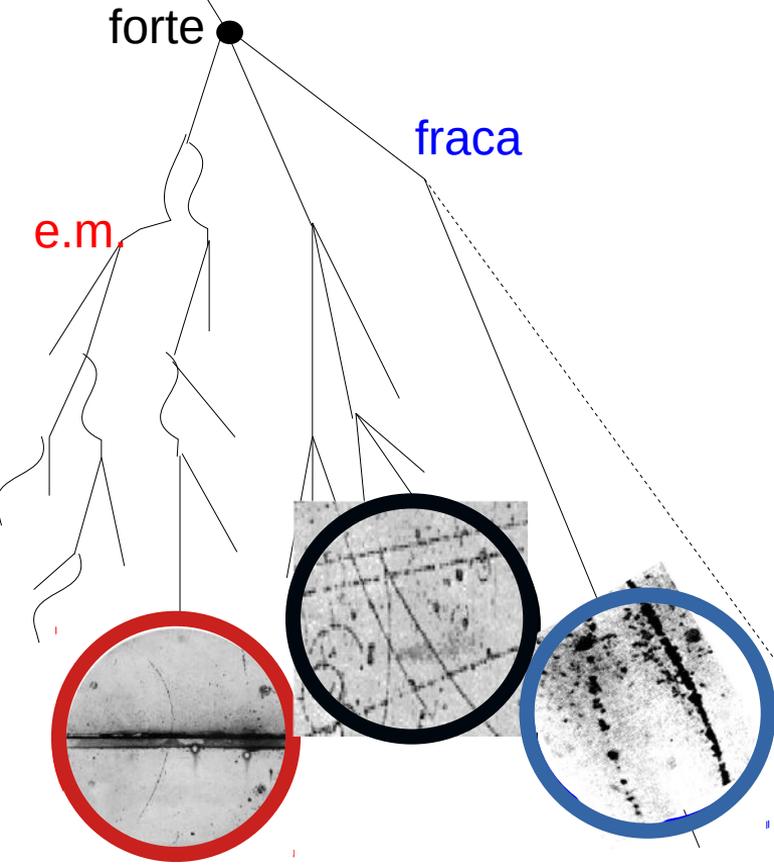
1930: detetando partículas no topo de uma montanha
Anderson descobriu várias partículas desconhecidas

1940: aumentando o tamanho e distâncias entre detetores
Auger descobriu que as partículas são criadas juntas

$$E = m c^2$$

com mais energia podemos criar novas partículas

os raios cósmicos



Um electrão com carga positiva? positrão, e^+

“É a outra solução da equação de Dirac!”

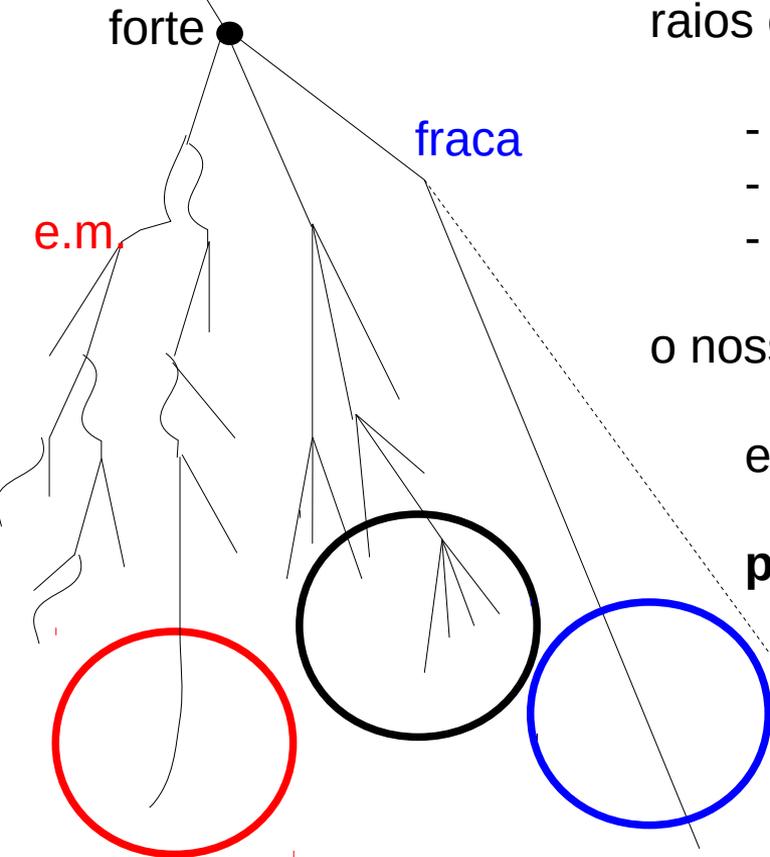
Um electrão com 200 x mais massa? muão, μ

“Ops, e isto? Quem é que pediu isto?”

π , K , Λ , Ω , Σ , Δ

Muitas combinações possíveis de quarks, não são só os quarks u e os quarks d mas também pares quark/anti-quark, ou trios incluindo quarks s e quark s

anti-partículas e anti-matéria



raios cósmicos produzem tantas partículas como anti-partículas

- elétrons com carga positiva e prótons com carga negativa
- quarks com cargas opostas e com anticor
- neutrinos que uns criam elétrons e outros positrões

o nosso corpo produz mais de 100 positrões por hora (beta +)

e conseguimos produzir anti-átomos no laboratório!

porque não há anti-matéria à nossa volta?

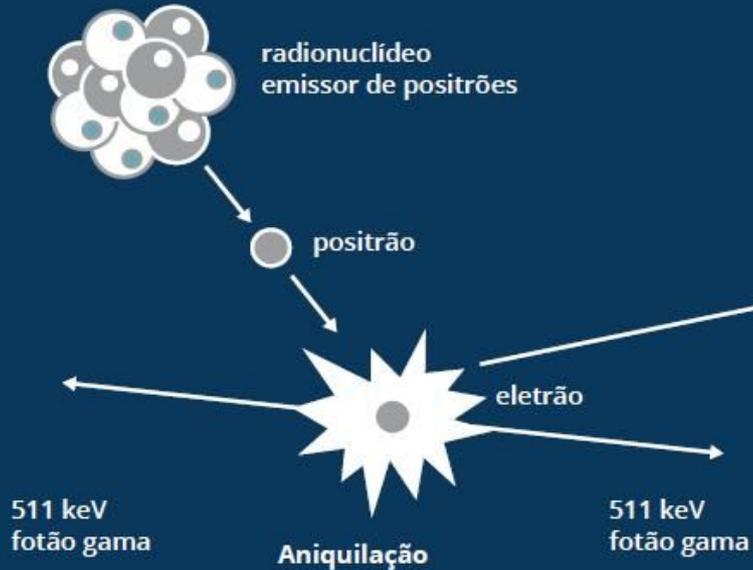
matéria + antimatéria = energia (aniquilam-se!)

anti-partículas na medicina

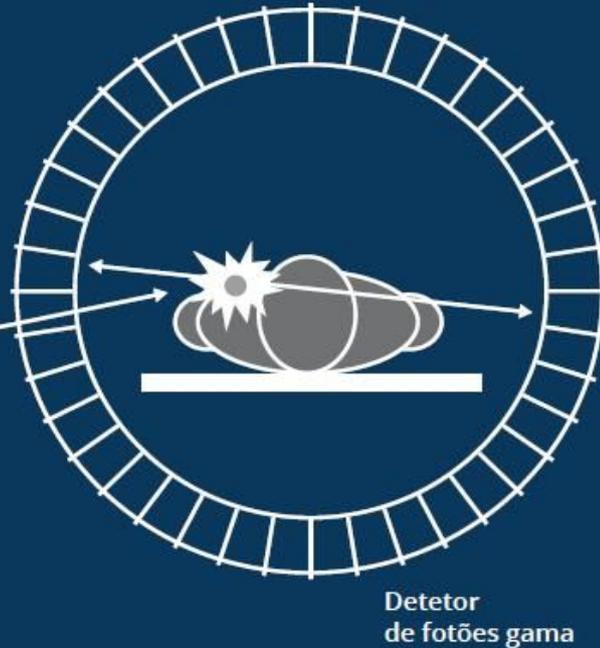
PET

A tomografia por emissão de positrões permite criar imagens do interior do organismo a partir da radiação emitida pela aniquilação de positrões e eletrões.

Emissão de positrões e aniquilação positrão-eletrão



Scanner de PET



muões e a relatividade

raios cósmicos produzem muitos muões na atmosfera terrestre

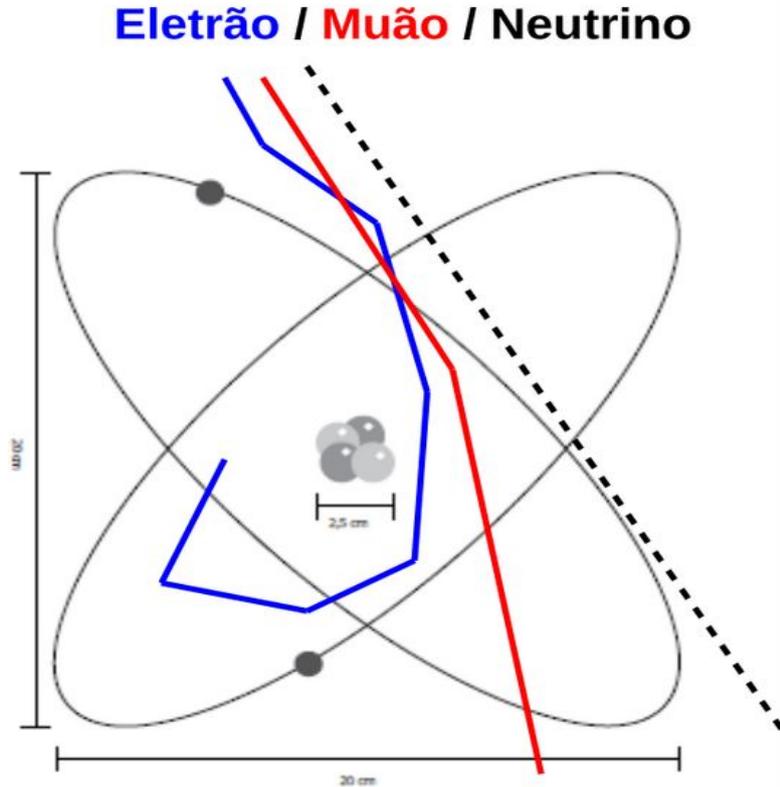
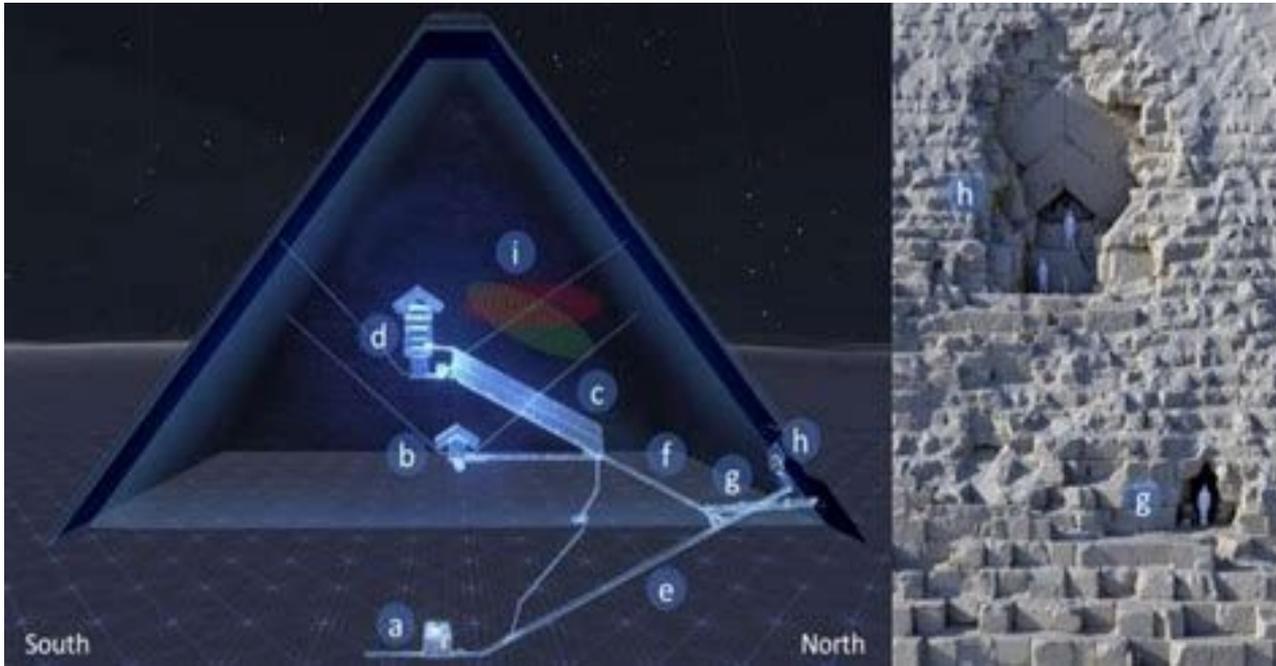
- são “cópias” muito (200 x) mais pesadas dos elétrons
- vivem muito pouco tempo ($2 \mu\text{s} = 2 \times 10^{-6} \text{ s}$), depois decaem ($\mu \rightarrow e \nu$, como na radioatividade)
- viajam quase à velocidade da luz $c \sim 300\,000 \text{ km/s}$
- vemos $1 / \text{cm}^2 / \text{min}$ à superfície ao nível do mar

“*distância = velocidade x tempo = 600 m*”?? é relativa!!

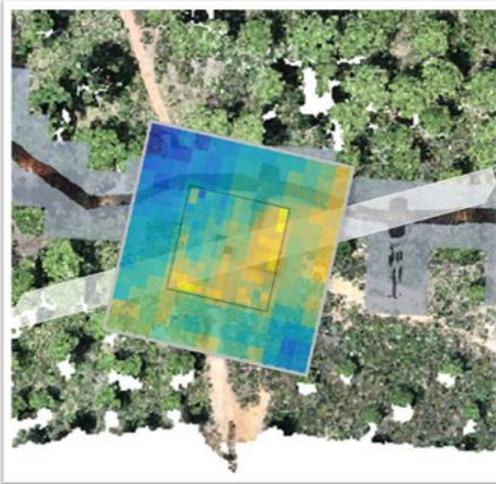
a velocidades próximas da da luz,
o espaço (visto pelo muão) contrai
o tempo (medido por nós) dilata



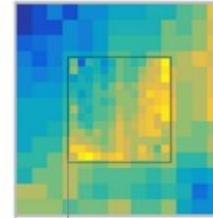
muões na arqueologia



muões na geologia



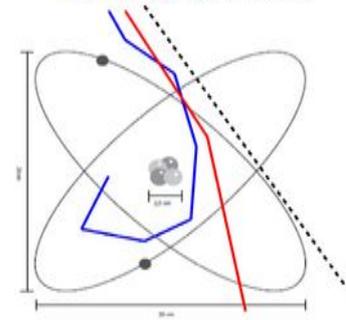
ÁREA DA DETEÇÃO



~ 17 x 17 m

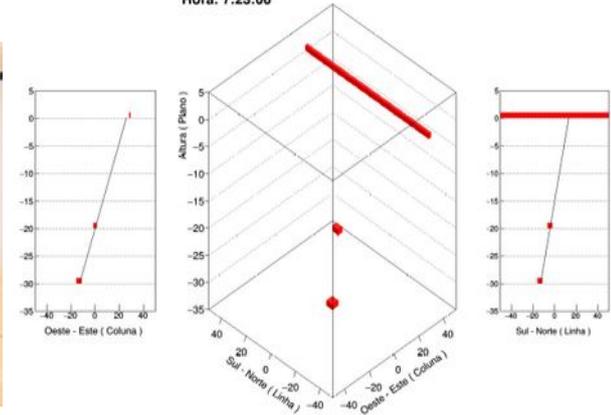
~ 30 m x 30 m

Eletrão / Muão / Neutrino



Data: 17/7/2022

Hora: 7:23:06



pages.lip.pt/loumu

LIP + ICT + Ciência Viva + LNEG

explorar a **muografia** em Portugal

como fazemos as descobertas?

As três gerações de partículas de matéria

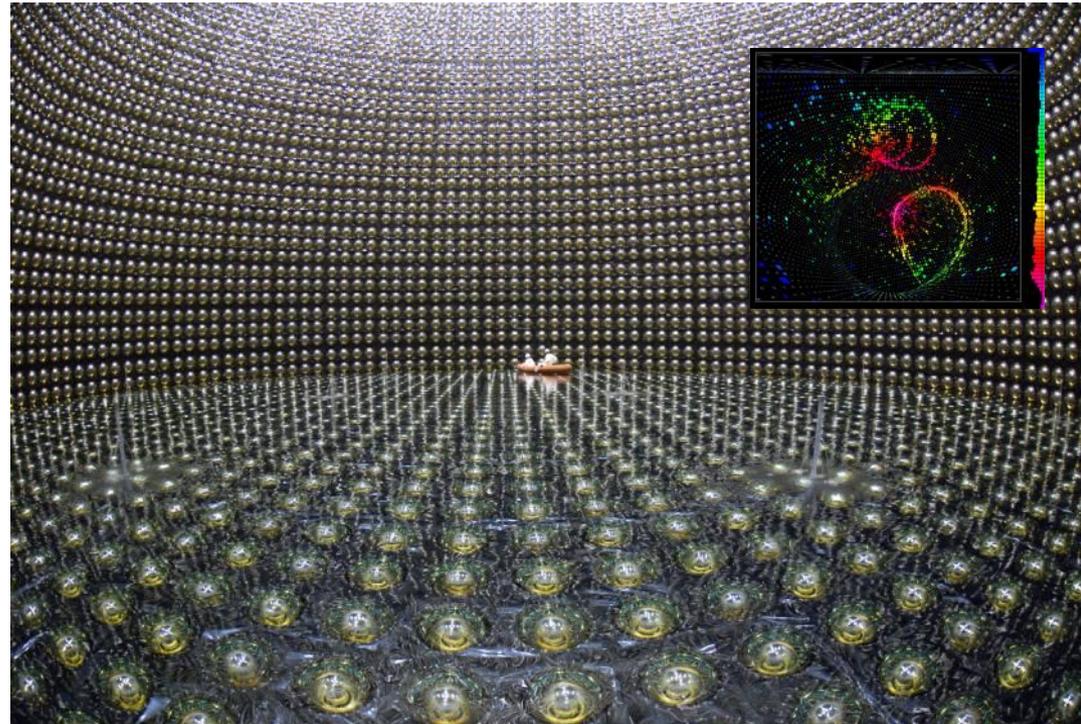
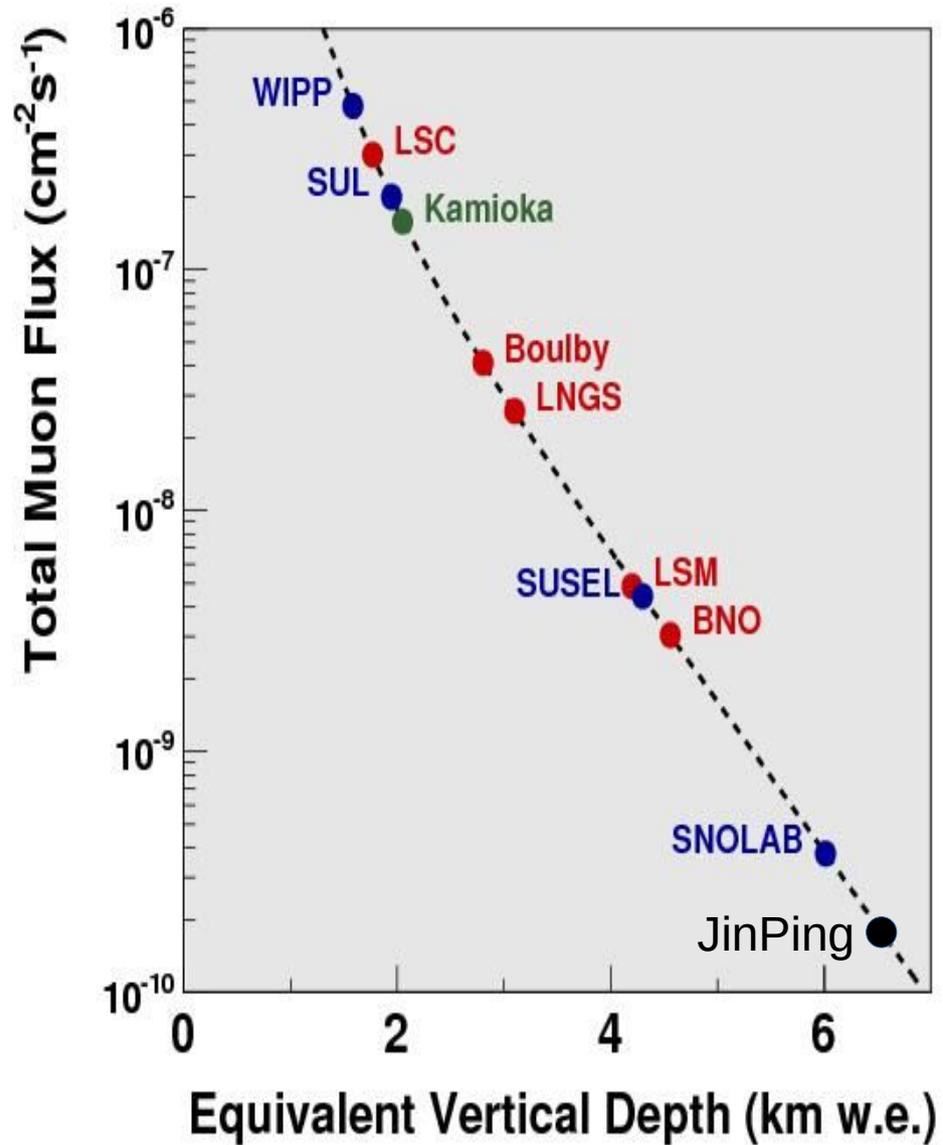
- 1^a estudando a matéria normal (tabela periódica e radioatividade)
- 2^a observando processos naturais raros (surpresas nos raios cósmicos)
- 3^a criando testes dedicados em laboratório (aceleradores de partículas)

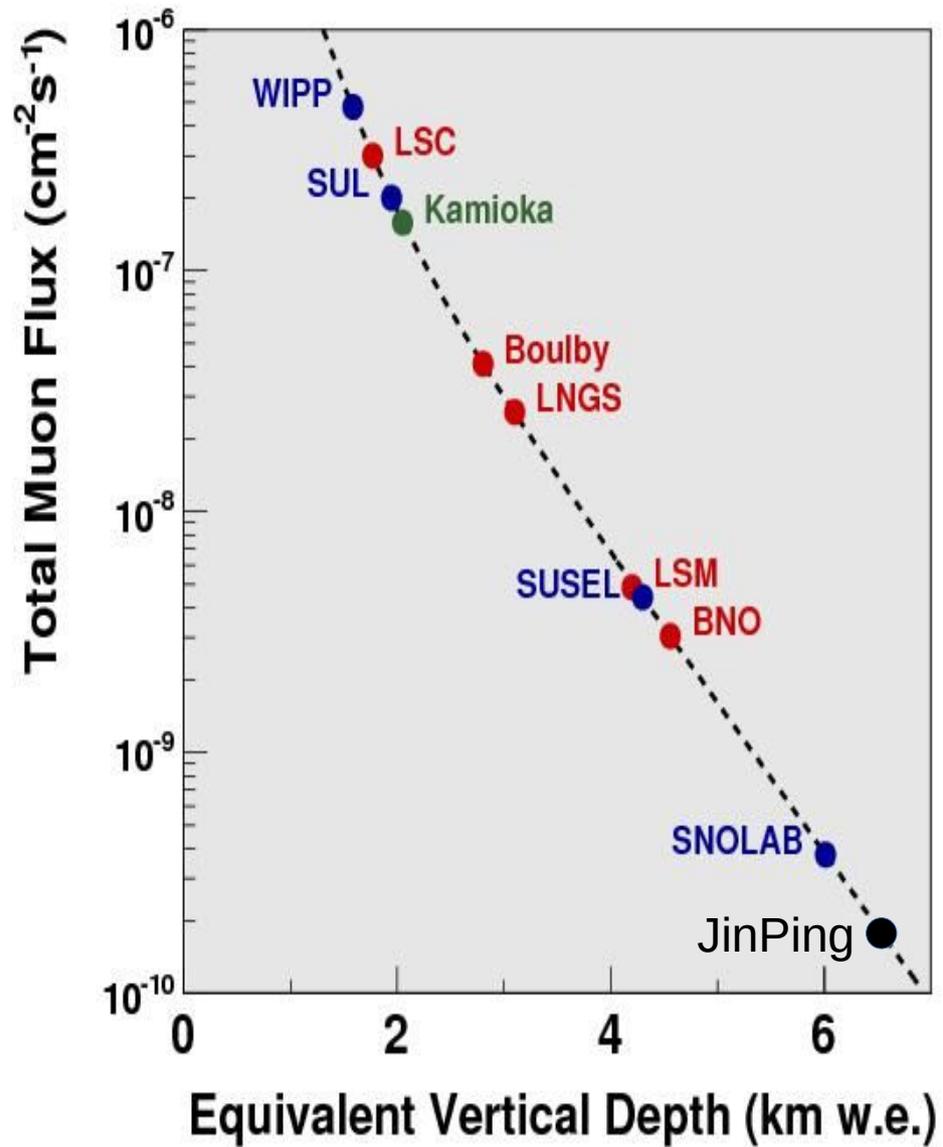
Teoria, observação e experiência

- e^+ pósitrons previstos pela teoria
- μ múons observados surpreendentemente
- ν neutrinos descobertos em experiências dedicadas

As novas partículas são depois usadas para ver de novas formas !!

observatórios subterrâneos





Prêmio Nobel 2015

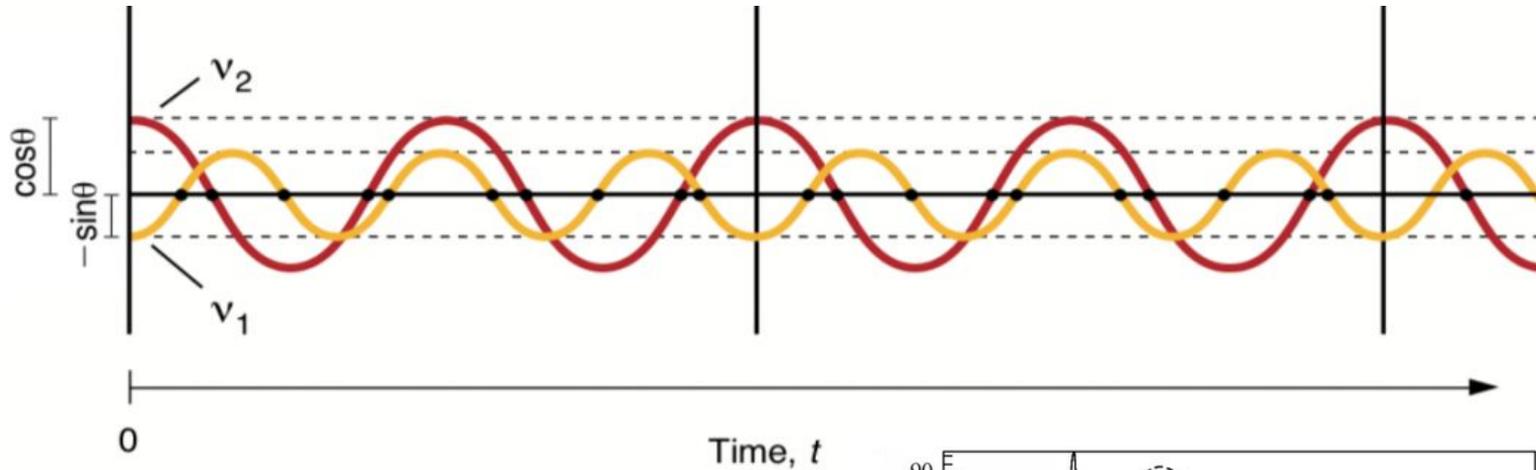


Os neutrinos mudam de família ao longo do tempo!

Oscilação é um grande exemplo da mecânica quântica

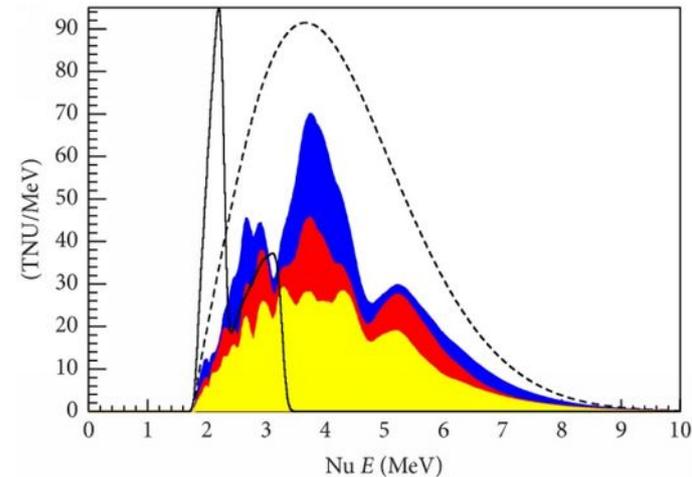
Se sentem o tempo, é porque têm massa!

Os neutrinos oscilam ao longo do tempo mudam de tipo enquanto viajam:



Perto da fonte (e periodicamente), interagem criando elétrons (são neutrinos de elétron)

Ao longo do caminho misturam-se com neutrino de muão e de tau



Prêmio Nobel 2015

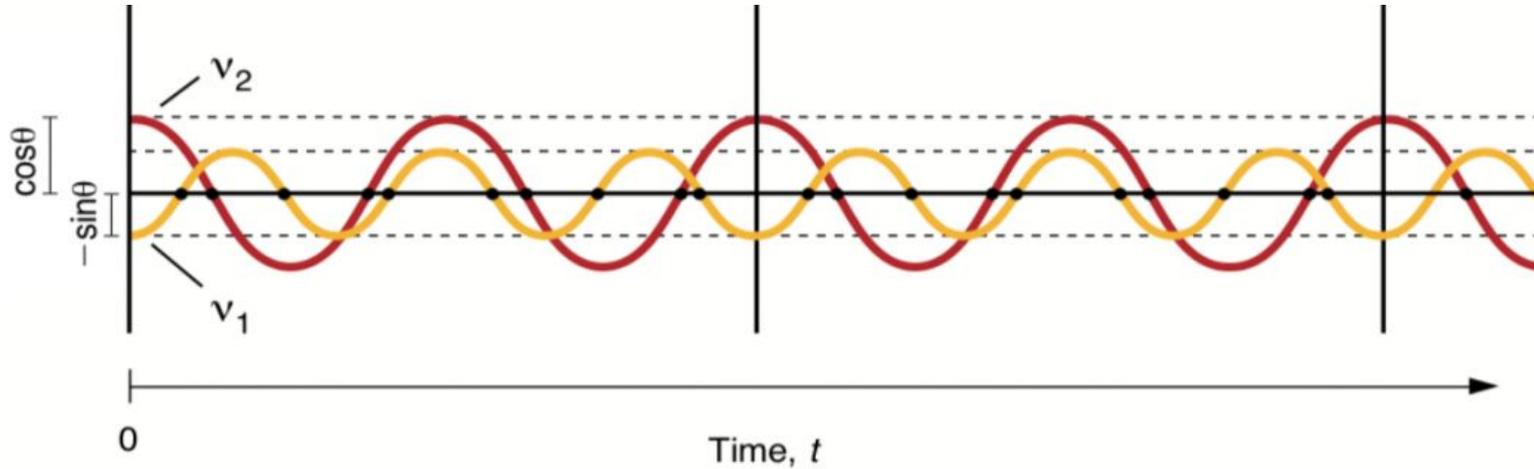


Os neutrinos mudam de família ao longo do tempo!

Oscilação é um grande exemplo da mecânica quântica

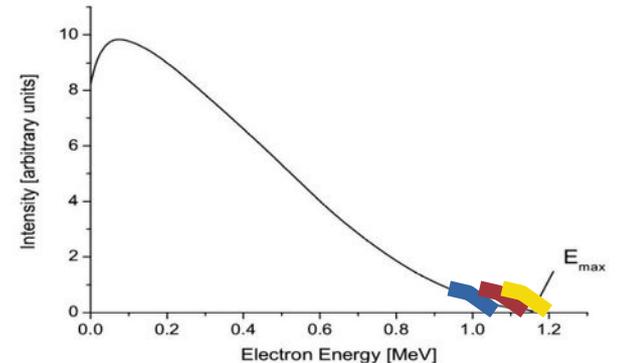
Se sentem o tempo, é porque têm massa!

Os neutrinos oscilam ao longo do tempo mudam de tipo enquanto viajam:



Perto da fonte (e periodicamente), interagem criando elétrons (são neutrinos de elétron)

Ao longo do caminho misturam-se com neutrino de muão e de tau



Prémio Nobel 2015



As propriedades dos neutrinos continuam a ser exploradas!

A deeper understanding
of the **Universe**
from 2 km underground

Lisboa, 6 Setembro, 18h00
Aud. José Mariano Gago - Pavilhão do Conhecimento



Arthur B. McDonald

Prémio Nobel da Física 2015

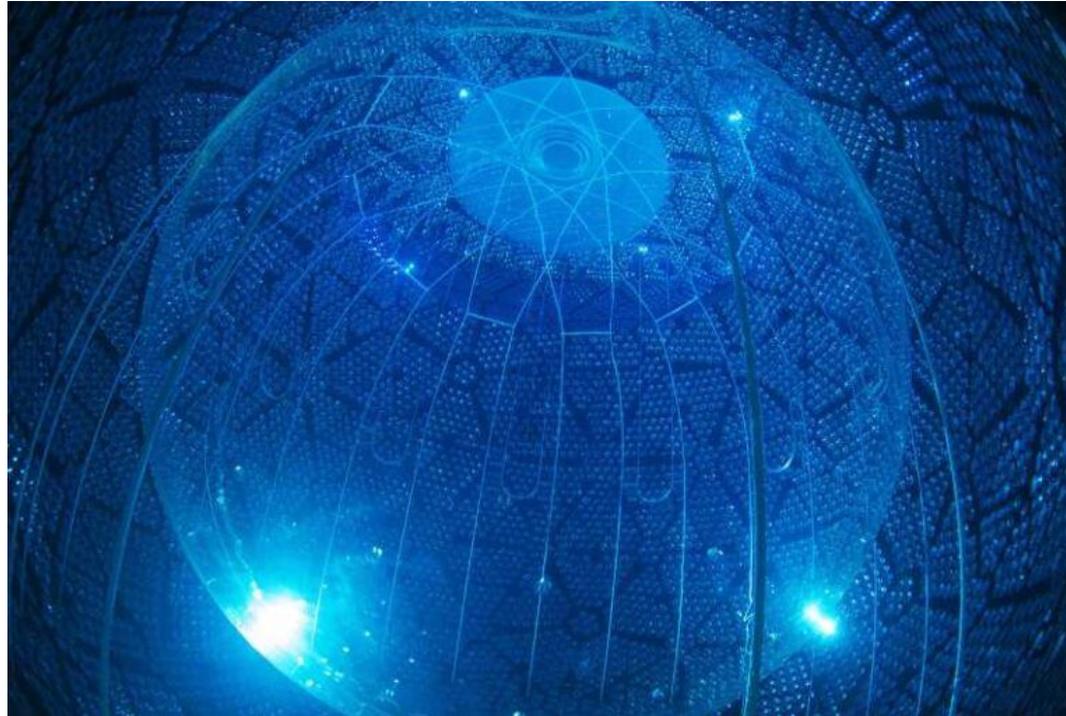
*"pela descoberta das oscilações de neutrinos
que mostram que os neutrinos têm massa."*



ENTRADA GRATUITA
reservação: www.ciencia.viva.pt

O LIP participa na experiência SNO+

mede neutrinos do Sol, da Terra (e de Supernovas?)
mede decaimento beta duplo (com e sem neutrinos):
os neutrinos são a sua própria anti-partícula???
contribuem para um Universo de matéria (e não anti-matéria)?
[ajudarão a explicar a matéria escura??]



Prémio Nobel 2015



As propriedades dos neutrinos continuam a ser exploradas!

O LIP participa na experiência DUNE
mede neutrinos (e anti-neutrinos) produzidos num acelerador
com grande precisão nas oscilações de neutrinos:
é igual ou é diferente entre eles???
contribuem para um Universo de matéria (e não anti-matéria)?

A deeper understanding
of the **Universe**
from 2 km underground

Lisboa, 6 Setembro, 18h00
Aud. José Mariano Gago - Pavilhão do Conhecimento



Arthur B. McDonald

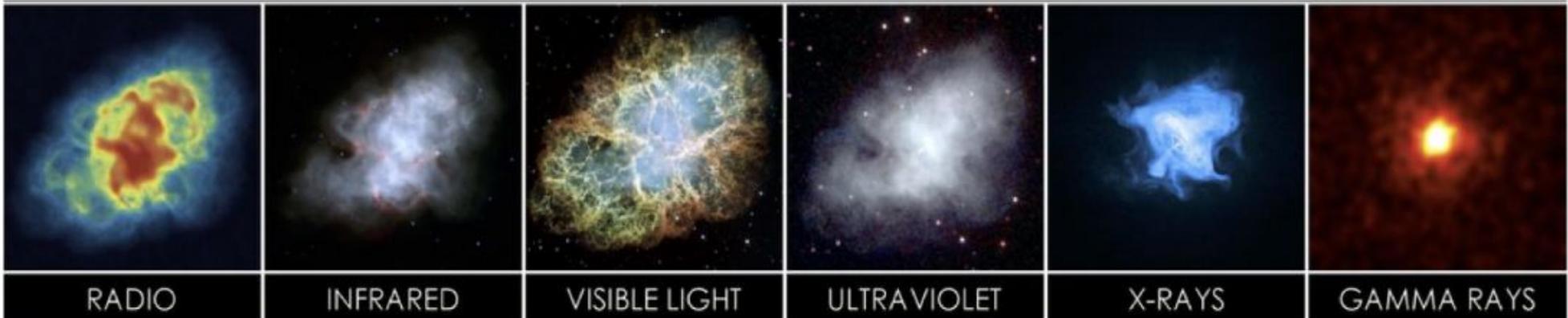
Prémio Nobel da Física 2015

"pela descoberta das oscilações de neutrinos
que mostram que os neutrinos têm massa."

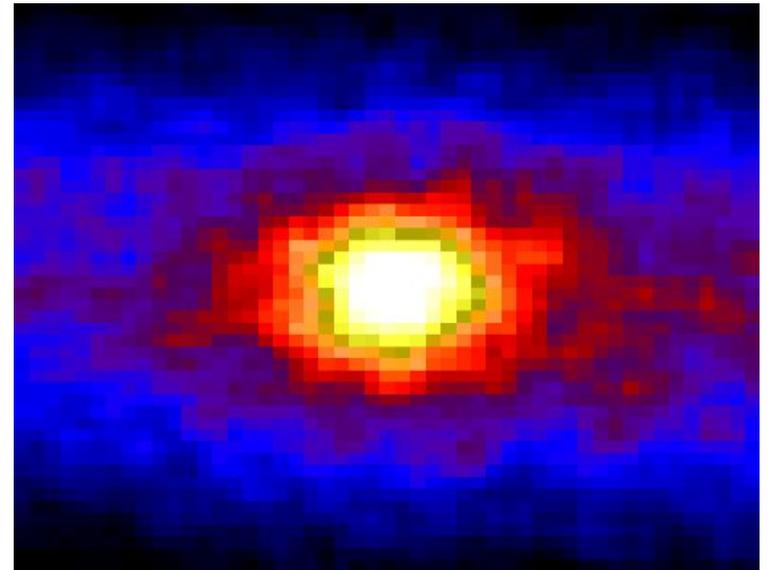
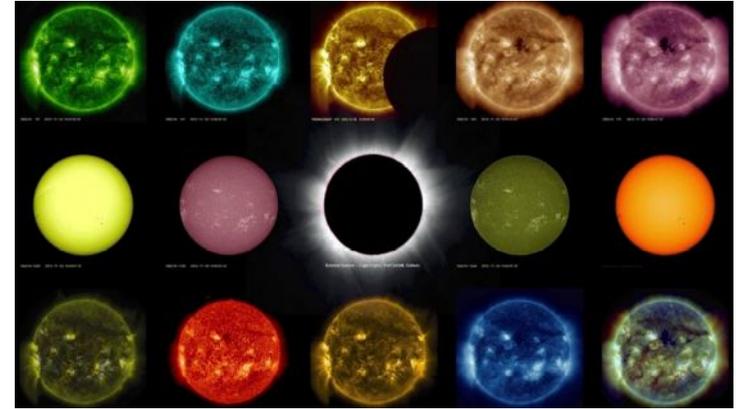
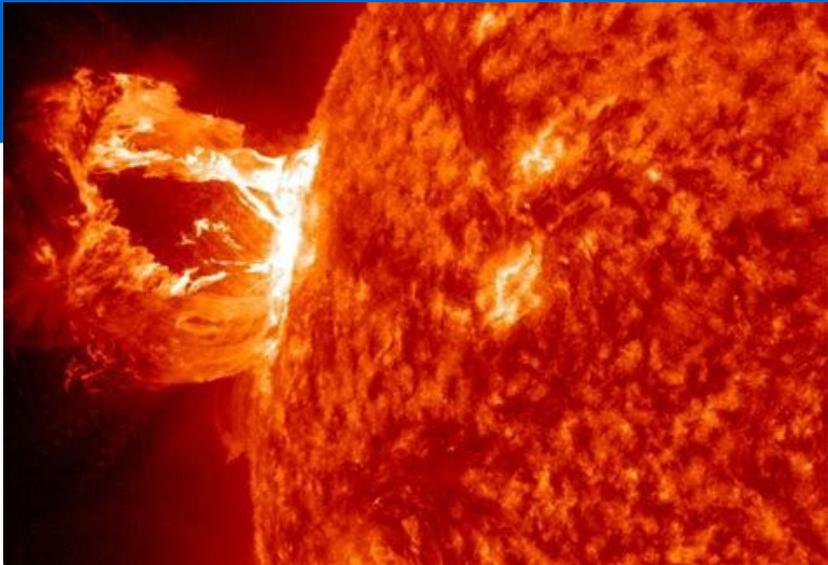


Nova astronomia:
das várias cores da luz
às outras partículas
mensageiras

a nebulosa do Caranguejo



Nova astronomia:
das várias cores da luz
às outras partículas
mensageiras



os raios cósmicos vistos na Terra



partículas com carga elétrica

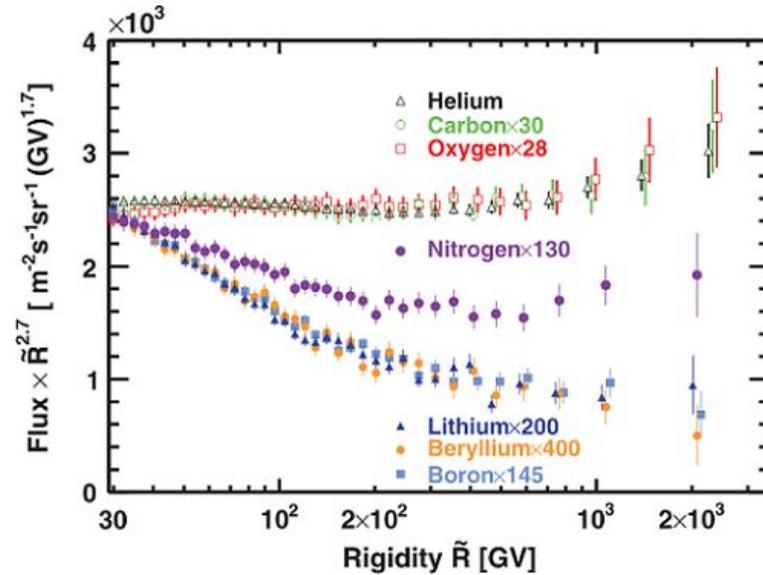
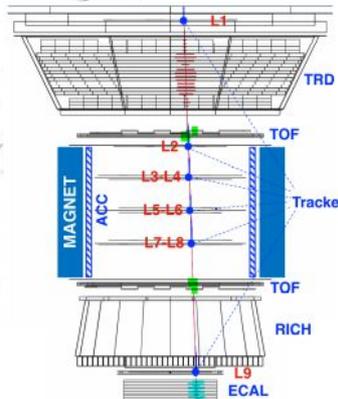
concentram-se nos Polos,
guiadas pelo campo magnético

excitam átomos e moléculas
presentes na atmosfera,

que emite luz!

(só poucas chegam ao solo)

e na Estação Espacial Internacional



os mesmos elementos:
são criados nas estrelas

De que são feitas as coisas?

6

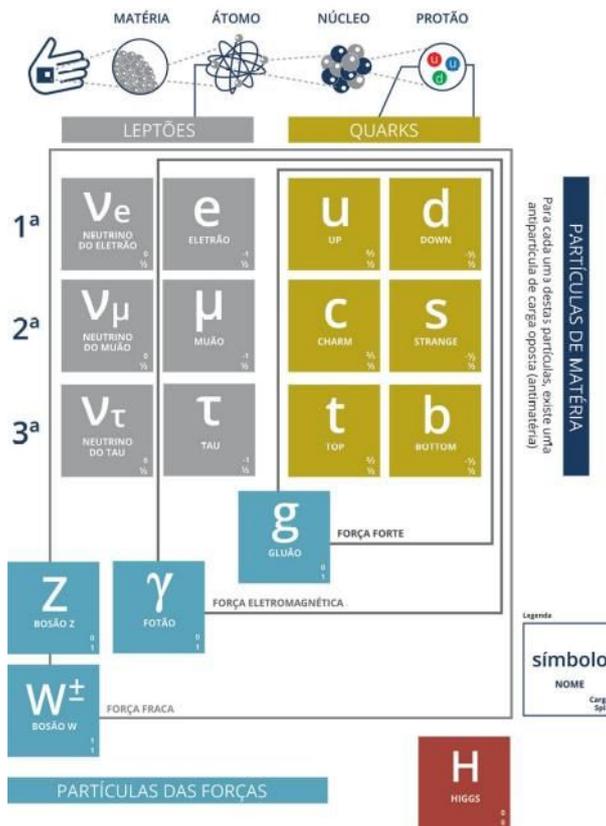
PERIODIC TABLE OF THE ORIGINS OF THE ELEMENTS

KEY

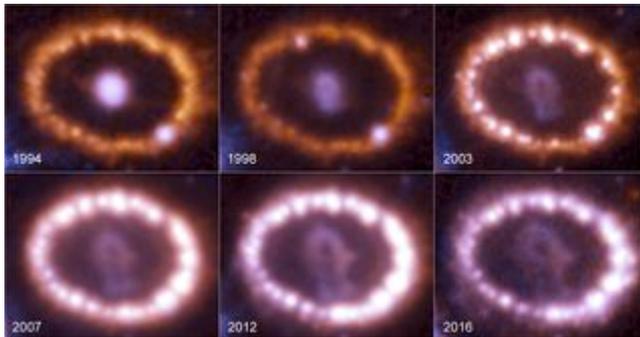
- The Big Bang
Made in nuclear reaction chains after the big bang
- Slow-process neutron capture
Atoms capture neutrons then undergo beta decay
- Cosmic rays
Fragmentation of elements by cosmic rays
- Rapid-process neutron capture
Atoms capture many neutrons then undergo beta decay
- Fusion in stars
From nuclear fusion reactions inside stars
- Synthetic elements
Created in nuclear reactors/particle accelerators

1 H HYDROGEN																	2 He HELIUM	
3 Li LITHIUM	4 Be BERYLLIUM																	10 Ne NEON
11 Na SODIUM	12 Mg MAGNESIUM																	18 Ar ARGON
19 K POTASSIUM	20 Ca CALCIUM	21 Sc SCANDIUM	22 Ti TITANIUM	23 V VANADIUM	24 Cr CHROMIUM	25 Mn MANGANESE	26 Fe FERRO	27 Co COBALTO	28 Ni NÍQUELO	29 Cu COBRE	30 Zn ZINCO	31 Ga GÁLIUM	32 Ge GERMÂNIO	33 As ARSENÍCO	34 Se SELÊNIO	35 Br BROMÍO	36 Kr CRÍPTON	
37 Rb RUBÍDIO	38 Sr STRONCÍO	39 Y ÍTRIO	40 Zr ZIRCONÍO	41 Nb NÍQUELO	42 Mo MOLÍBDENO	43 Tc TECNÉCIO	44 Ru RÚTENIO	45 Rh RÓDIO	46 Pd PALADÍO	47 Ag PRATA	48 Cd CÁDIO	49 In ÍNDIO	50 Sn ESTÂNCIO	51 Sb ANTIMÔNIO	52 Te TELÚRIO	53 I IODO	54 Xe XENÓ	
55 Cs CÉSIO	56 Ba BÁRIO	La-Lu	72 Hf HAFNÍO	73 Ta TÂNTALO	74 W TUNGSTÊNIO	75 Re RÊNIO	76 Os ÓSMÍO	77 Ir ÍRIS	78 Pt PLATINA	79 Au OURIVEL	80 Hg MERCÚRIO	81 Tl TÁLIO	82 Pb CHUMBO	83 Bi BISMUTO	84 Po PÓLONIO	85 At ASTATÍO	86 Rn RÁDIO	
87 Fr FRÂNCIO	88 Ra RÁDIO	Ac-Lr	104 Rf RÚTENÍO	105 Db DUBNÍO	106 Sg SEABÓRGIO	107 Bh BOHRIUM	108 Hs HASSÍO	109 Mt MÉTAL	110 Ds DARMSTÁDIO	111 Rg RÓGÊNIO	112 Cn COPERNÍCIO	113 Nh NIHÓNIO	114 Fl FLÓRIDIO	115 Mc MOSCÓVIO	116 Lv LIVERNÍO	117 Ts TENESSÓ	118 Og OGANESSÓ	
57 La LANTÂNIO	58 Ce CÉRIO	59 Pr PRÓMETÉCIO	60 Nd NÉODÍMIO	61 Pm PROMÉTECIO	62 Sm SAMÁRIO	63 Eu EUROPIUM	64 Gd GÁDOLÍO	65 Tb TERBÍO	66 Dy DÍSPROSIUM	67 Ho HÓLMIUM	68 Er ÉRBIUM	69 Tm TULÍO	70 Yb YTERBÍO	71 Lu LÚTETIO				
89 Ac ACTÍNIO	90 Th TÓRIUM	91 Pa PROTÁCTÍO	92 U URÂNIO	93 Np NEPTÚNIO	94 Pu PLÚTONIO	95 Am AMÉRICIO	96 Cm CÉRIO	97 Bk BERÉLIO	98 Cf CALIFÓRNIUM	99 Es EINSTEINÍO	100 Fm FERMIUM	101 Md MÉNDÉLÉVIO	102 No NÉBOLÍO	103 Lr LAVÊNCEIO				

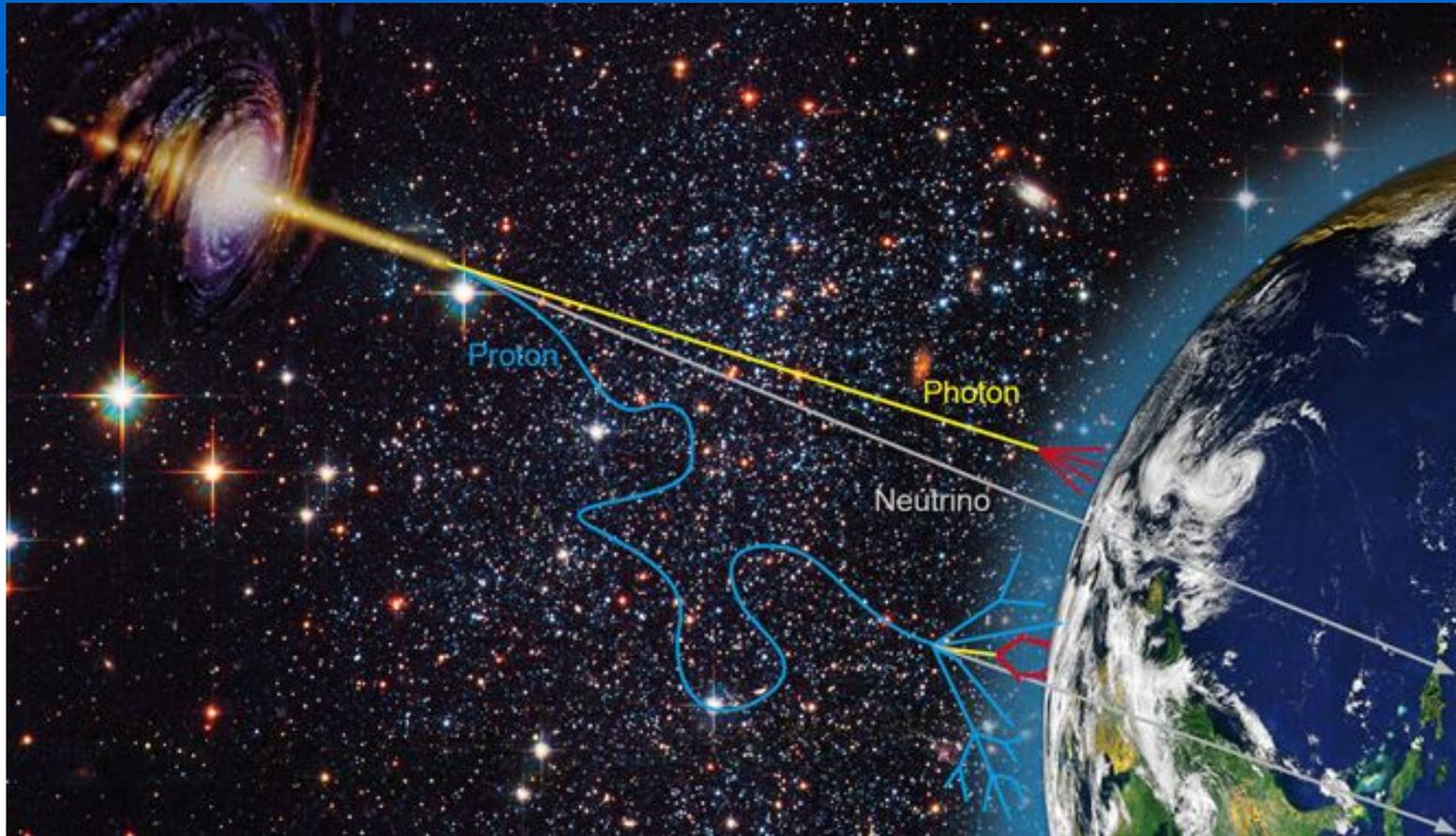
For more detail, visit <http://bit.ly/ElementOrigins>



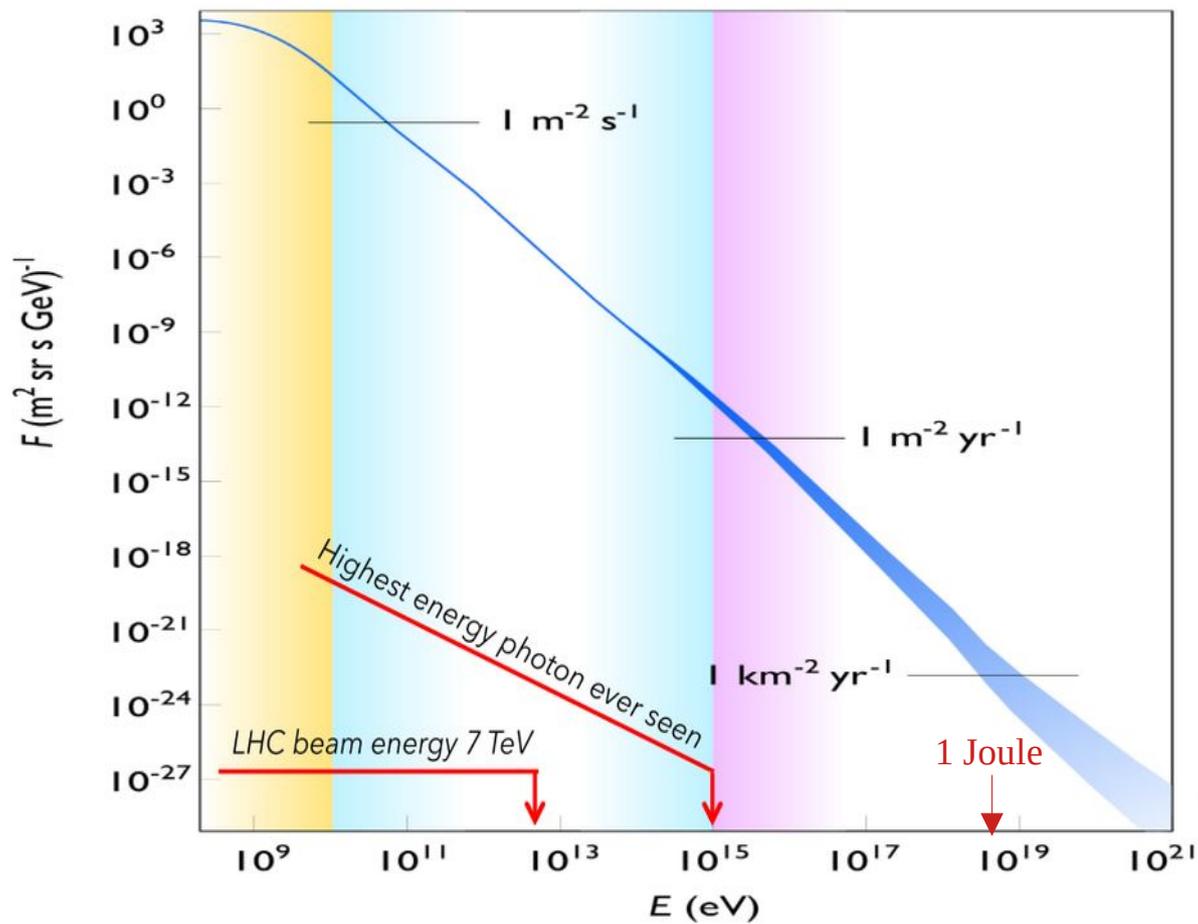
explosões de Supernovas



outros fenômenos ?



muitos raios cósmicos



do Sol e de outras estrelas
(que criam os elementos “leves”)

das explosões de estrelas
(que criam os elementos “pesados”)

e... outros de que sabemos menos:

o que são ? de onde vêm ?

escalas de energia

1 eV é a energia que uma pilha de 1 V dá a cada um dos eletrões que acelera

1 keV = 10^3 eV energia típica dos fotões de raio-X

1 MeV = 10^6 eV massa do eletrão $\sim 0.5 \text{ MeV}/c^2$
($m \sim 10^{-30} \text{ kg}$; $c = 300\,000 \text{ km/s}$)



1 GeV = 10^9 eV massa do protão, $\sim 1.0 \text{ GeV}/c^2$

1 TeV = 10^{12} eV os protões do LHC no CERN têm 7 TeV

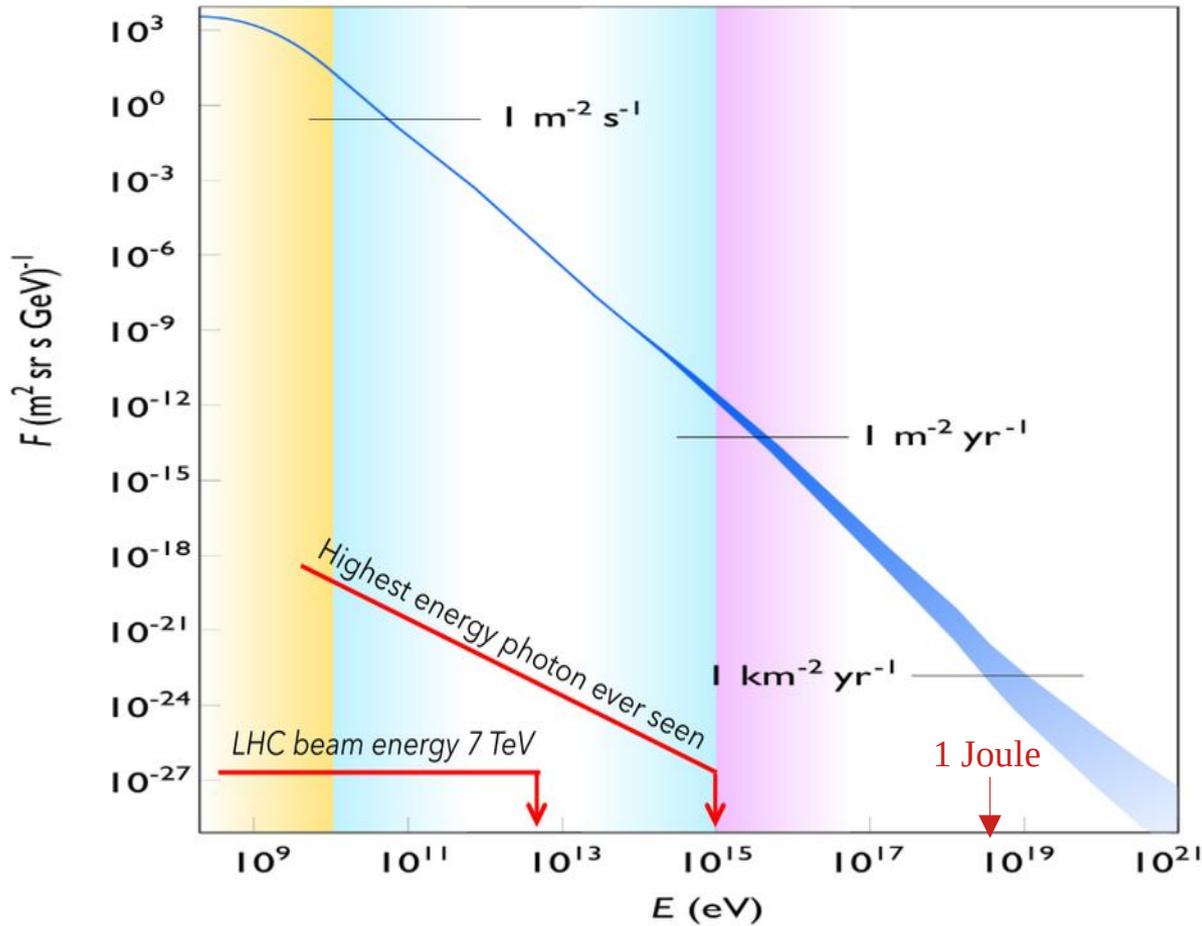
1 PeV = 10^{15} eV energia típica dos protões dos raios cósmicos

1 EeV = 10^{18} eV mas detetam-se raios cósmicos até 100 EeV!

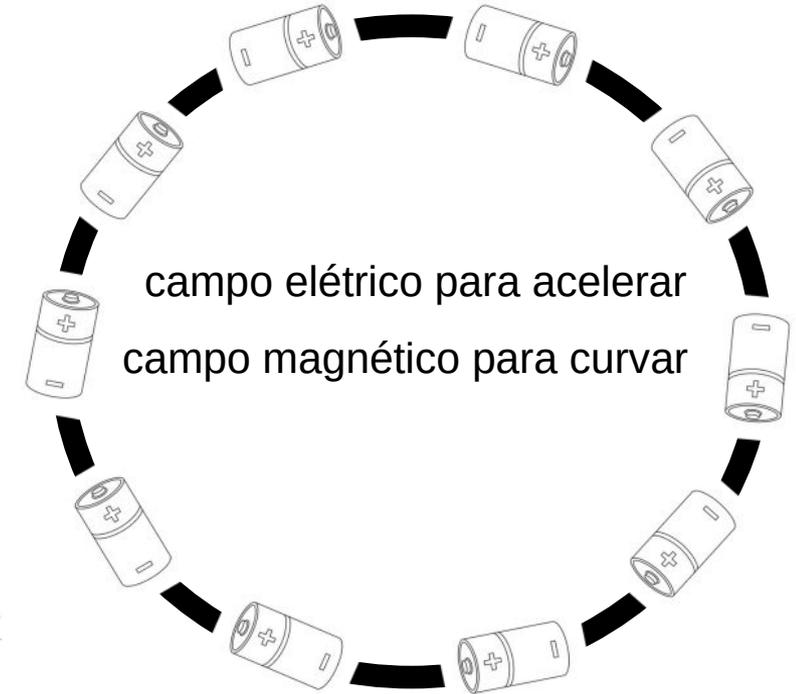


1 Joule = 6 EeV é a energia de um humano a mover-se devagar (50 kg a 0.2 m/s)

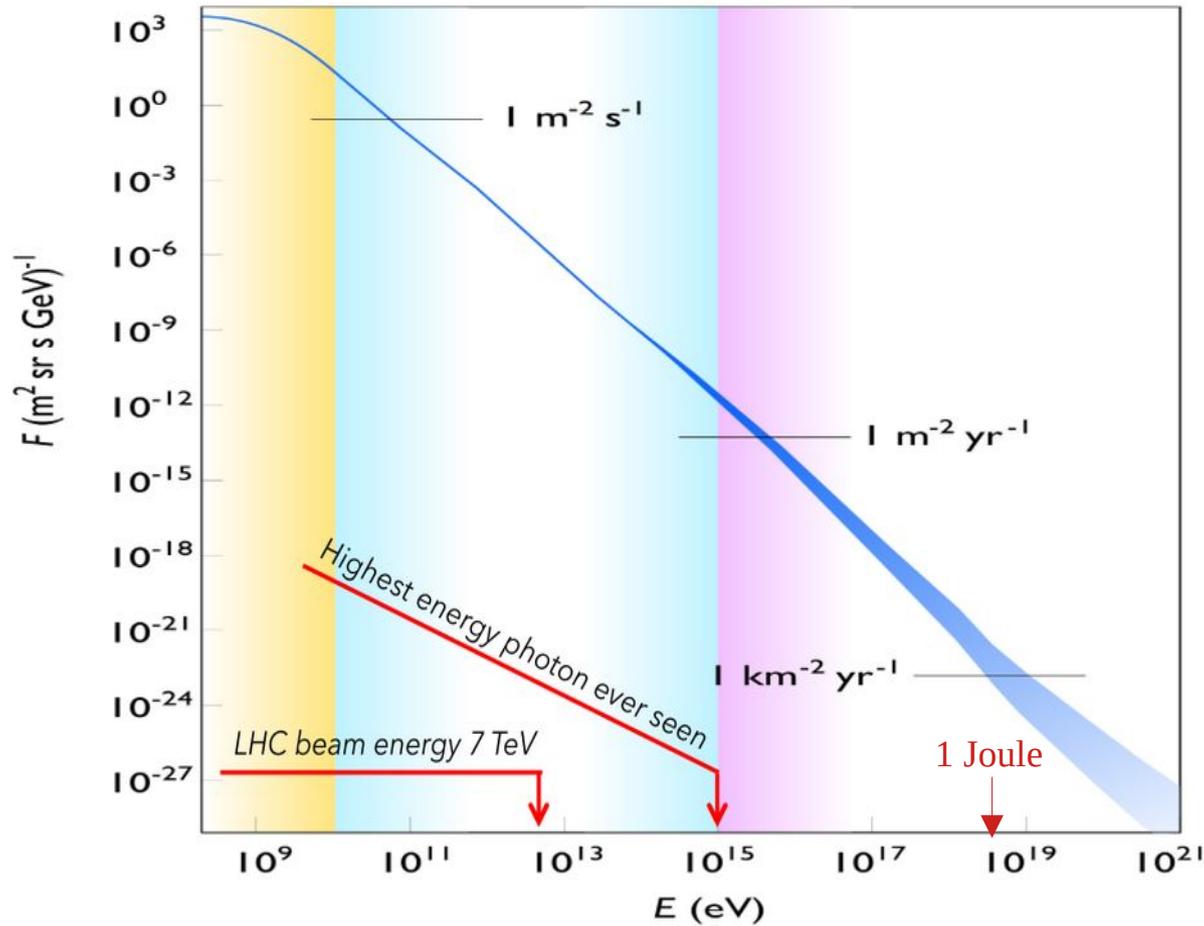
Raios cósmicos de energia extrema



um LHC com o perímetro da órbita de Mercúrio ?



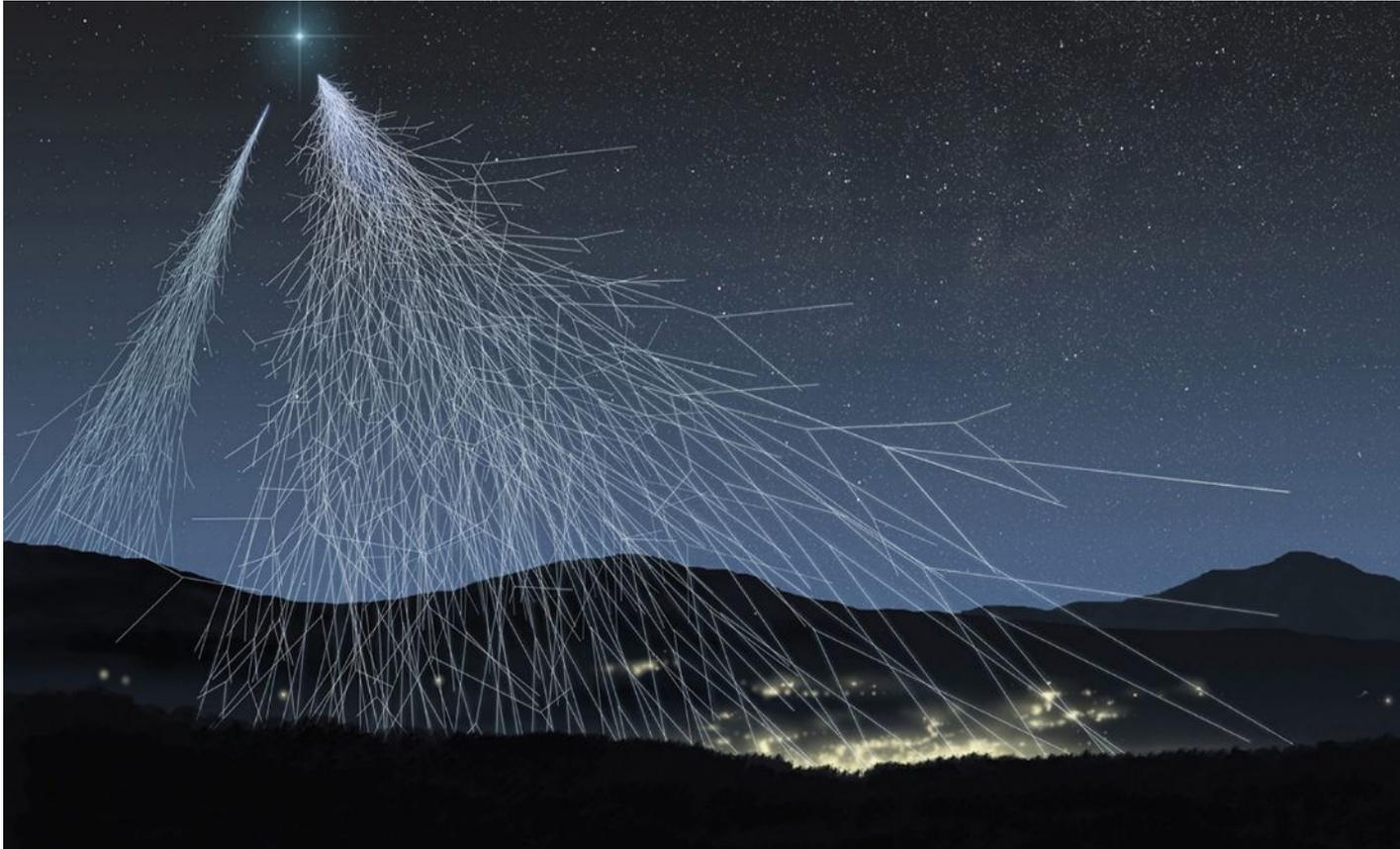
Raios cósmicos de energia extrema



um detetor do tamanho
da ilha da Madeira?



Raios cósmicos de energia extrema



muitas partículas juntas
vão excitar a atmosfera

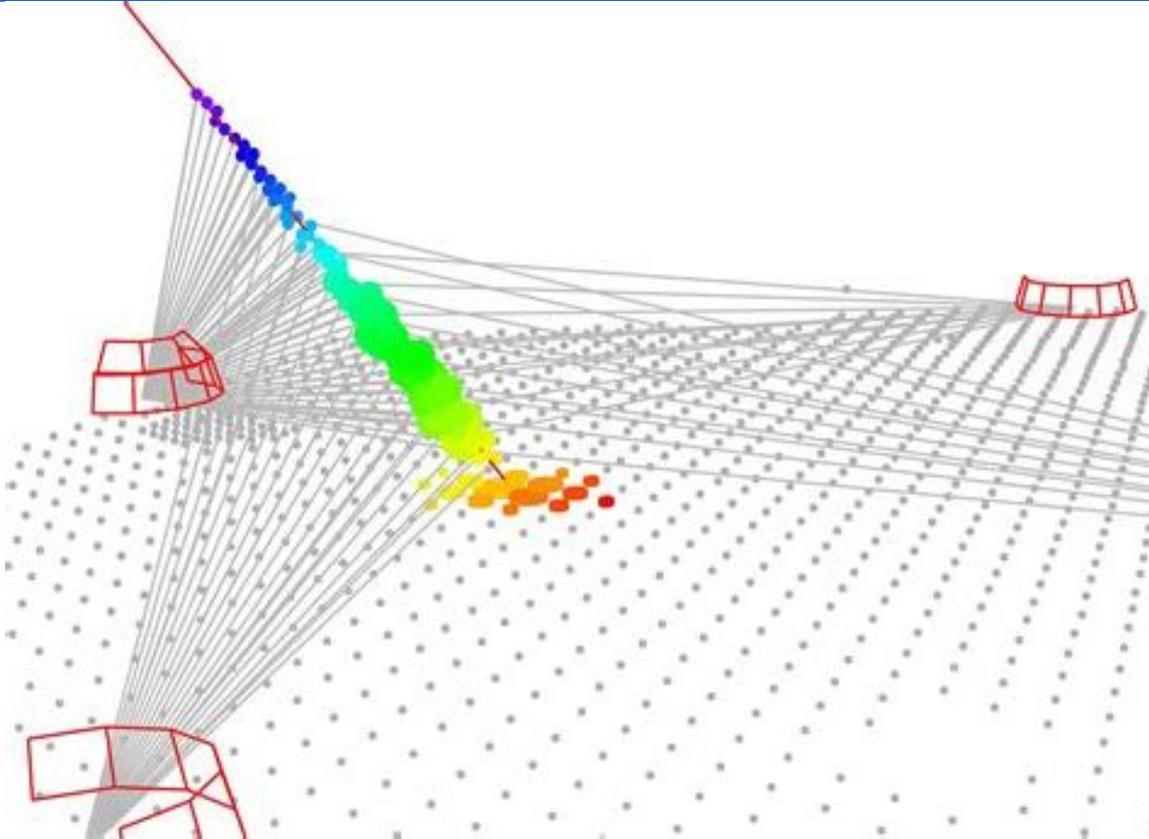
vemos a luz com telescópios
apontados para a frente

algumas chegam ao solo
e podem ser detetadas

com apenas parte delas
estimamos o número total

$$E = mc^2$$

Raios cósmicos de energia extrema



muitas partículas juntas
vão excitar a atmosfera

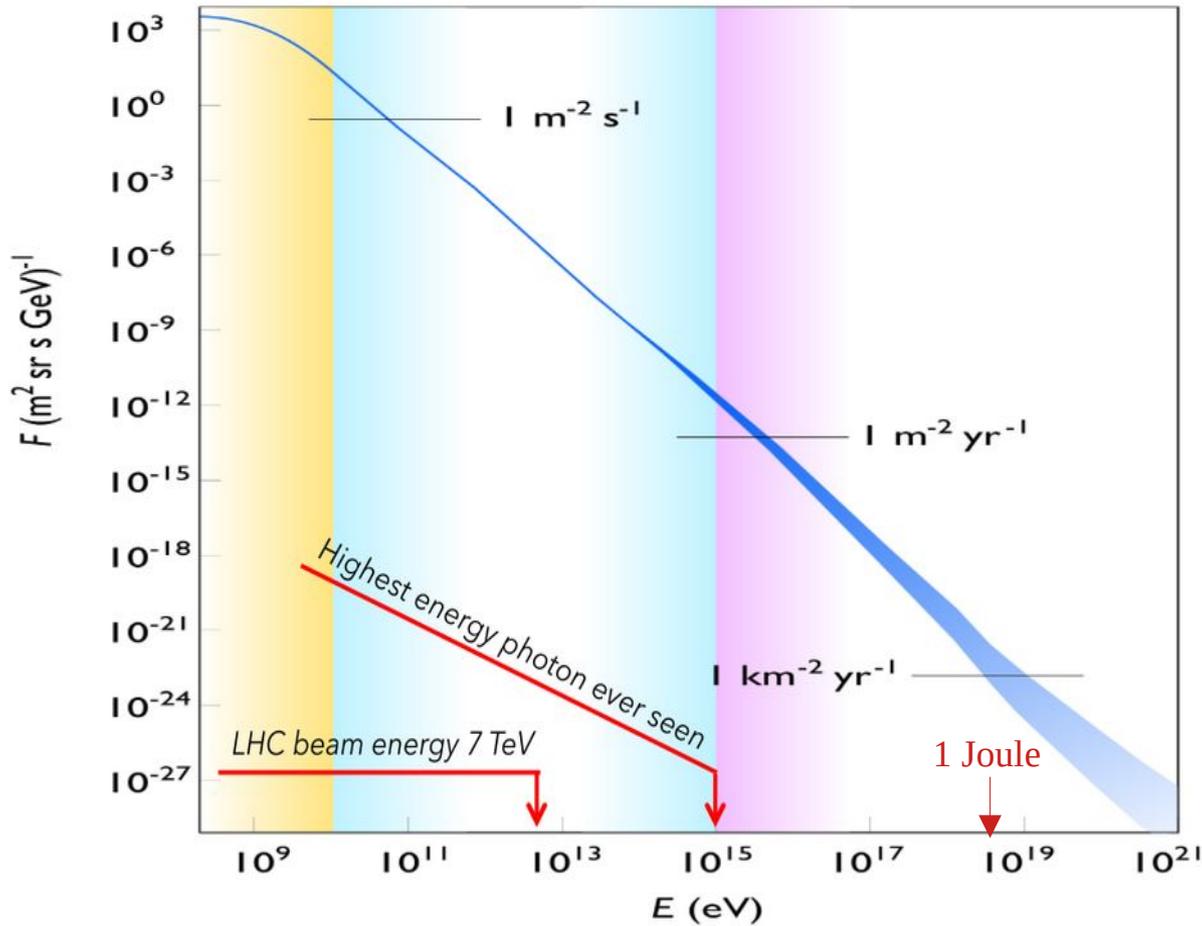
vemos a luz com telescópios
apontados para a frente

algumas chegam ao solo
e podem ser detetadas

com apenas parte delas
estimamos o número total

$$E = mc^2$$

Raios cósmicos de energia extrema



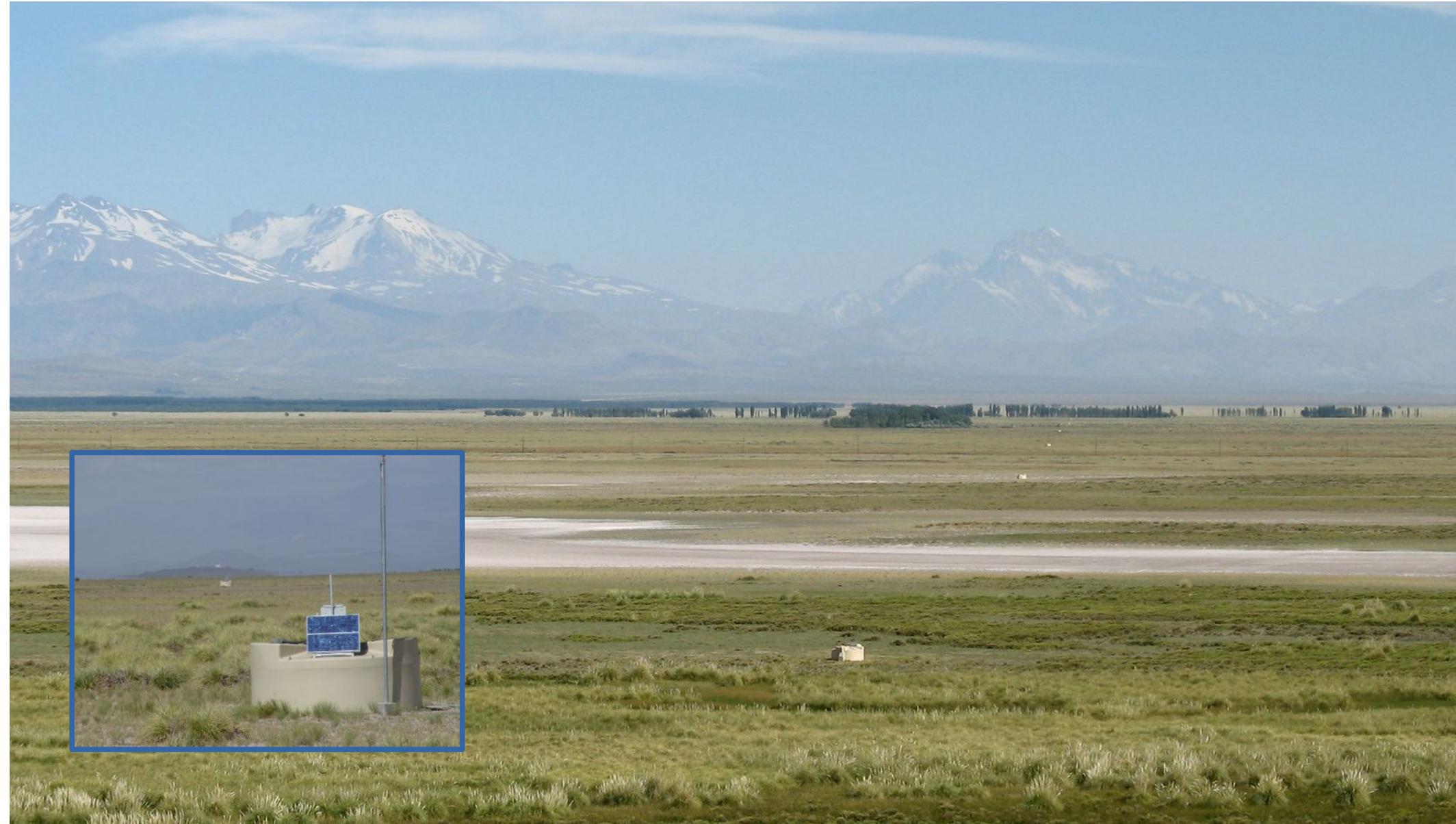
Observatório Pierre Auger
na pampa na Argentina



The Pierre Auger Collaboration

~500 members
from 89 institutions



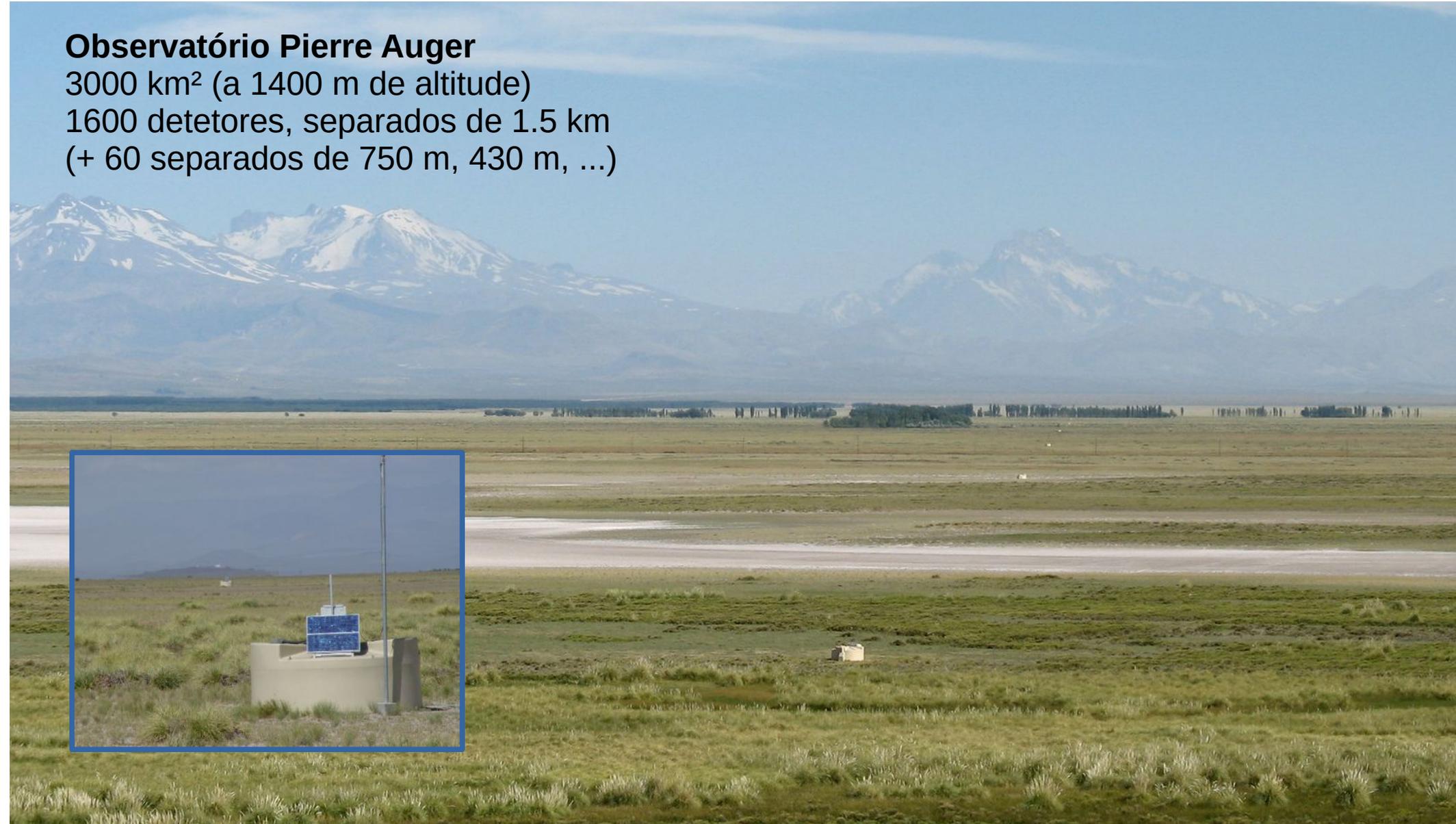


Observatório Pierre Auger

3000 km² (a 1400 m de altitude)

1600 detetores, separados de 1.5 km

(+ 60 separados de 750 m, 430 m, ...)



Water Tank in the Pampa

Communication antenna

GPS antenna

Electronics enclosure
40 MHz FADC, local triggers, 10 Watts

Solar Panel

Battery box

three 9" PMTs

Plastic tank with 12 tons of water



Observatório Pierre Auger

6 x 4 + 3 telescópios de fluorescência



ENERO

LUN	MAR	MIE	JUE	VIE	SAB	DOM
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30	31					

FEBRERO

LUN	MAR	MIE	JUE	VIE	SAB	DOM
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28					

MARZO

LUN	MAR	MIE	JUE	VIE	SAB	DOM
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31		

ABRIL

LUN	MAR	MIE	JUE	VIE	SAB	DOM
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30

MAYO

LUN	MAR	MIE	JUE	VIE	SAB	DOM
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31				

JUNIO

LUN	MAR	MIE	JUE	VIE	SAB	DOM
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30	31					

JULIO

LUN	MAR	MIE	JUE	VIE	SAB	DOM
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30	31					

AGOSTO

LUN	MAR	MIE	JUE	VIE	SAB	DOM
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31		

SEPTIEMBRE

LUN	MAR	MIE	JUE	VIE	SAB	DOM
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30	31					

OCTUBRE

LUN	MAR	MIE	JUE	VIE	SAB	DOM
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30	31					

NOVIEMBRE

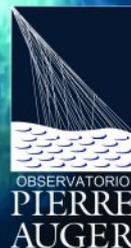
LUN	MAR	MIE	JUE	VIE	SAB	DOM
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30		

DICIEMBRE

LUN	MAR	MIE	JUE	VIE	SAB	DOM
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30	31					

IMPORTANTE

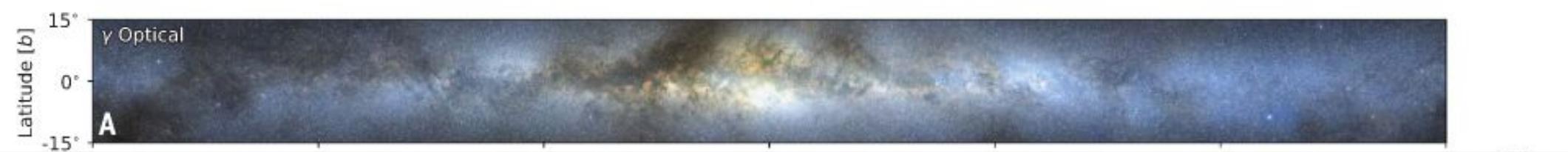
LOS DÍAS MARCADOS EN AMARILLO
CORRESPONDEN A LAS FECHAS
DE NUESTRA TOMA DE DATOS.

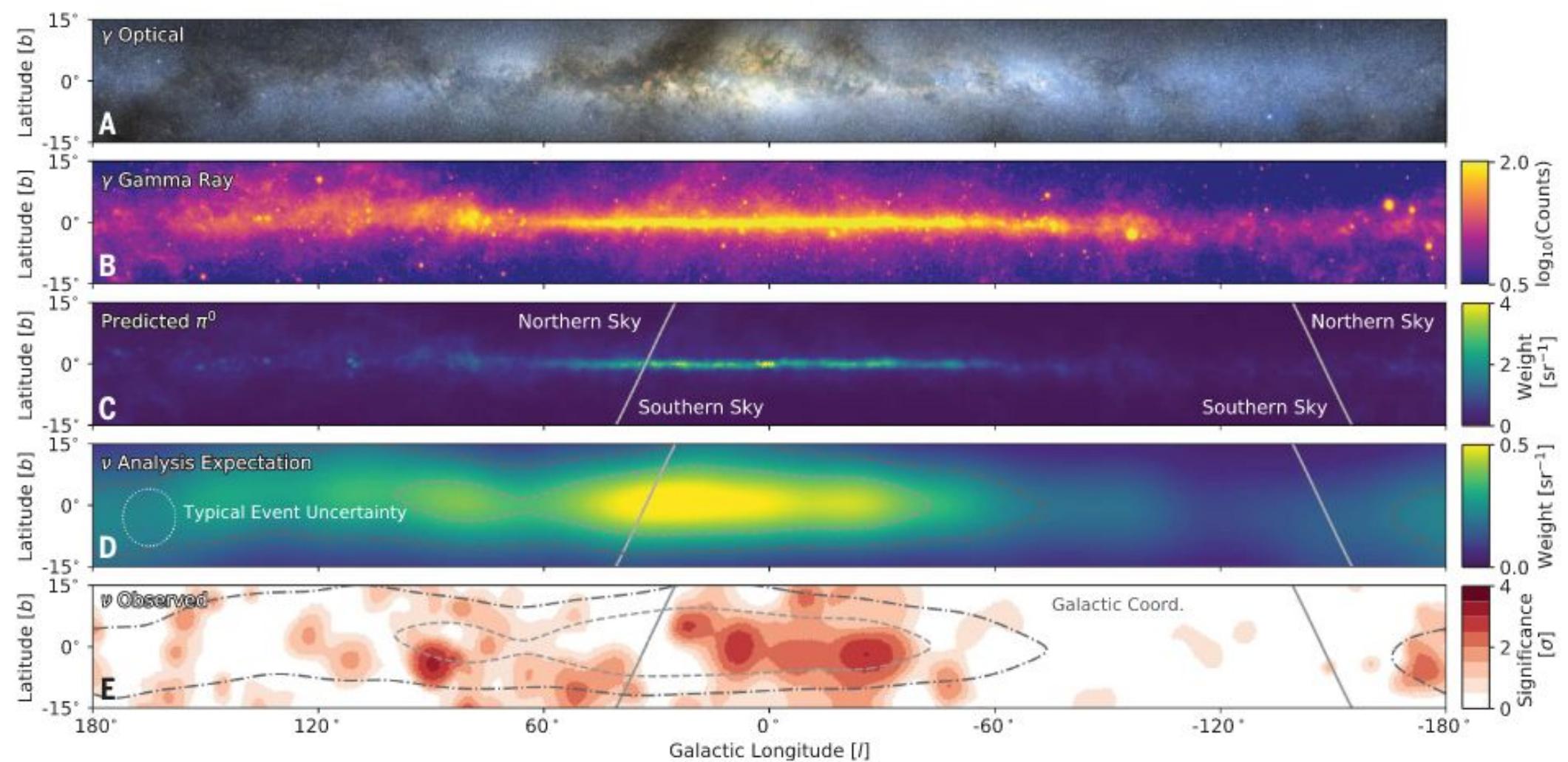


CALENDARIO 2023 SHIFT

LA IMPRUDENCIA ES LA PEQUEÑA CHISPA QUE ENCIENDE GRANDES FUEGOS.
EVITEMOS LOS INCENDIOS DE CAMPO. GRACIAS.

Observatorio Pierre Auger - Av. San Martín Norte 304 - CP. M5613DXQ - Malargüe, Mendoza, Argentina
Tel.: 0260-4471556/62/79 - Web: www.auger.org.ar - E-mail: info@auger.org.ar





Observation of high-energy neutrinos from the Galactic plane

IceCube Collaboration, Science 380, 1338–1343 (2023) 30 June 2023

hoje vamos fazer o mesmo mapa mas para raios cósmicos carregados

1. que detetores de superfície viram partículas deste raio cósmico ?

algumas podem ter visto outros muões isolados (~ 1 / estação / segundo !)

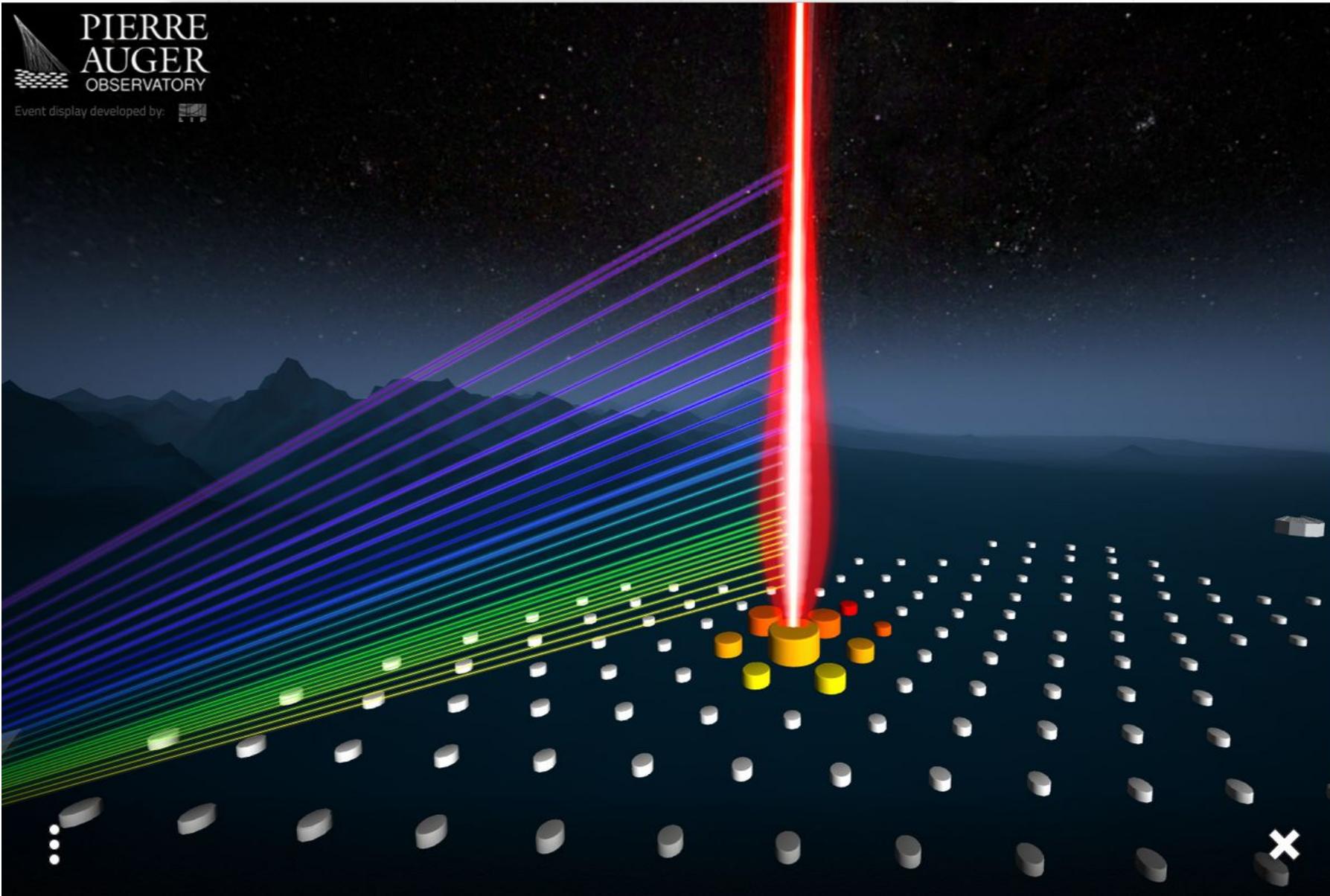
2. de que direção chegou este raio cósmico ?

visto do chão, qual a sua inclinação (θ) e a direção Norte - Sul (φ)

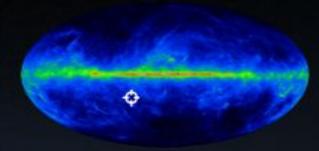
3. a energia deste raio cósmico é suficiente?

o tamanho da cascata de partículas aumenta com a energia ($E = mc^2$!)

qual é a sua origem no Universo?



Event ID: 62394571900
Date: 28 Aug 2006
Time: 01:42:24
Reconstruction: SD
Theta: 40.39°
Phi: 271.17°
Energy: 8.81 EeV



Galactic Longitude: 319.13°
Galactic Latitude: -25.51°

Number of Stations: 10

ID	Time	Signal
923		
931		
1020		
1022		
965		
1038		
997		
1035		
1040		
1034		



Select a Station

de onde chegam?

