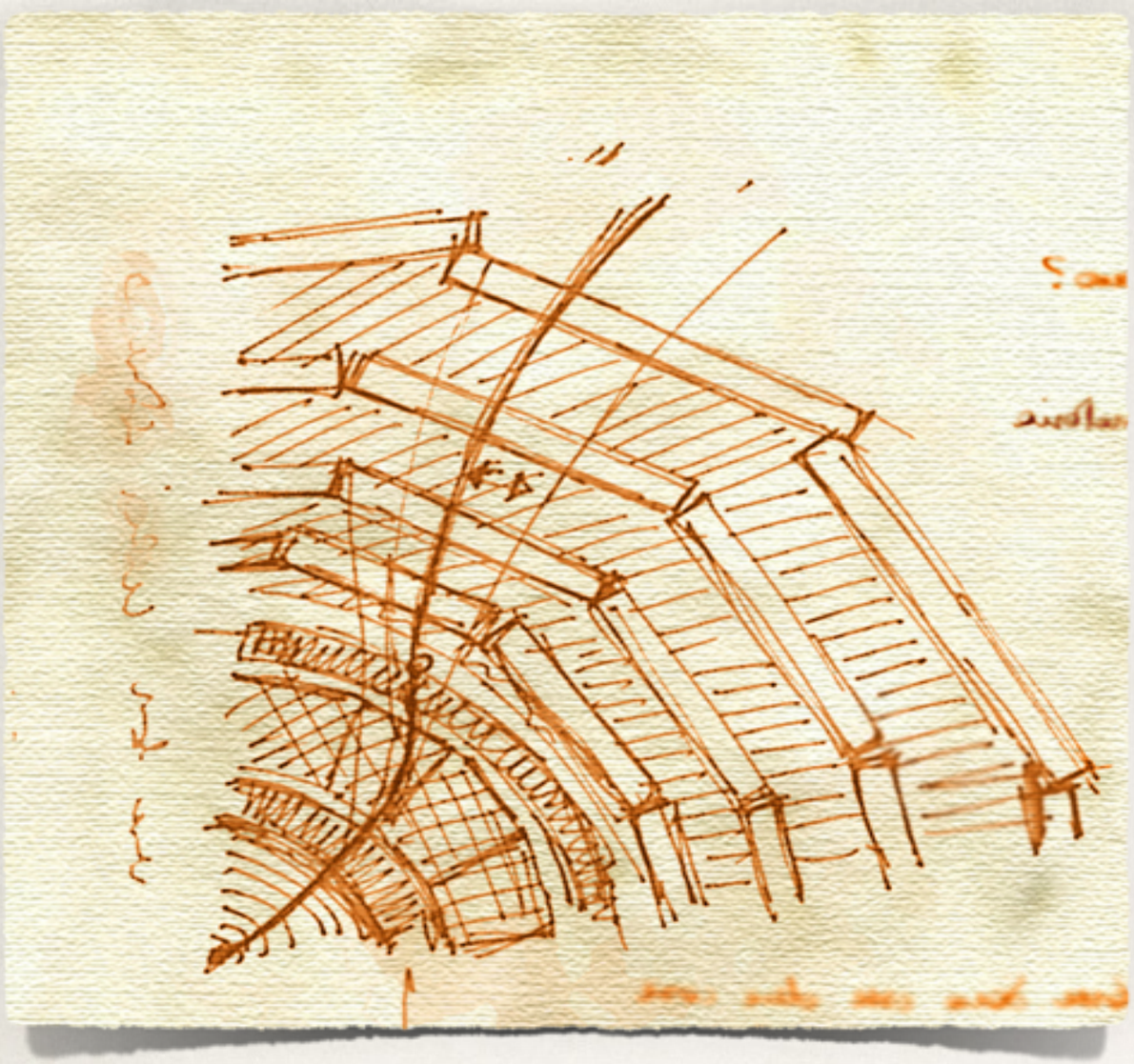


XI Escola do CBPF

Curso de Pós-Graduação

Notas de Aula

A Física dos Detectores de Partículas

Dr Arthur M. Moraes - CBPF (web-page: http://cern.ch/amoraes)

17 de Julho de 2017

CBPF
Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas

Notas de Aula: onde encontra-las?

https://amoraes.web.cern.ch/amoraes/escola-cbpf-2017/

http://cern.ch/amoraes

Introdução

Este curso apresentará a física dos detectores de partículas.
Os detectores de partículas são instrumentos indispensáveis à exploração do mundo subatômico, seja nos laboratórios onde se fazem colisões de partículas subatômicas, seja em experimentos que se utilizam de raios cósmicos.

Discutiremos os princípios físicos da interação da radiação com a matéria, o histórico do desenvolvimento dos detectores, técnicas de detecção de partículas neutras e carregadas, aplicações tecnológicas dos detectores fora dos laboratórios de física das partículas elementares.

http://cern.ch/amoraes

Introdução

Programa do Curso:

Aula 1: De Rutherford ao LHC: Desenvolvimento dos detectores ao longo da história da física das partículas elementares. (2ªf. 17/07)

Aula 2: Interações das partículas com a matéria. (3ªf. 18/07)

Aula 3: Detectando partículas carregadas & neutras. (5ªf. 20/07)

Aula 4: Cintiladores: detectando partículas via luminescência. (6ªf. 21/07)

Aula 5: Detectores de semicondutores: medidas de alta precisão. (2ªf. 24/07)

Aula 6: Detectores de gás: medindo partículas em grandes volumes. (3ªf. 25/07)

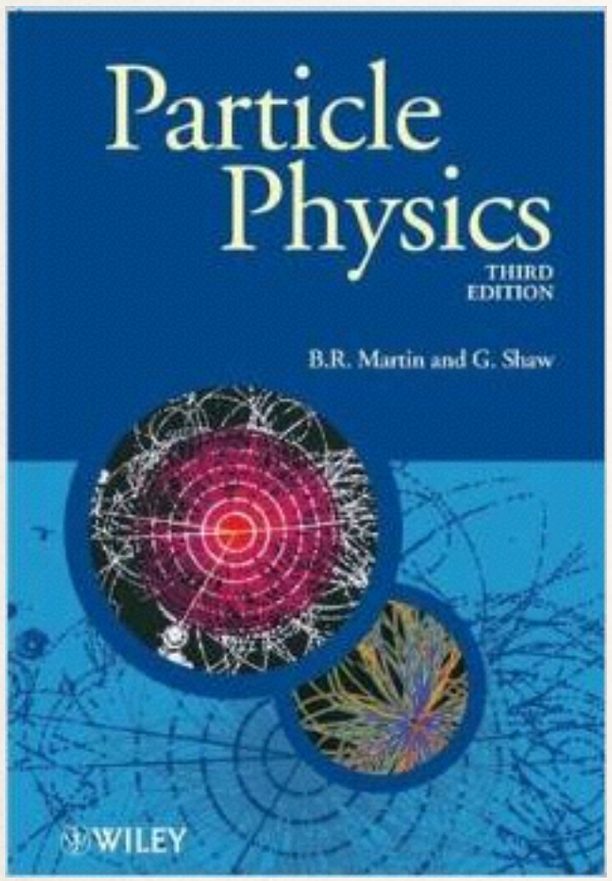
Aula 7: Calorímetros: eletromagnéticos & hadrônicos. (5ªf. 27/07)

Aula 8: Exemplos de aplicações dos detectores em várias áreas. (6ªf. 28/07)

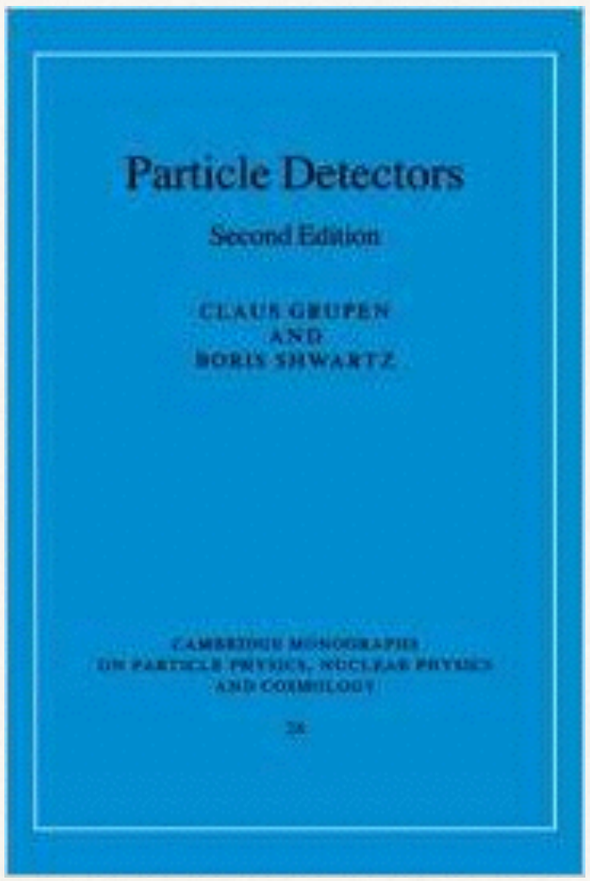
http://cern.ch/amoraes

Introdução

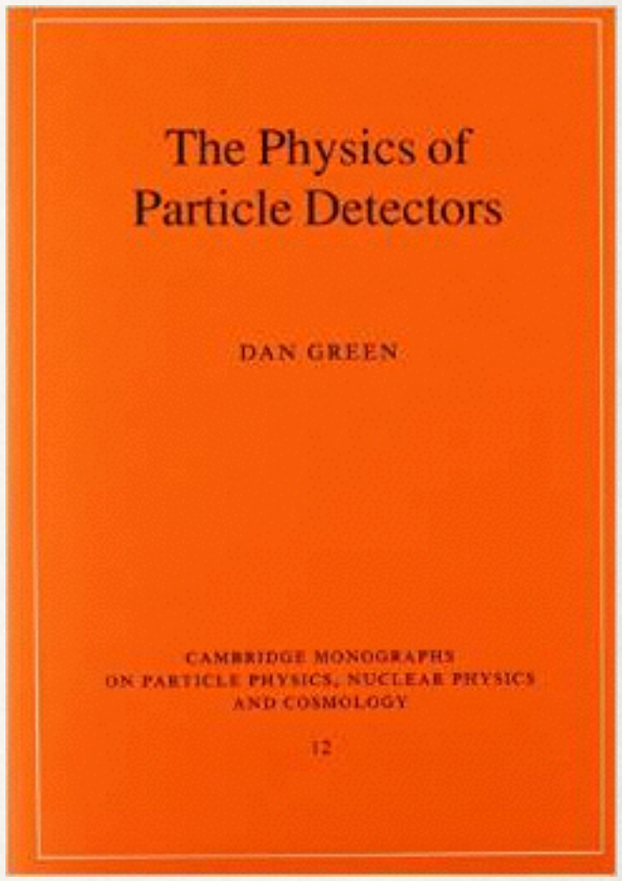
Literatura recomendada:



Particle Physics, 3rd edition
Martin, B R ; Shaw, G
New York, NY : Wiley, 2008.



Particle detectors, 2nd edition (2008)
Grupen, Claus ; Böhrer, Armin (ed.) ; Smolik, Ludek (ed.)
Cambridge : Cambridge Univ. Press, 1996.



The Physics of Particle Detectors, 1st edition (2000)
Green, DanG
Cambridge Monographs on Particle Physics, Nuclear Physics and Cosmology (Book 12)
Cambridge : Cambridge Univ. Press.

http://cern.ch/amoraes

Introdução

Sobre o autor/professor:



- Pesquisador Adjunto - CBPF/COHEP

  Membro da Colaboração CMS

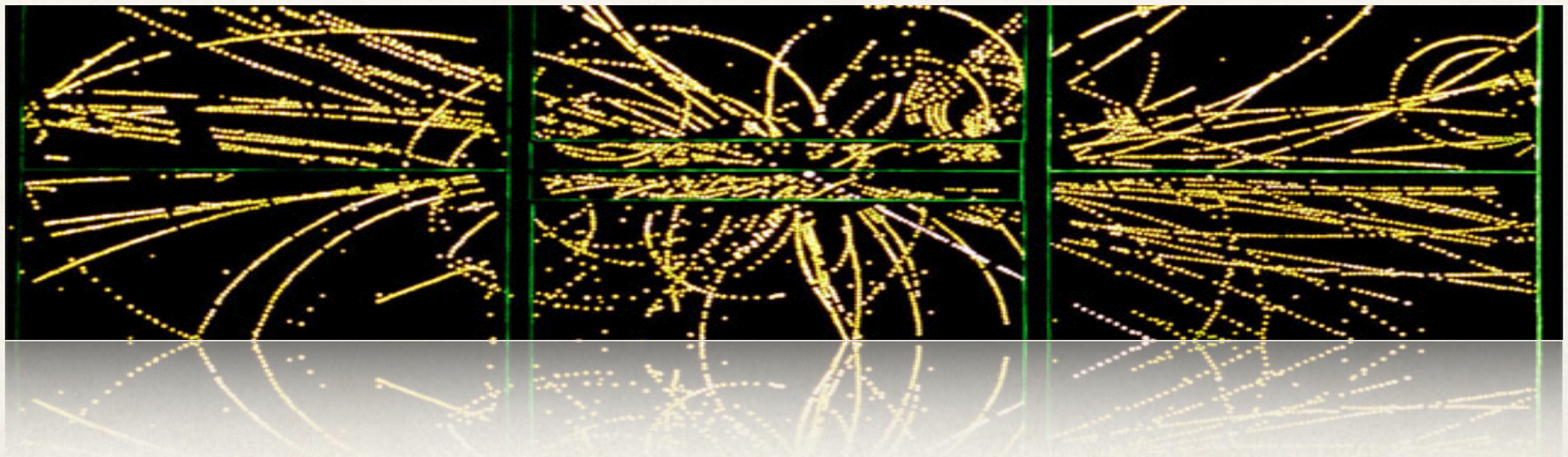
  Membro da Coordenação de Física
  Coordenador do grupo "Forward nas Soft QCD"
  Membro do CMS Publications Committee.

e-mail: amoraes@cbpf.br
web-page: http://cern.ch/amoraes
Sala 504-D
Tel.: (21) 2141-7384

Aula 1

De Rutherford ao LHC: Desenvolvimento dos detectores ao longo da história da física das partículas elementares.

Detectores de Partículas: enxergando radiações



http://cern.ch/amoraes



http://cern.ch/amoraes

Desenvolvimento histórico

Detecção de radiação α, β e γ

1896

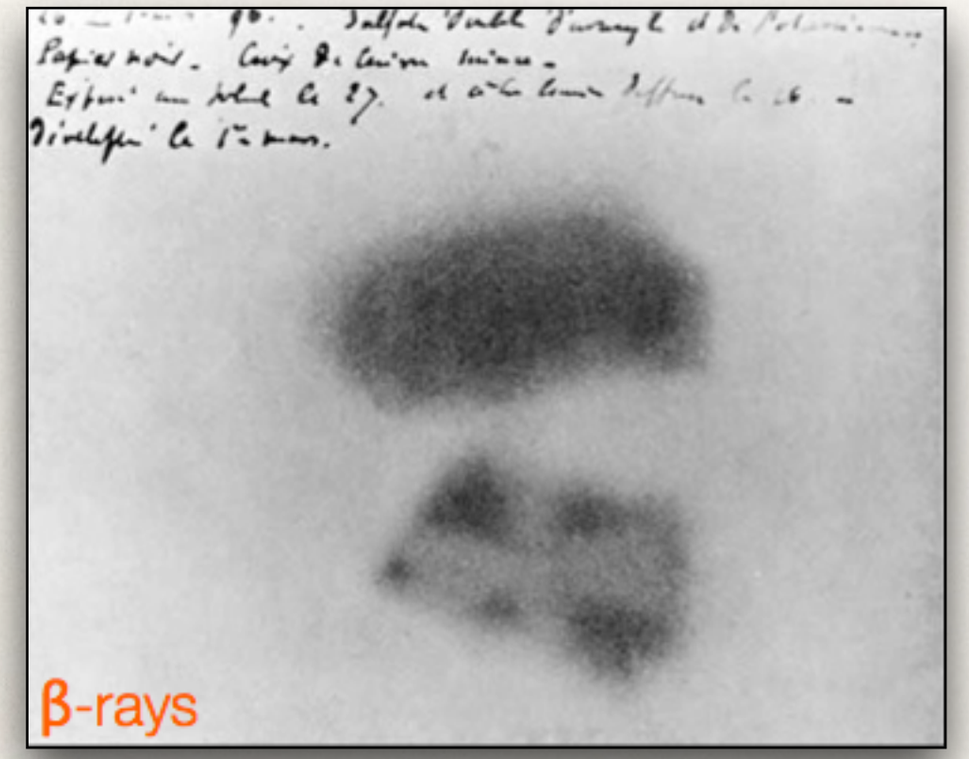


Imagem de uma placa fotográfica de Becquerel "manchada" pela exposição à radiação do sal de urânio.

1896



Imagem de raio-X tirada por Wilhelm Röntgen em uma aula pública em 23 de janeiro de 1896.

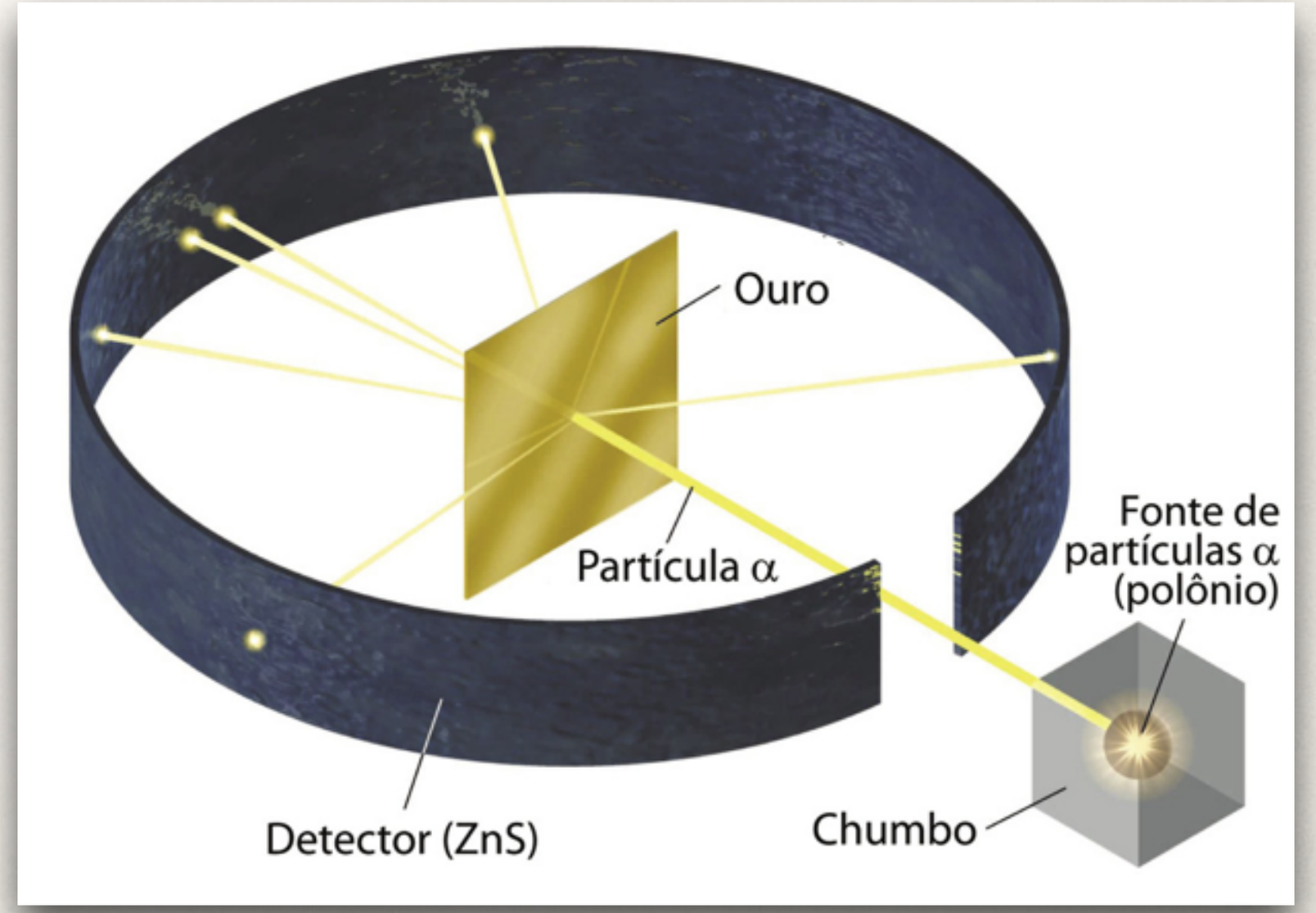
http://cern.ch/amoraes

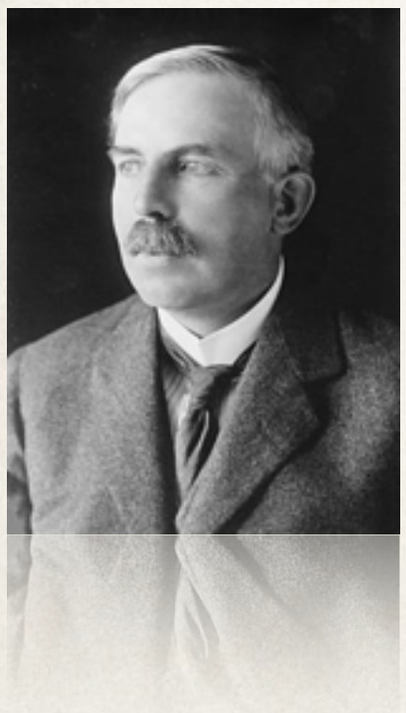
Desenvolvimento histórico

1911

Experimento de espalhamento de Rutherford.

Descoberta do núcleo atômico.





http://cern.ch/amoraes

Desenvolvimento histórico

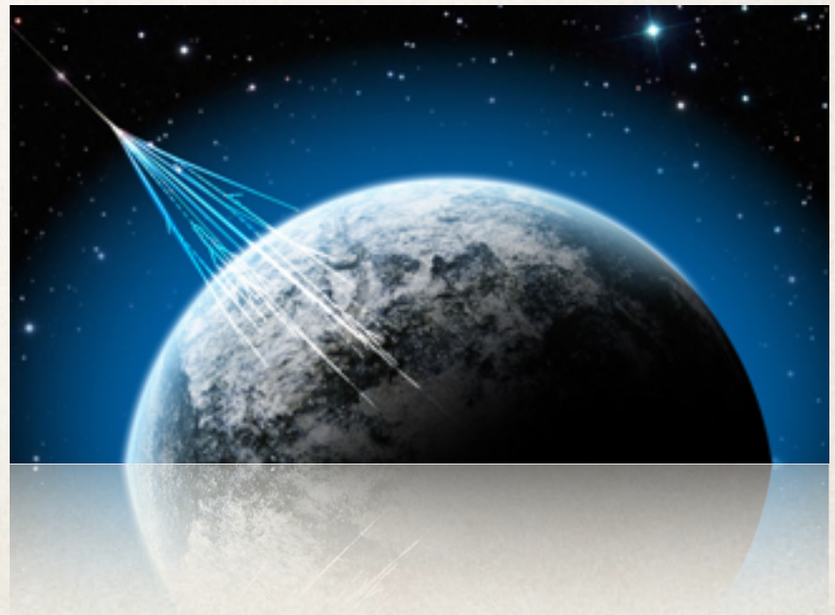
1912



Detecção de Raios Cósmicos

Victor F. Hess

Voo de balão na Áustria em 1912, quando descobriu raios cósmicos.



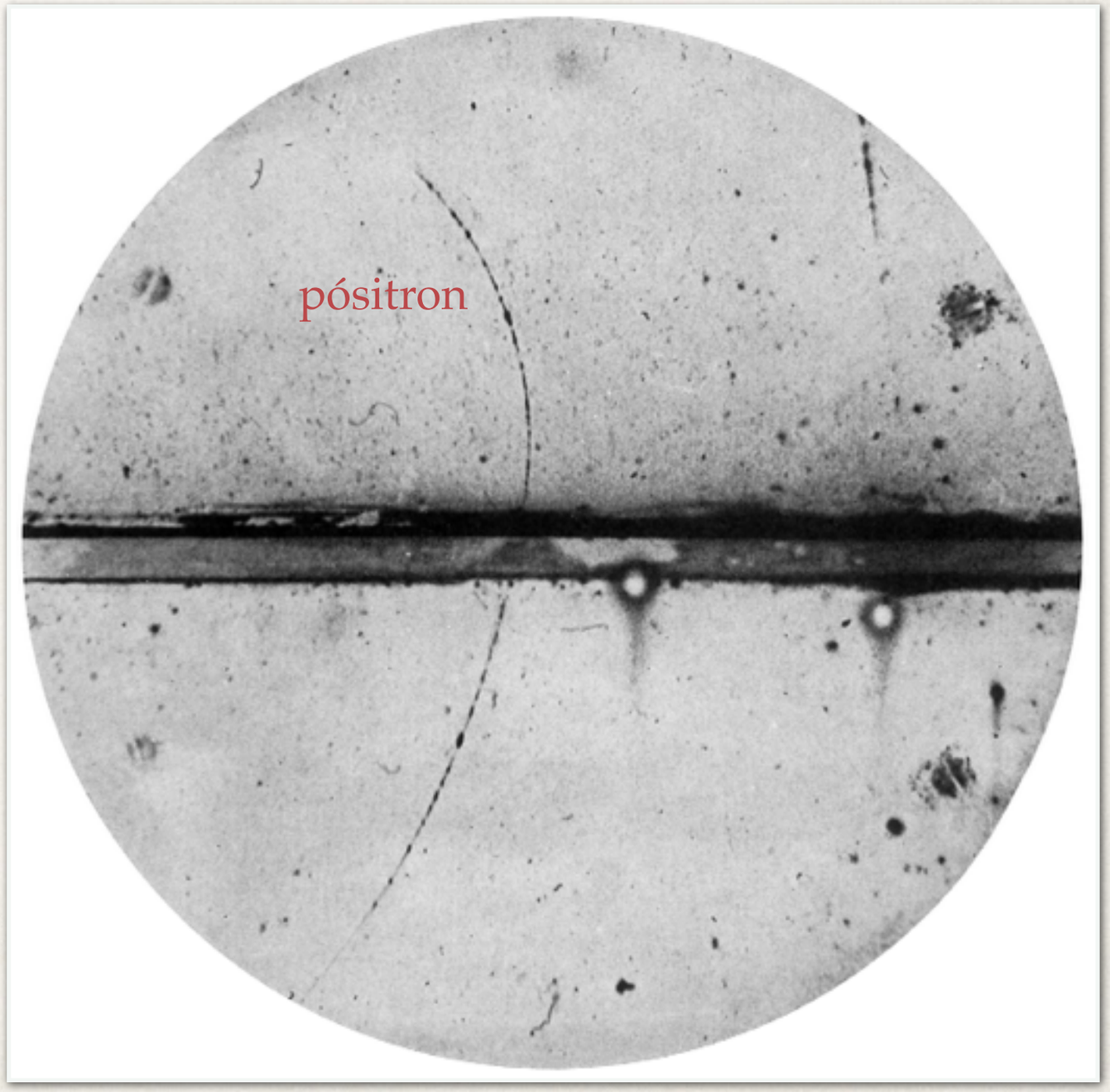
http://cern.ch/amoraes

Desenvolvimento histórico

1932

Descoberta da Anti-matéria

C. D. Anderson - 1932



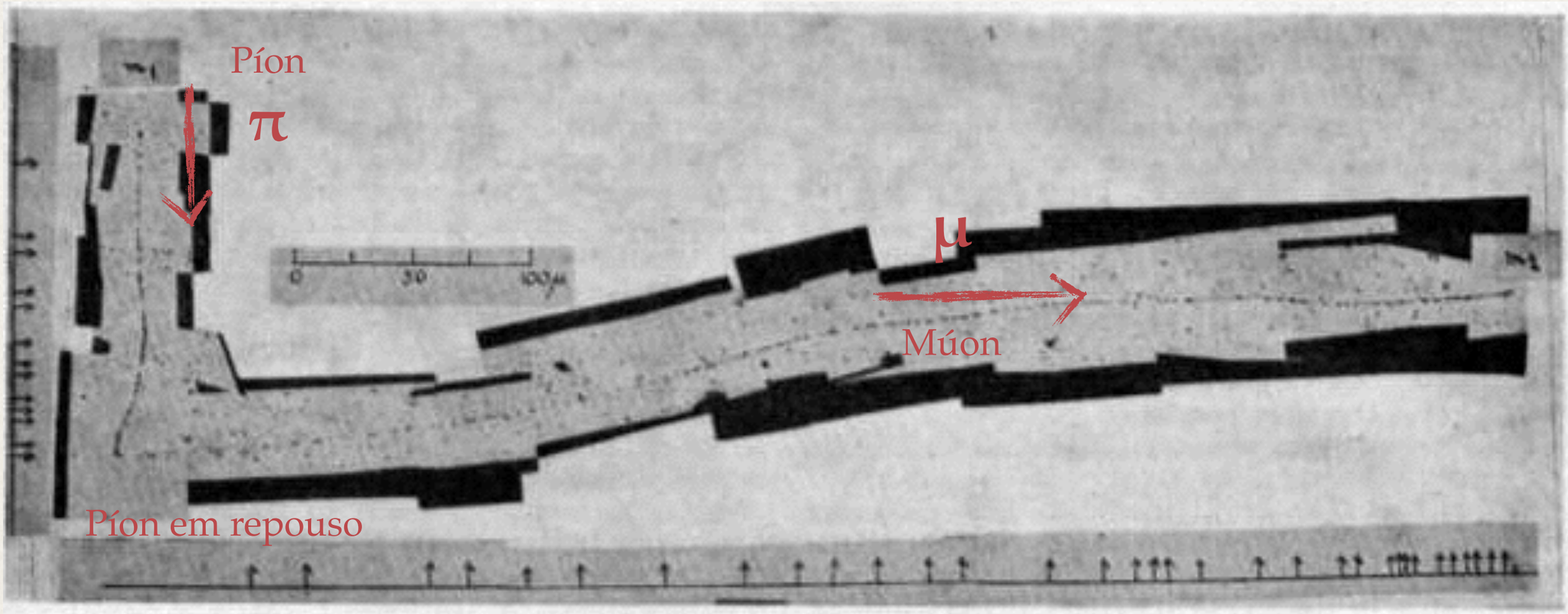
Pósitron de 63MeV
atravessando placa de chumbo

Cumprimento é 10 vezes maior do que um próton apresentaria para a mesma curvatura da trajetória

http://cern.ch/amoraes

Desenvolvimento histórico

1947



$\pi \rightarrow \mu\nu$

$\mu \rightarrow e\nu\nu$

Descoberta do píon (ou "méson pi")

Lattes, Occhialini e Powell - 1947

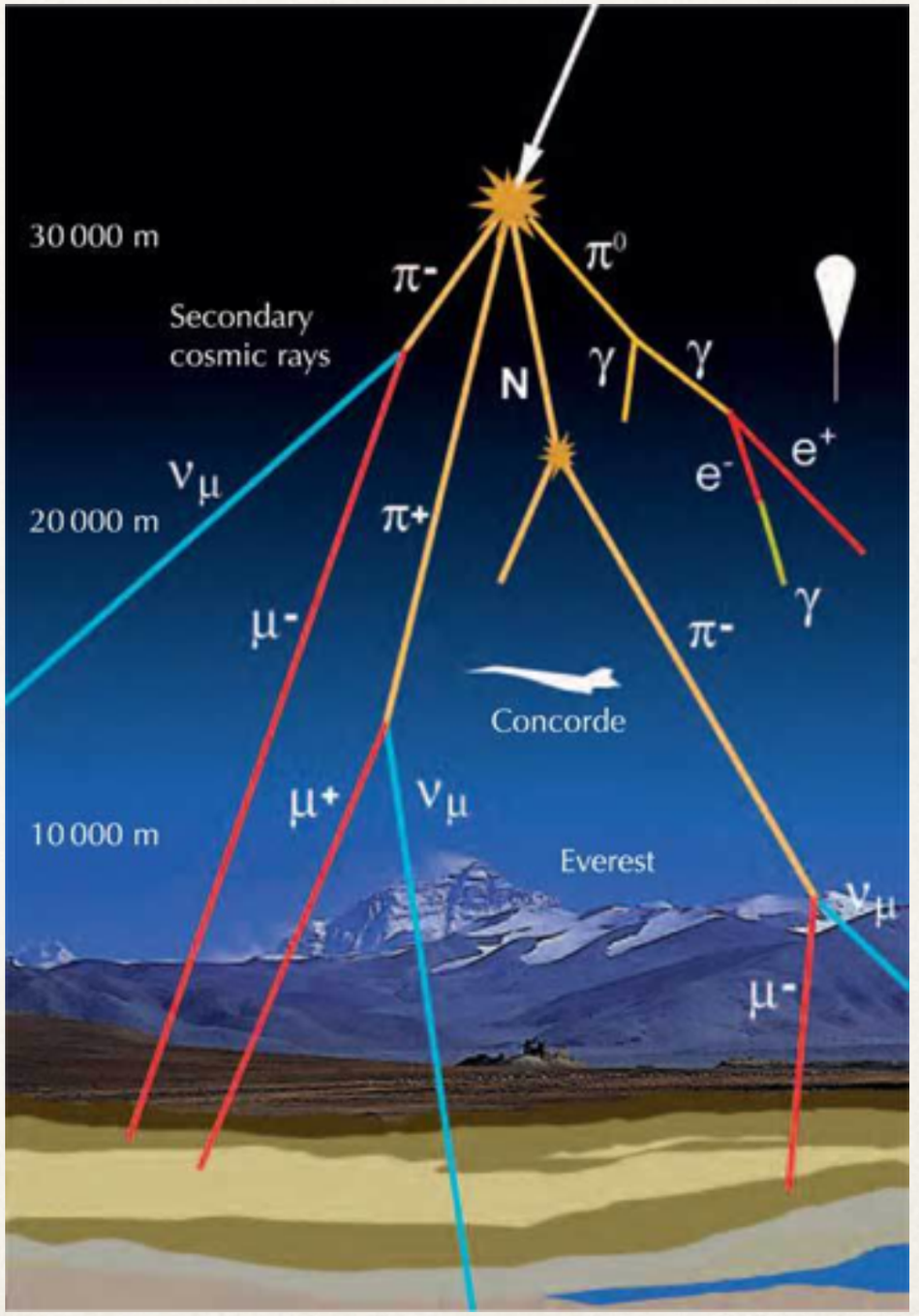
Técnica de Emulsão Nuclear

http://cern.ch/amoraes

Desenvolvimento histórico



C. Lattes - Chacaltaya, Bolívia



http://cern.ch/amoraes

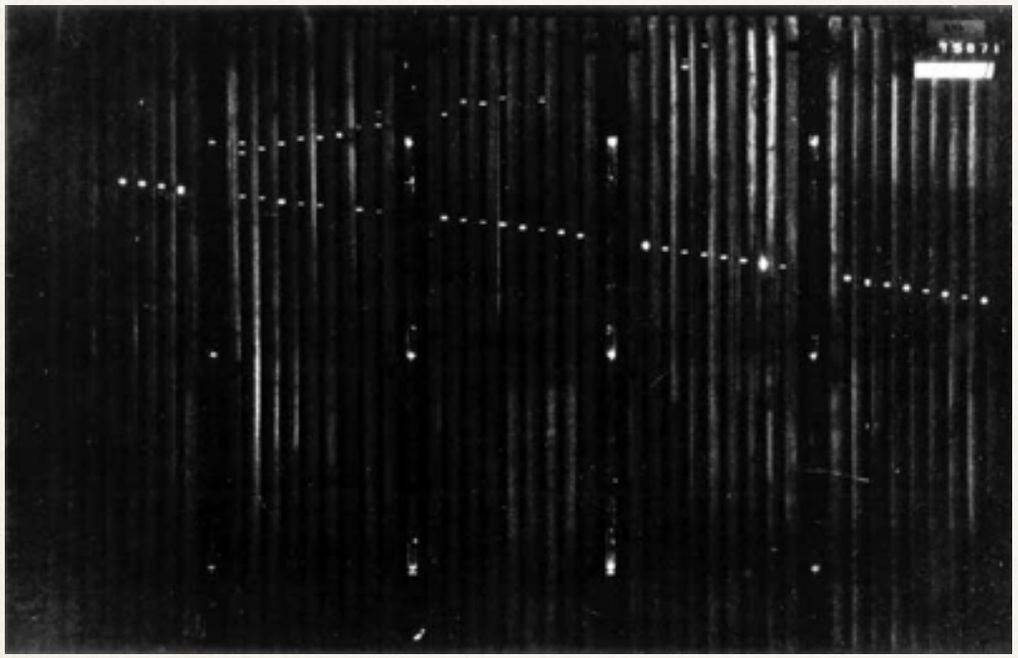
Desenvolvimento histórico

1962

Descoberta do neutrino-múon (ν_μ)

Lederman, Schwartz, Steinberger - 1962

Câmara de centelhas



Evento mostrando a passagem de um μ.



Schwartz em frente à câmara de centelhas onde foi descoberto o ν_μ

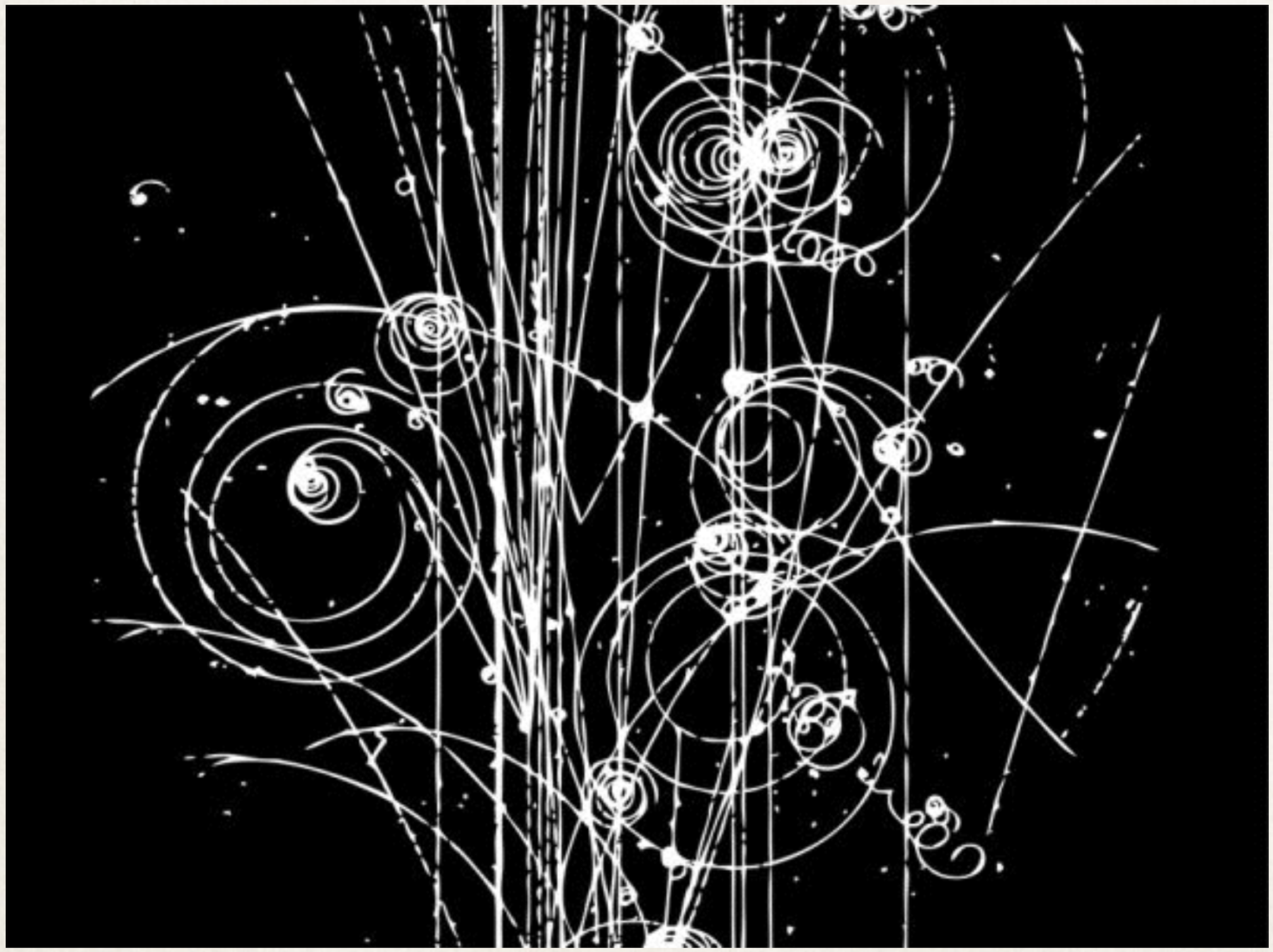
http://cern.ch/amoraes

Desenvolvimento histórico

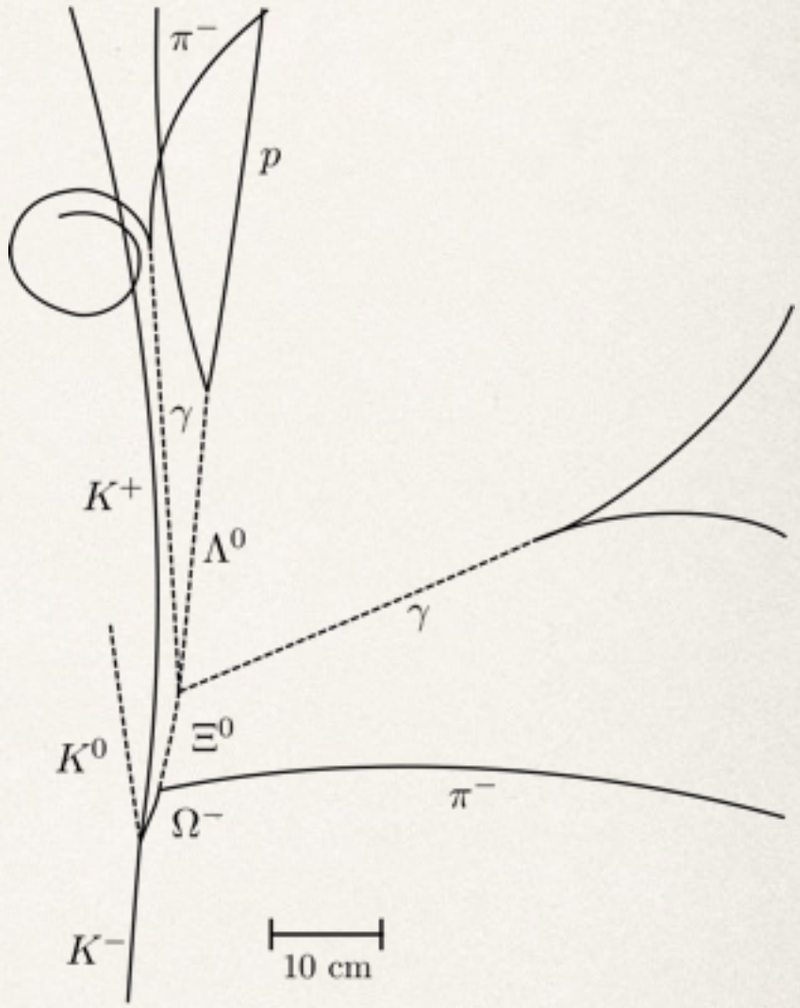
1964

Primeira observação de um evento Ω^-

Câmara de bolhas - BNL



http://cern.ch/amoraes

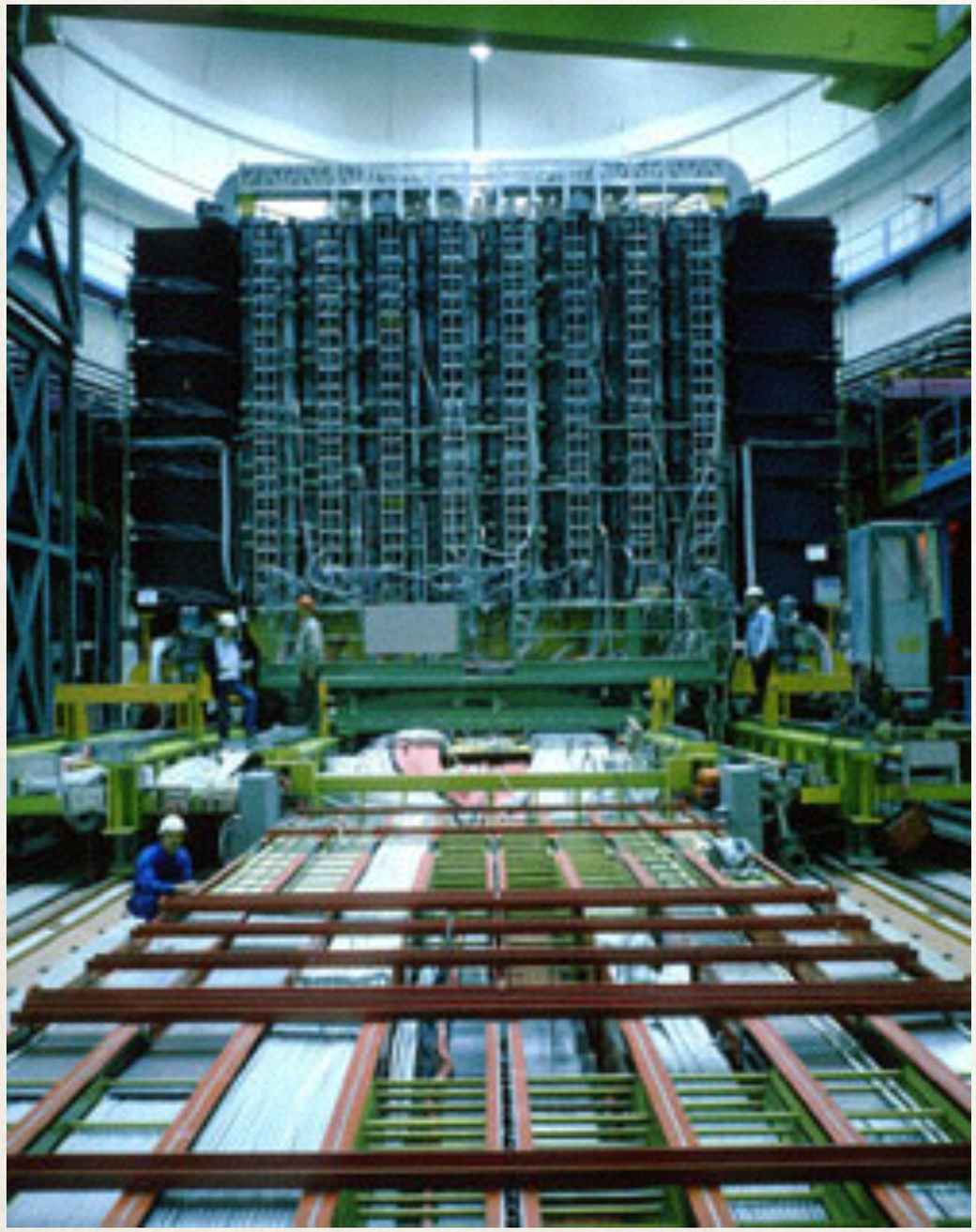


Confirmação do modelo dos quarks

Desenvolvimento histórico

1983

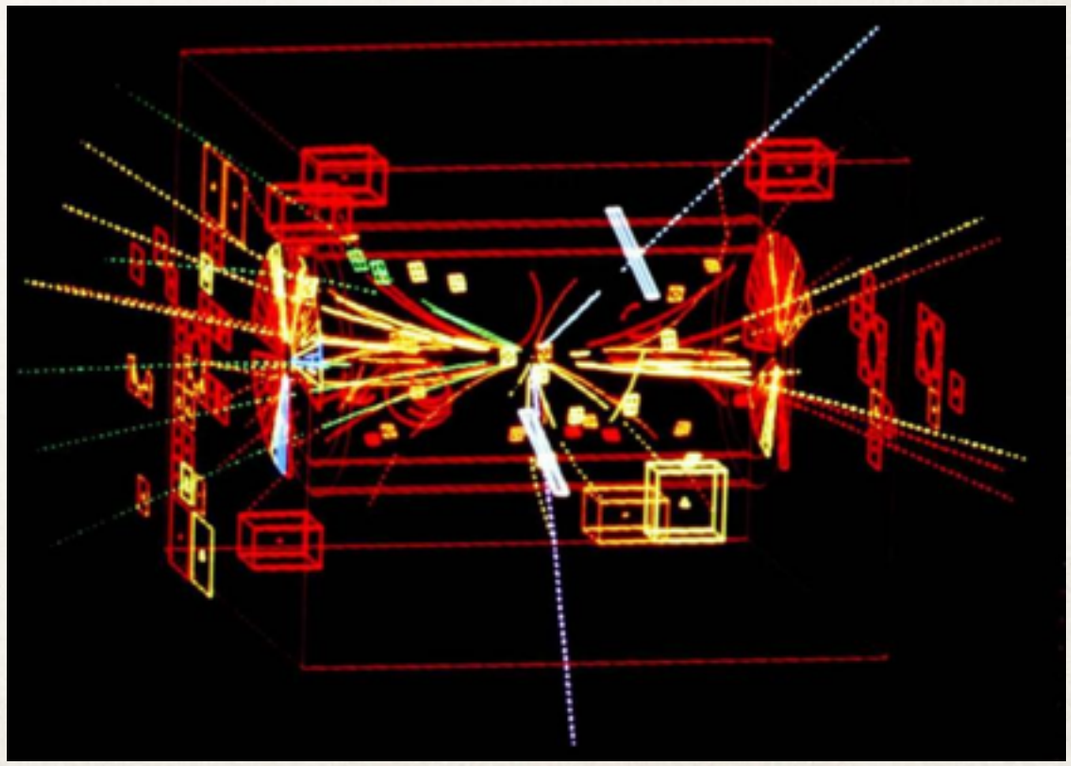
Detector UA1



Descoberta dos bósons W/Z

Rubia, Van der Meer

Primeira observação do bóson Z no UA1



http://cern.ch/amoraes

Lista de (alguns) Prêmios Nobel relevantes ao estudo da detecção de partículas

1901	Physics	Wilhelm C. Röntgen	X-rays (1896) [Photographic plate]
1903	Physics	Antoine H. Becquerel Marie Curie Pierre Curie	Radioactivity (1896/99) [Photographic plate & electrometer]
1905	Physics	Philipp Lenard	Lenard window (1904) [Phosphorescent material]
1908	Chemistry	Ernest Rutherford	Atomic nucleus (1911) [Scintillating crystals]
1927	Physics	Charles T. R. Wilson	Cloud chamber (1912)
1935	Physics	James Chadwick	Neutron discovery (1932) [Ionization chamber]
1936	Physics	Victor F. Hess Carl D. Anderson	Cosmic rays (1912) Positron discovery (1932) [Electrometer & cloud chamber]

http://cern.ch/amoraes

Lista de (alguns) Prêmios Nobel relevantes ao estudo da detecção de partículas

1948	Physics	Patrick M. S. Blackett	e^+e^- Production ... (1933) [Advanced cloud chambers]
1950	Physics	Cecil F. Powell	Pion discovery (1947) [Photographic emulsion]
1953	Physics	Walter Bothe	Coincidence method (1924)
1958	Physics	Pavel A. Cherenkov	Cherenkov effect (1934)
1959	Physics	Emilio G. Segrè Owen Chamberlain	Antiproton discovery (1955) [Spectrometer; Cherenkov counter ...]
1960	Physics	Donald A. Glaser	Bubble chamber (1953)
1976	Physics	Burton Richter Samuel C.C. Ting	J/ψ discovery (1974) [AGS Synchrotron; pBe collisions] [SLAC e^+e^- collider; MARK I]
1980	Physics	James Cronin Val Fitch	CP violation (1963) [Spark chamber; spectrometer]

http://cern.ch/amoraes

Lista de (alguns) Prêmios Nobel relevantes ao estudo da detecção de partículas

1984	Physics	Carlo Rubbia, Simon Van der Meer	W/Z discovery (1983) [SPS; 4π multi-purpose detector]
1988	Physics	Leon M. Lederman Melvin Schwartz Jack Steinberger	Muon neutrino (1962) [Neutrino beam; spark chambers]
1990	Physics	Jerome I. Friedman Henry W. Kendall Richard E. Taylor	Proton structure (1972+) [ep scattering; spectrometer]
1989	Physics	Hans G. Dehmelt Wolfgang Paul	Electron g-2 (1986) [Ion trap technique]
1992	Physics	Georges Charpak	Multi-Wire Chamber (1968)
2002	Physics	Raymond Davis Jr. Masatoshi Koshiba	Cosmic neutrino (1986) [Large area neutrino detector]

http://cern.ch/amoraes

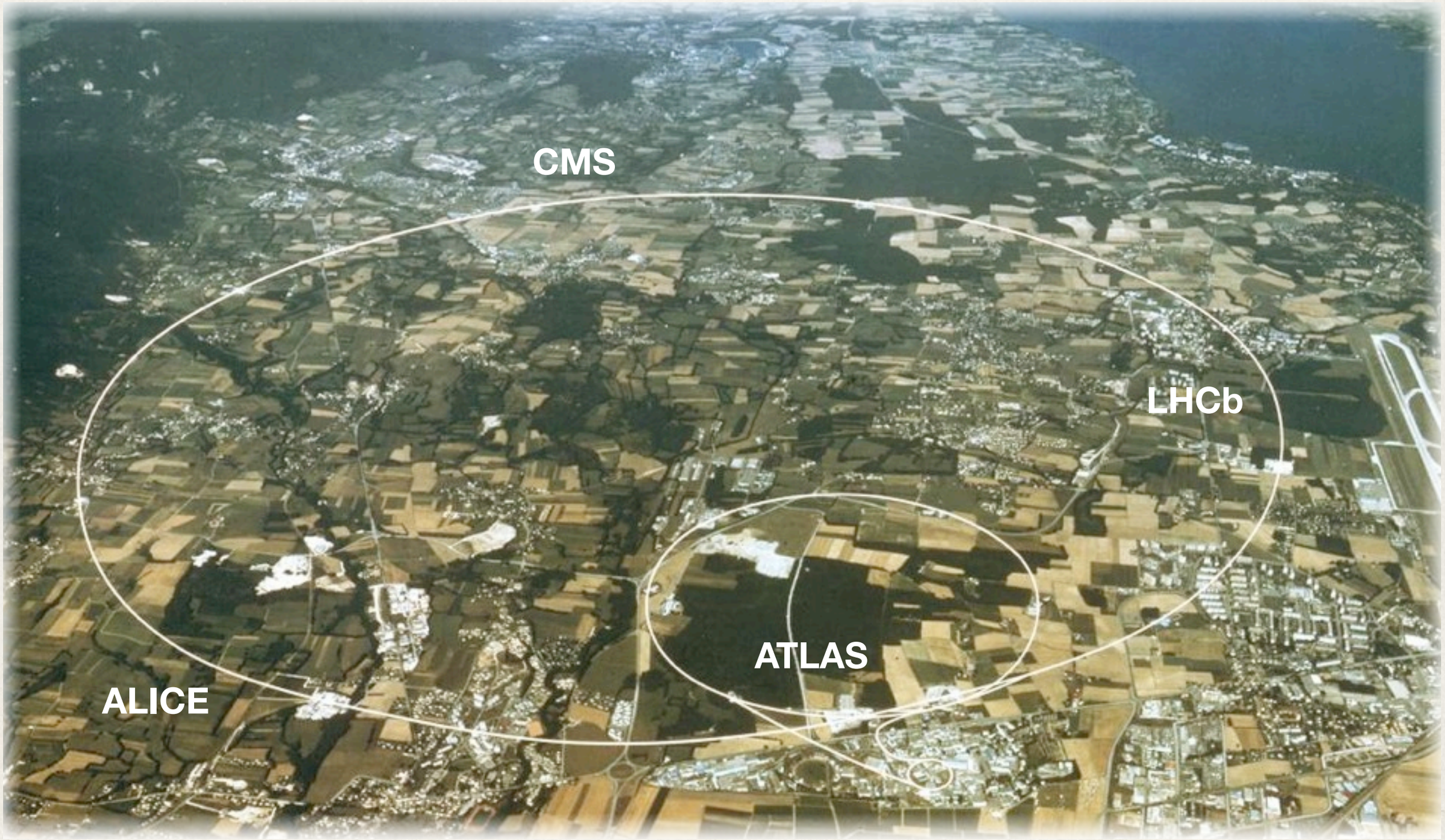
Exemplos modernos de detectores de partículas





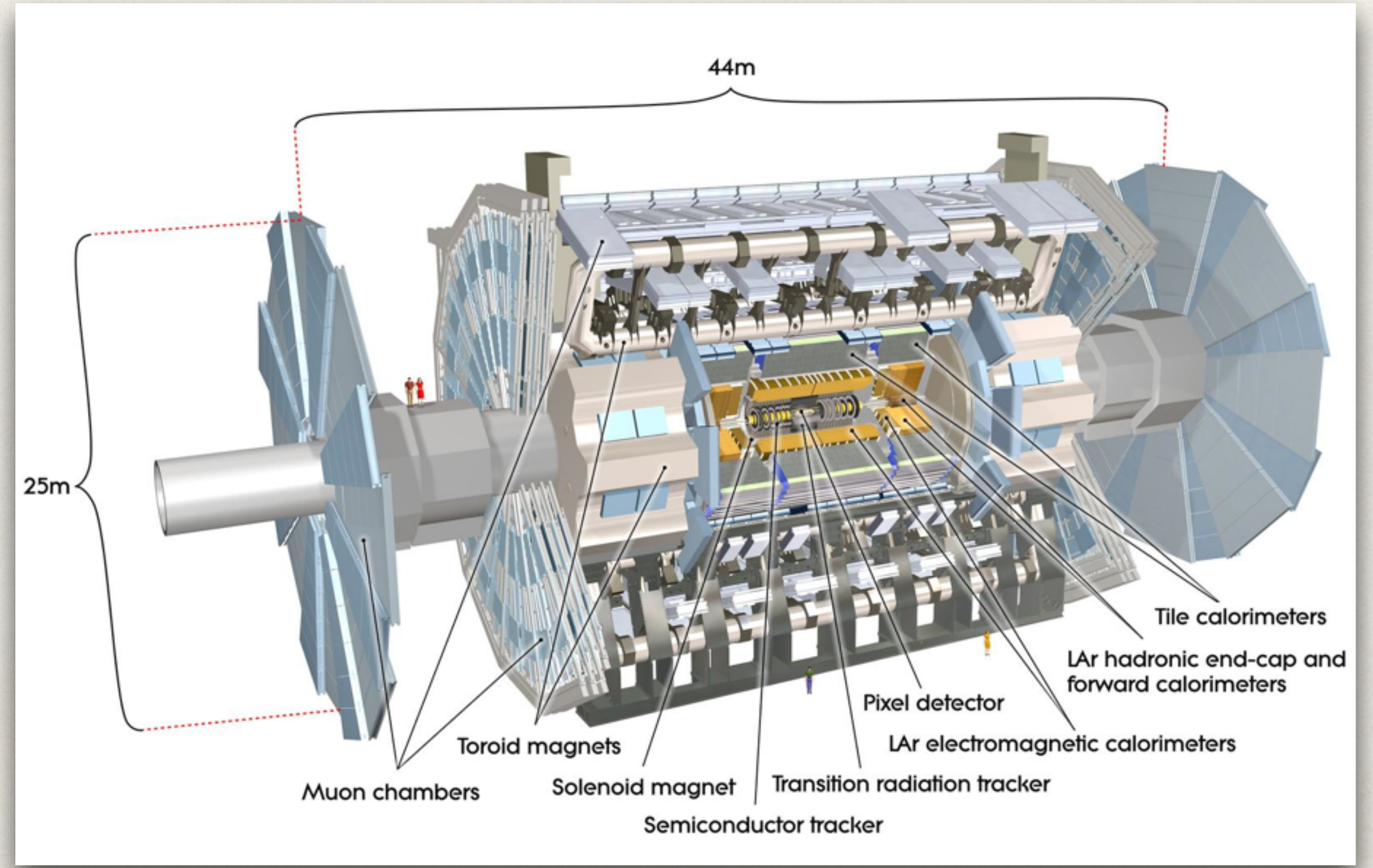
http://cern.ch/amoraes

The Large Hadron Collider - CERN



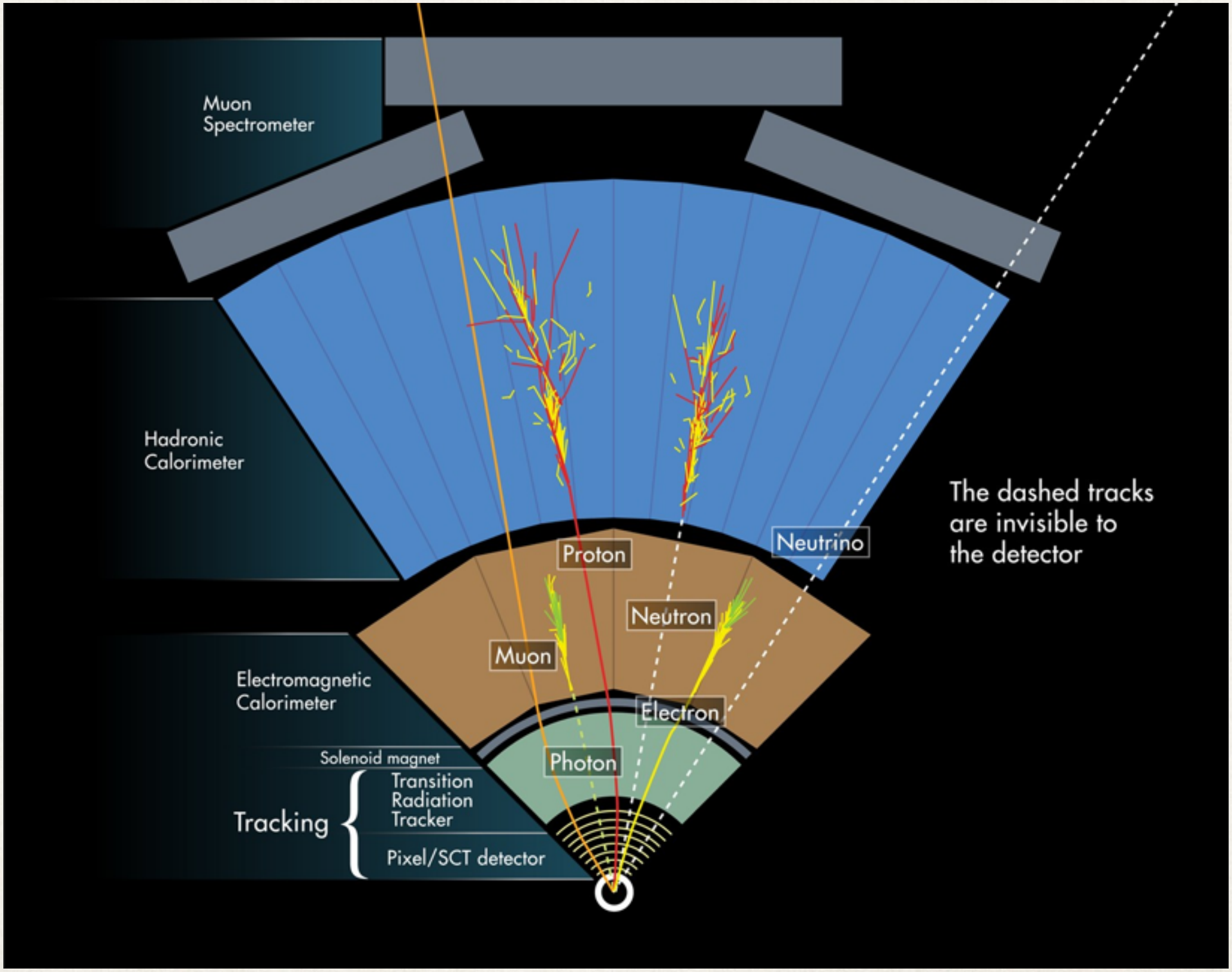
http://cern.ch/amoraes

ATLAS

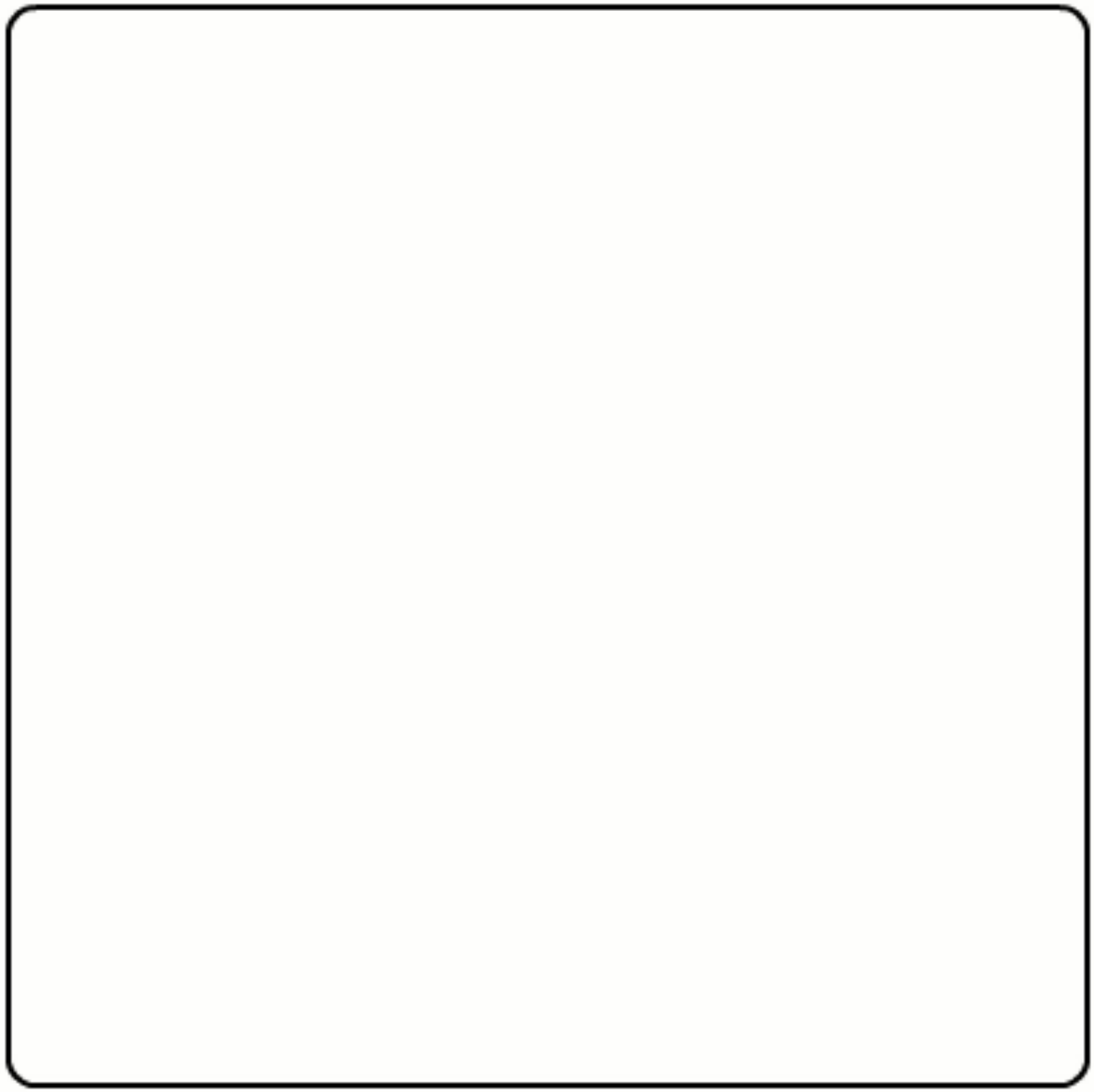


http://cern.ch/amoraes

ATLAS

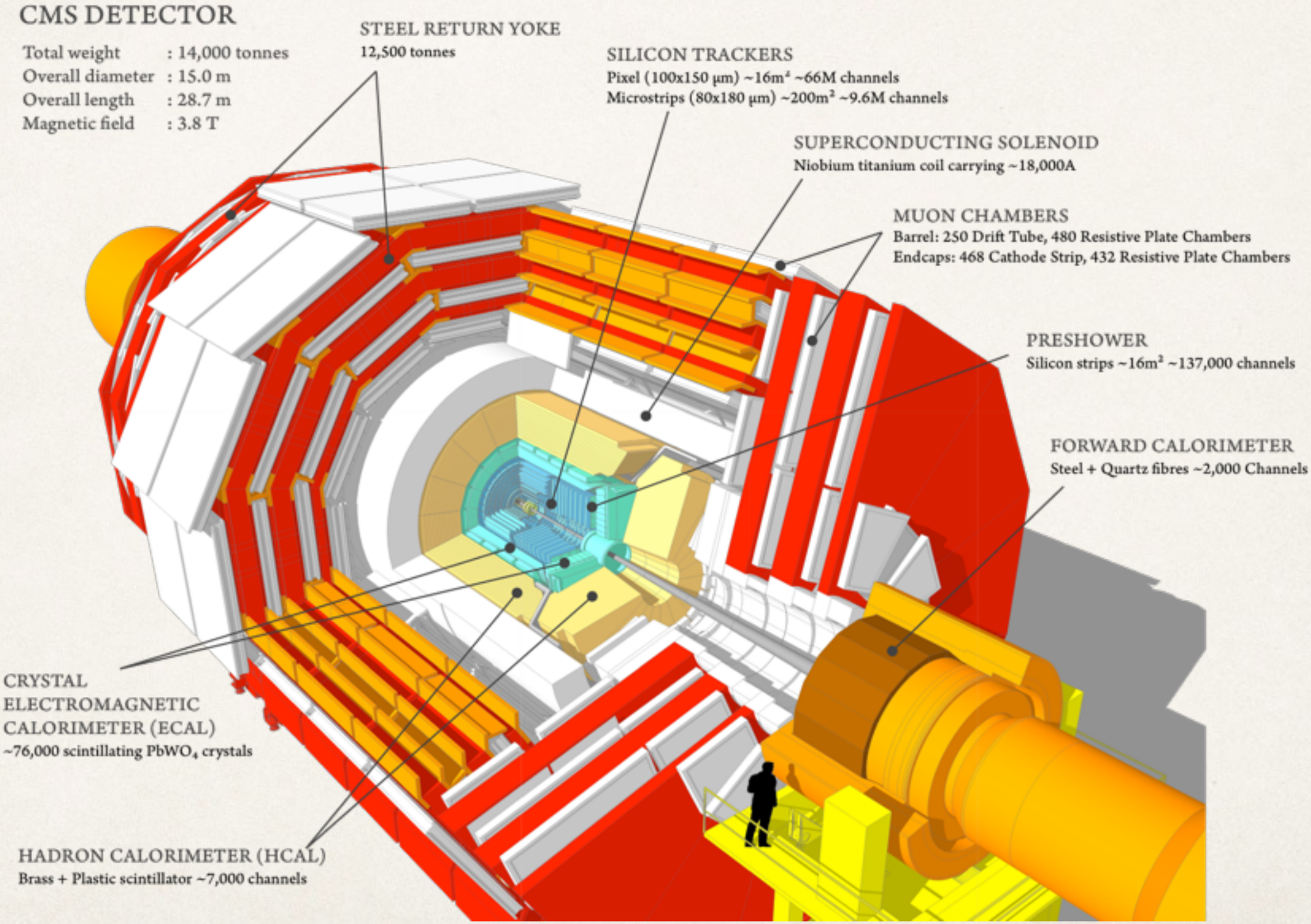


http://cern.ch/amoraes



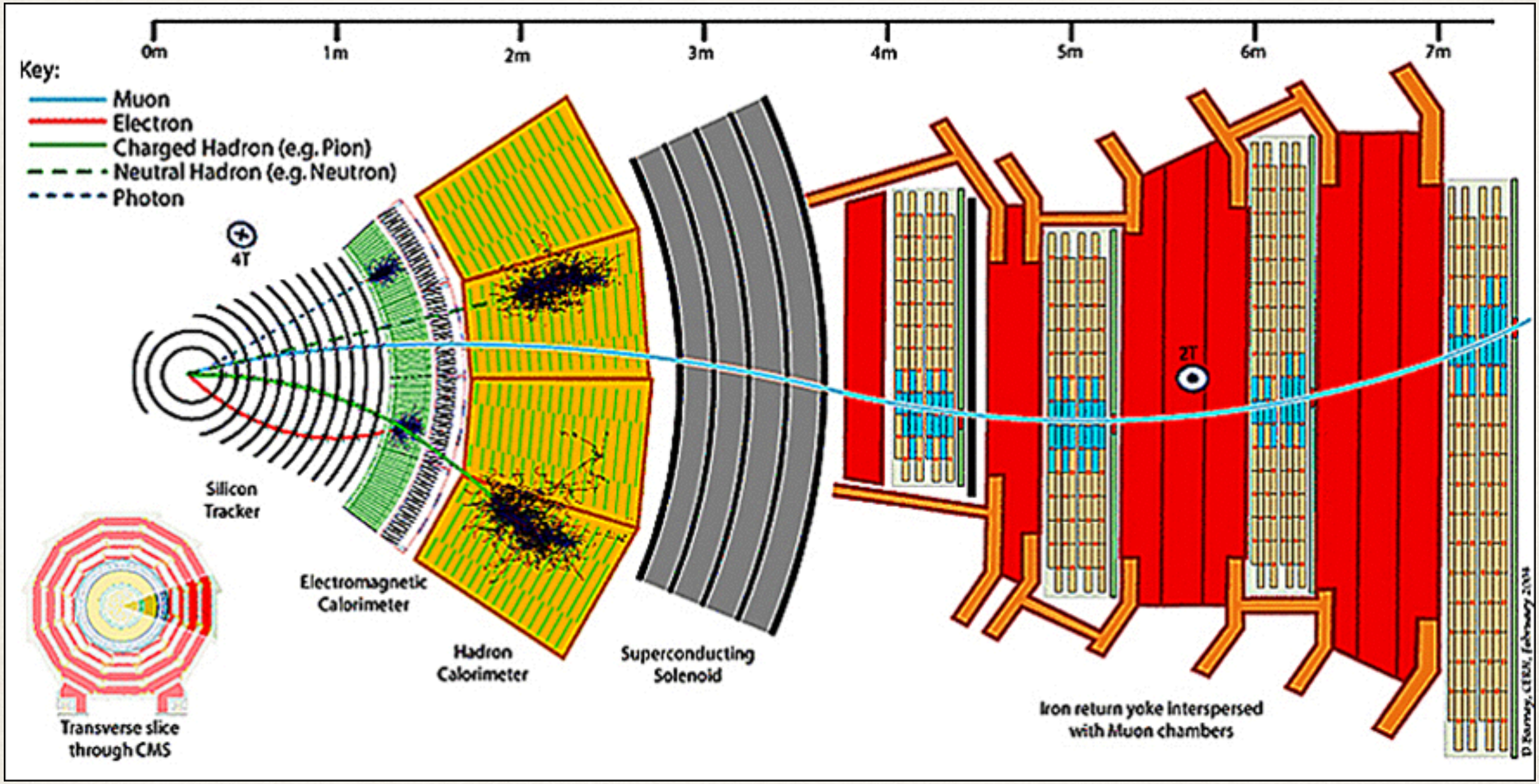
http://cern.ch/amoraes

CMS



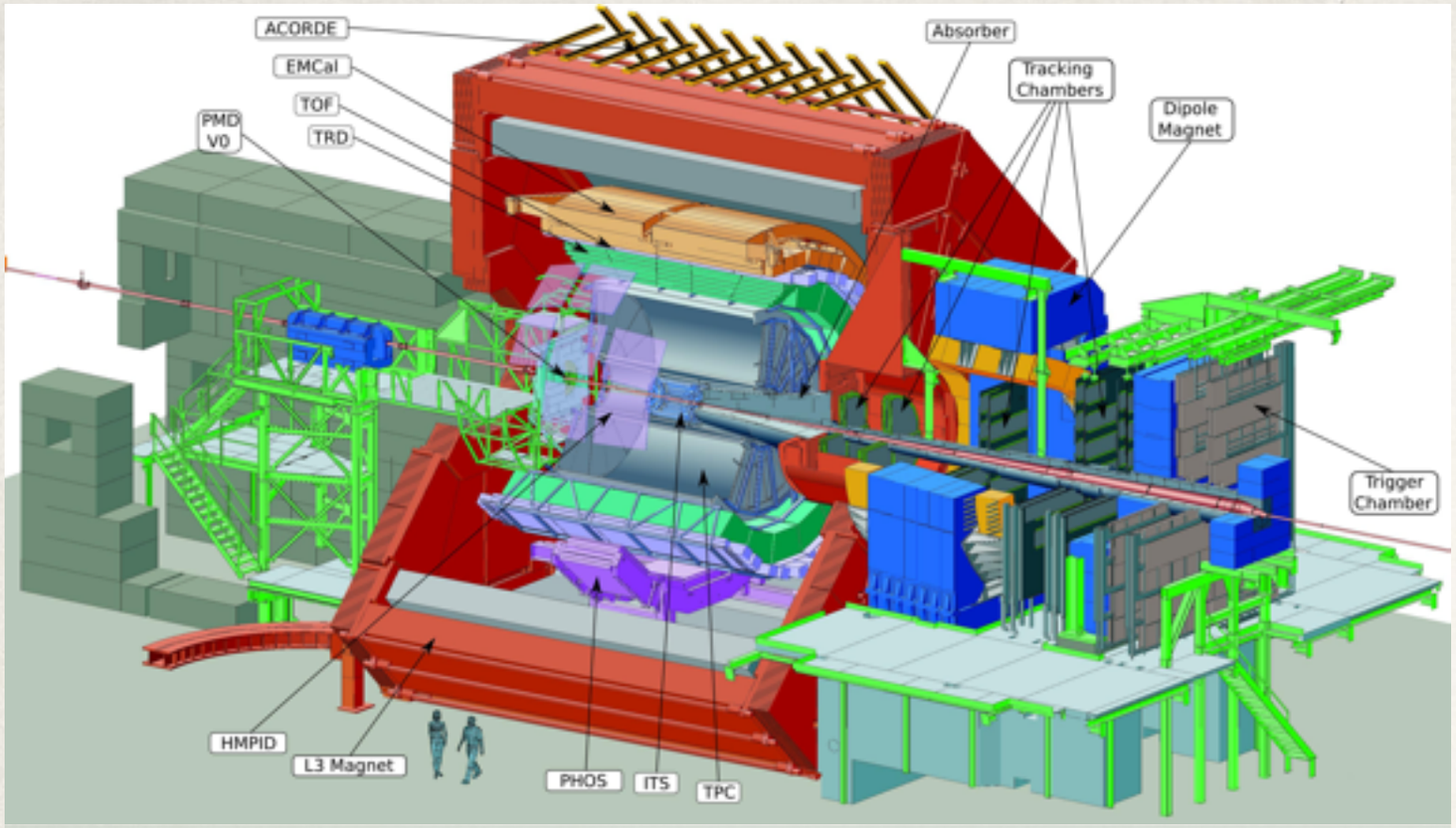
http://cern.ch/amoraes

CMS

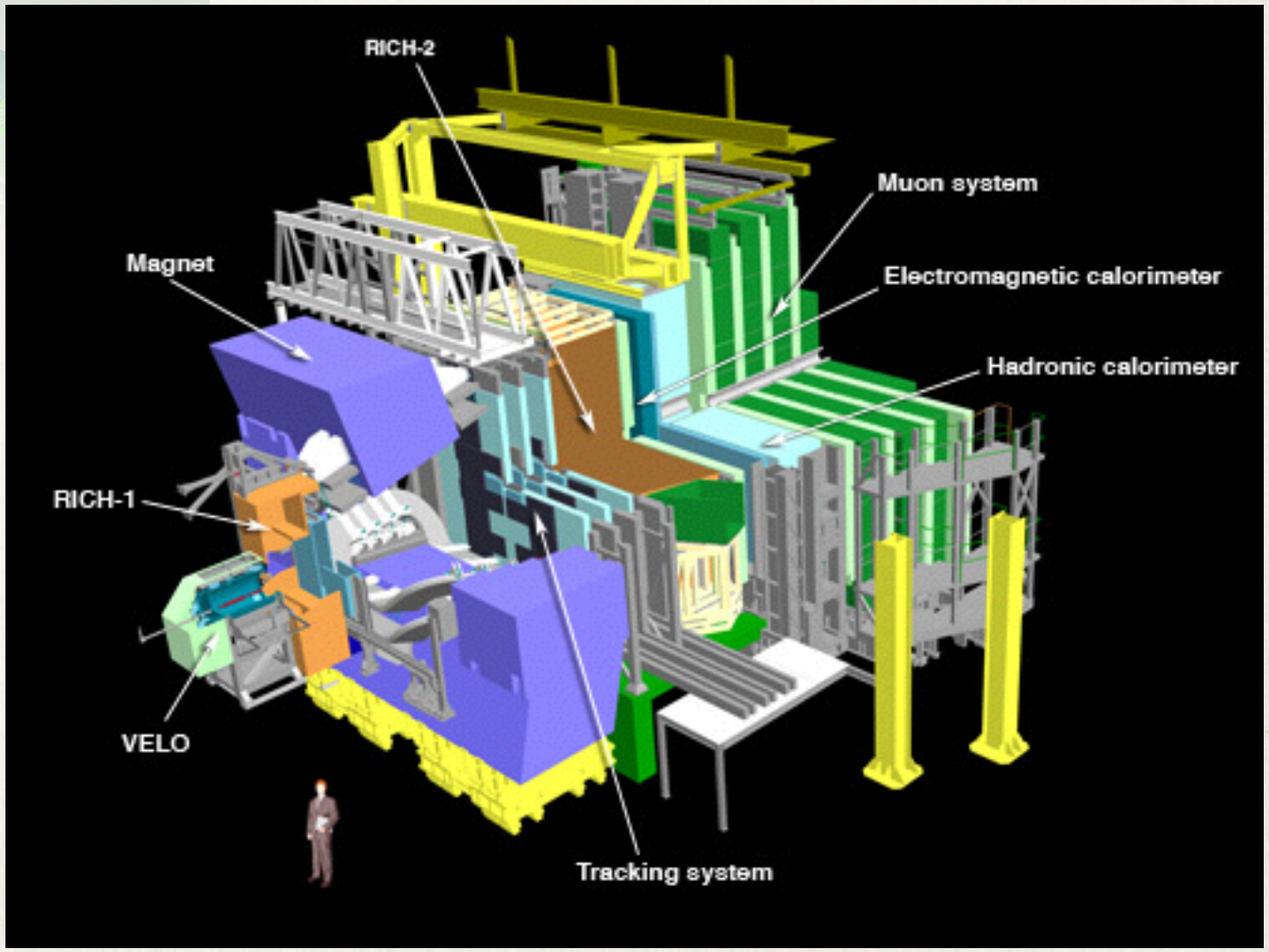


http://cern.ch/amoraes

ALICE

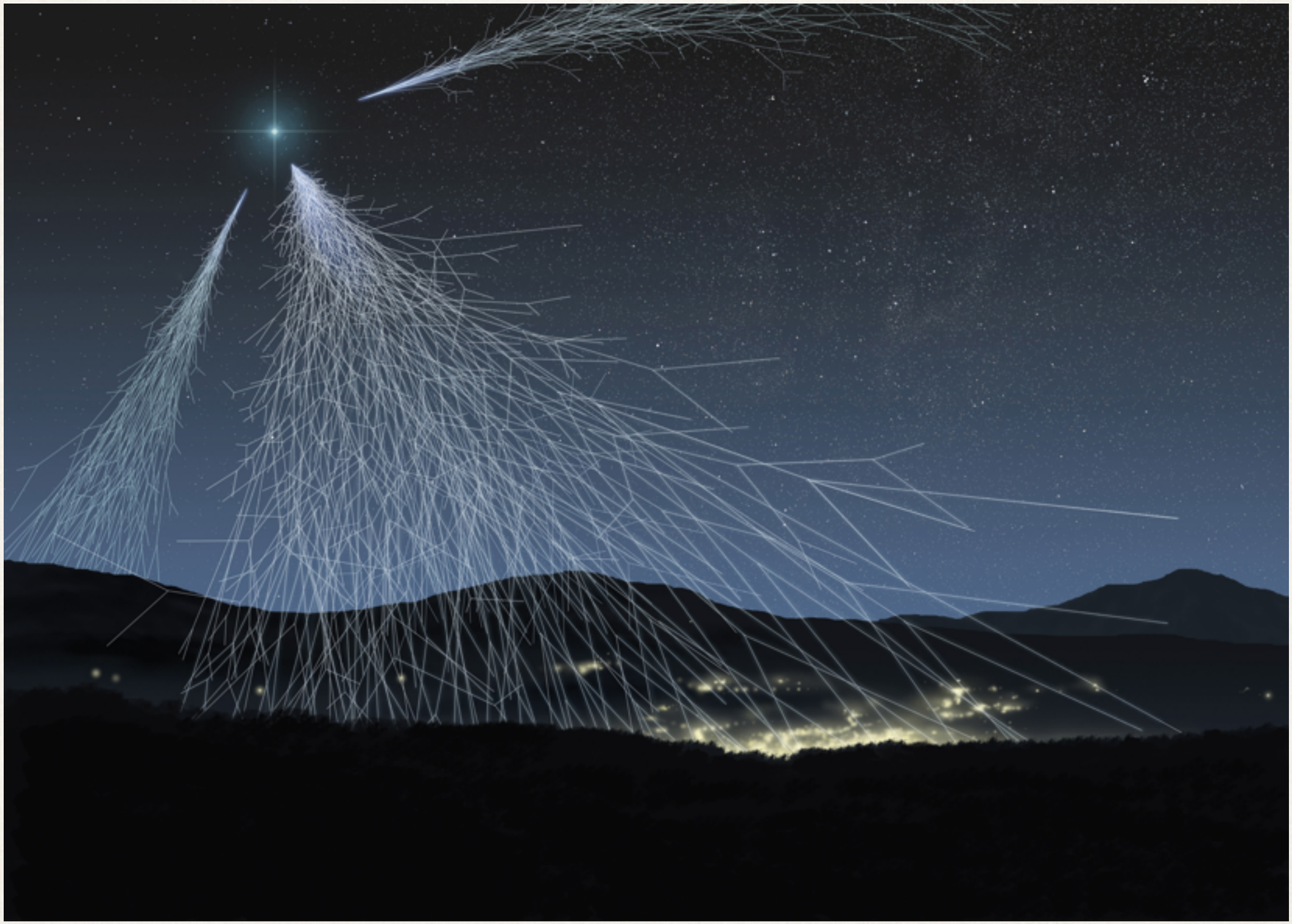


LHCb



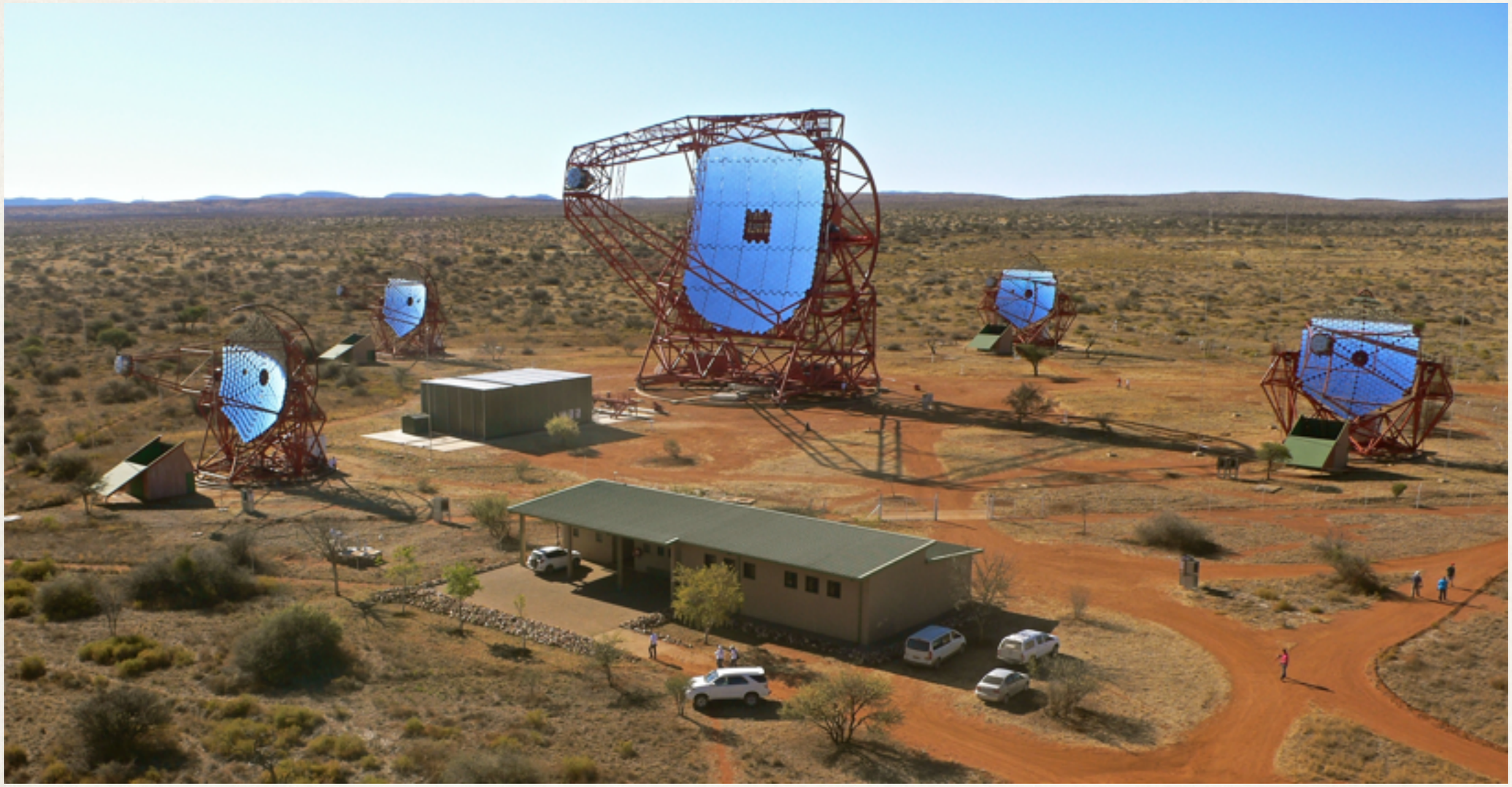
http://cern.ch/amoraes

Detectores de Raios Cósmicos



http://cern.ch/amoraes

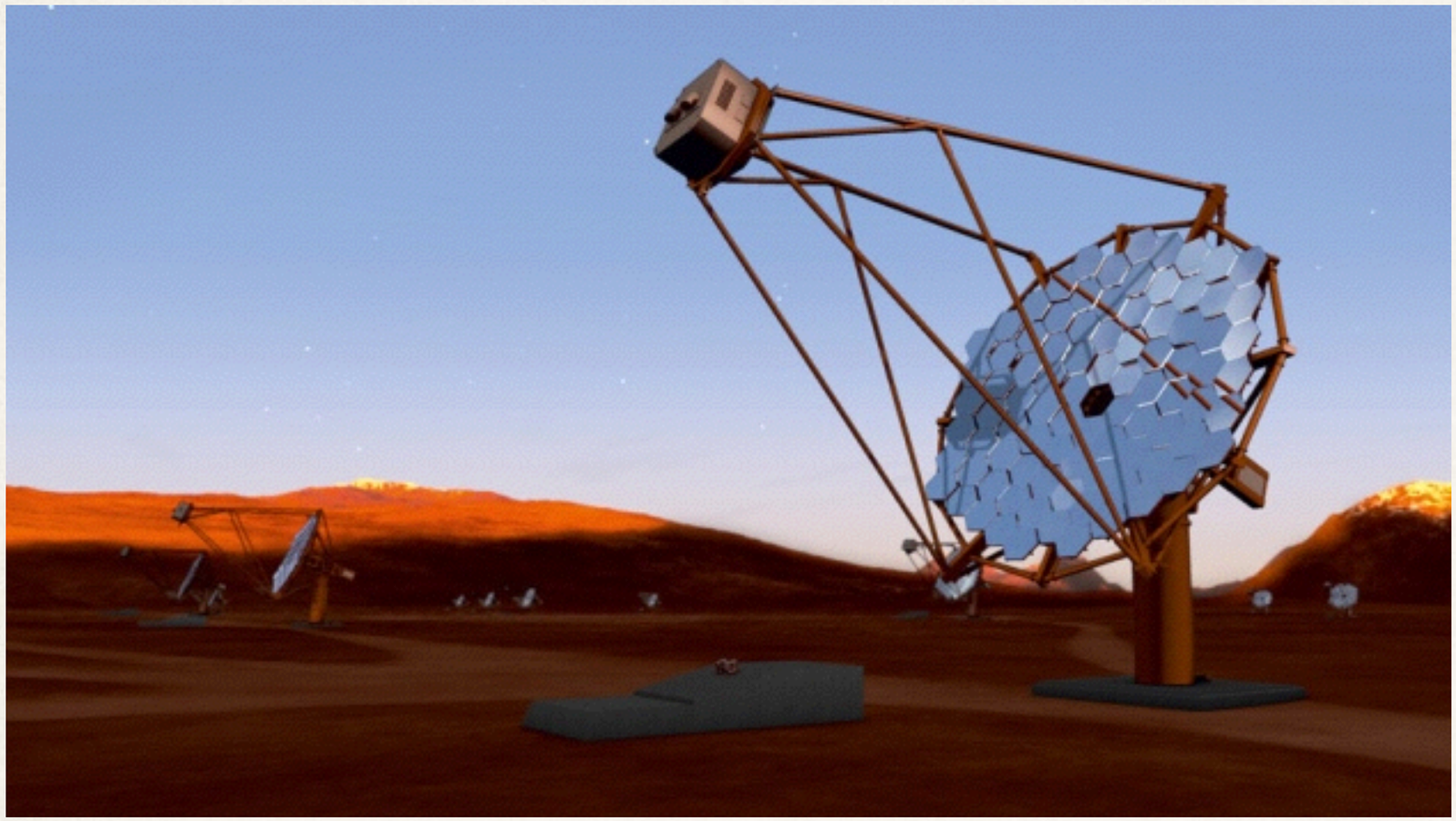
The HESS Experiment (Namibia)

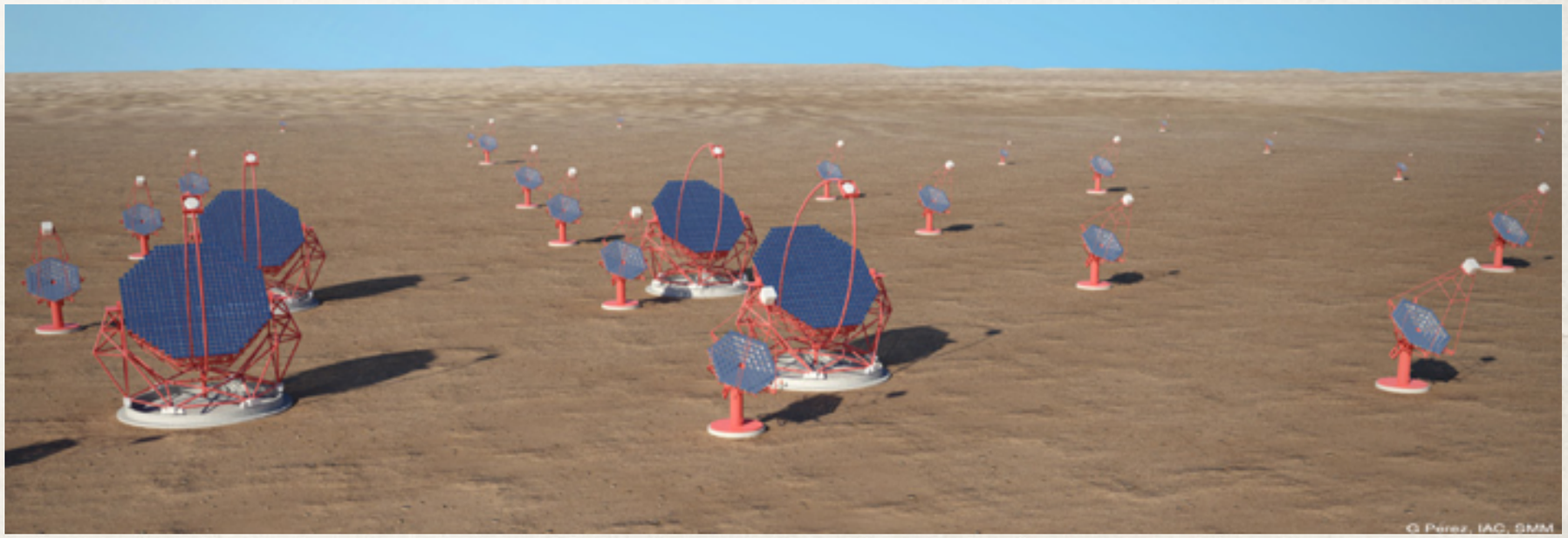


Detecção de γ de altas energias

(very high energy gamma-ray astrophysics)

CTA - Cherenkov Telescope Array



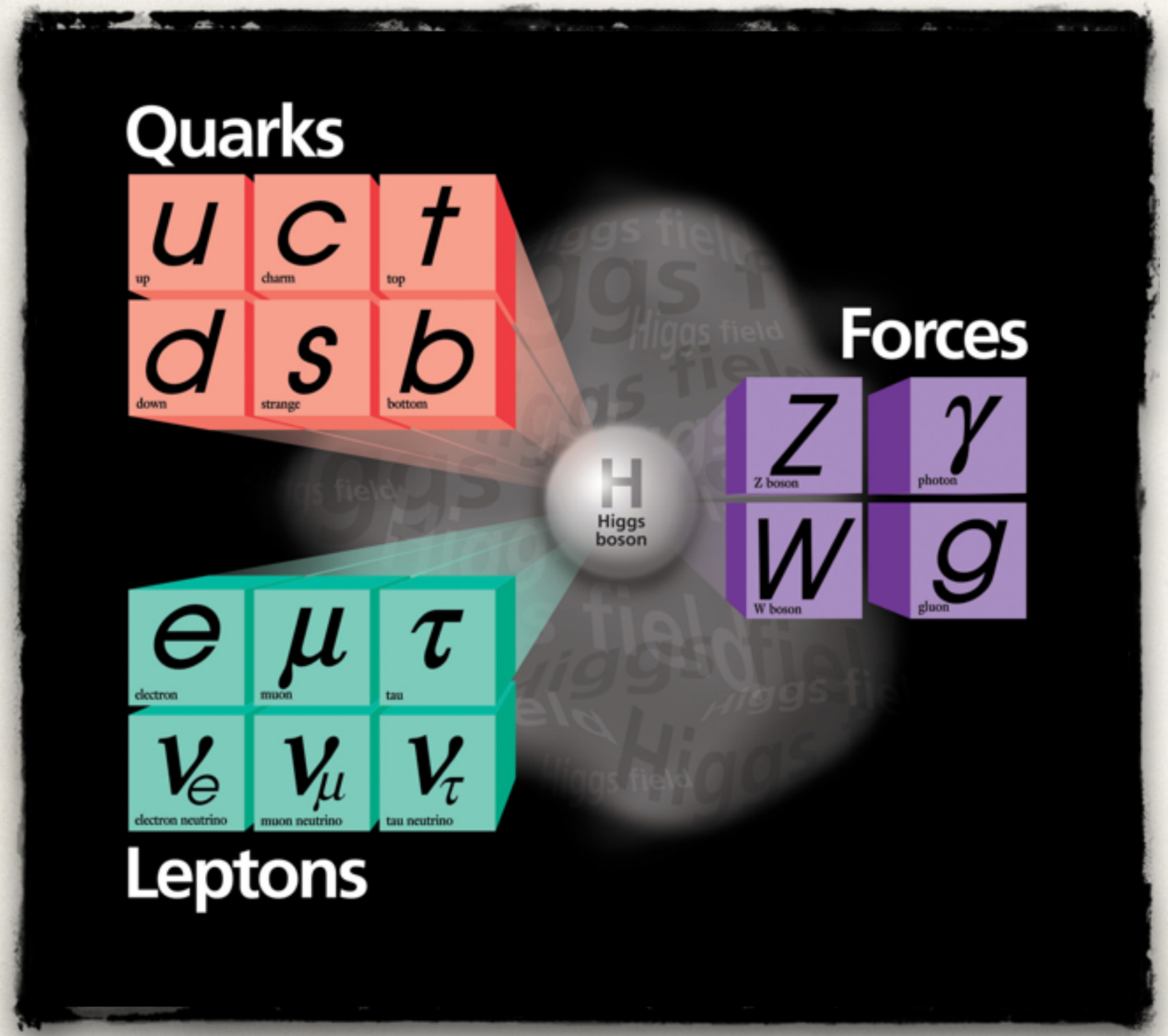


http://cern.ch/amoraes

Pré-requisitos para o curso

http://cern.ch/amoraes

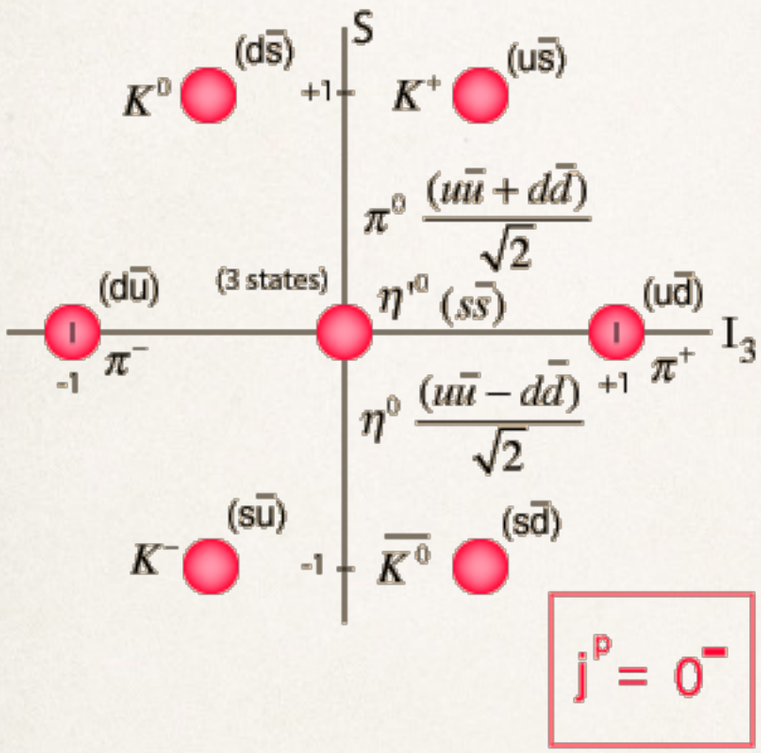
Partículas e Interações



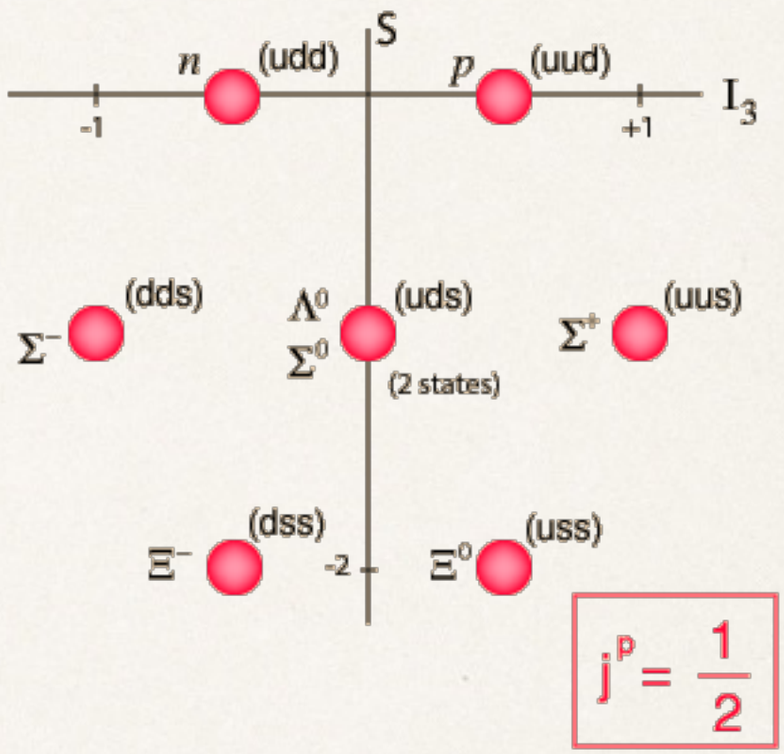
Modelo Padrão: partícula elementares e interações fundamentais

http://cern.ch/amoraes

Bárions e Mésons



Méson: quark-antiquark



Bárion: qqq

http://cern.ch/amoraes

Sistema de unidades

Quantity	HEP units	SI Units
length	1 fm	10^{-15} m
energy	1 GeV	$1.602 \cdot 10^{-10}$ J
mass	1 GeV/c^2	$1.78 \cdot 10^{-27}$ kg
$\hbar = h/2\pi$	$6.588 \cdot 10^{-25}$ GeV s	$1.055 \cdot 10^{-34}$ Js
c	$2.988 \cdot 10^{23}$ fm/s	$2.988 \cdot 10^{8}$ m/s
$\hbar c$	0.1973 GeV fm	$3.162 \cdot 10^{-26}$ Jm
Natural units ($\hbar$ = c = 1)		
mass	1 GeV	
length	1 GeV^{-1} = 0.1973 fm	
time	1 GeV^{-1} = $6.59 \cdot 10^{-25}$ s	

http://cern.ch/amoraes

Sistema de unidades

Particles are characterized by

Mass [Unit: eV/c^2 or eV]

Momentum [Unit: eV/c or eV]

Energy [Unit: eV]

Charge [Unit: e]

[+ Spin, Lifetime ...]

eV = $1.6 \cdot 10^{-19}$ J

c = 299 792 458 m/s

e = $1.602176487(40) \cdot 10^{-19}$ C

Relativistic kinematics:

$$E^2 = \vec{p}^{\,2} c^2 + m^2 c^4$$

$$\beta = \frac{v}{c} \qquad \gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

$$E = m\gamma c^2 = mc^2 + E_{\mathrm{kin}} \qquad \vec{p} = m\gamma\vec{\beta}c \qquad \vec{\beta} = \frac{\vec{p}c}{E}$$

Particle Identification via measurement of

e.g. (E, $\vec{p}$, Q) or ($\vec{p}$, β, Q)
($\vec{p}$, m, Q) ...

http://cern.ch/amoraes

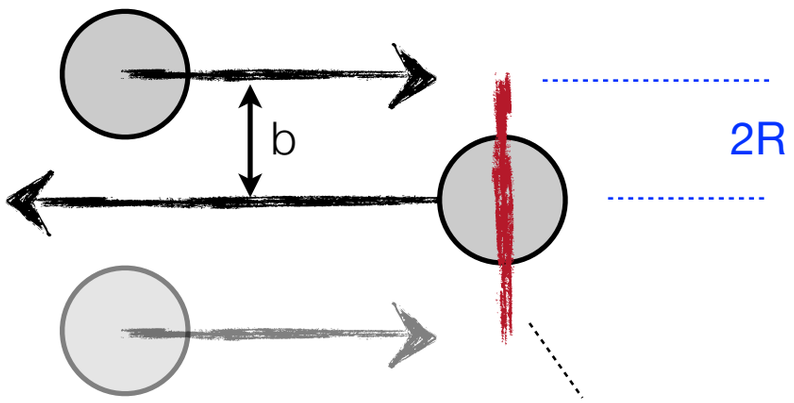
Seção de choque

Standard
cross section unit: $[\sigma] = \text{mb}$ with $1\ \text{mb} = 10^{-27}\ \text{cm}^2$

or in
natural units: $[\sigma] = \text{GeV}^{-2}$ with $1\ \text{GeV}^{-2} = 0.389\ \text{mb}$
$1\ \text{mb} = 2.57\ \text{GeV}^{-2}$

using: $\hbar c = 0.1973\ \text{GeV fm}$
$(\hbar c)^2 = 0.389\ \text{GeV}^2\ \text{mb}$

Estimating the
proton-proton cross section:

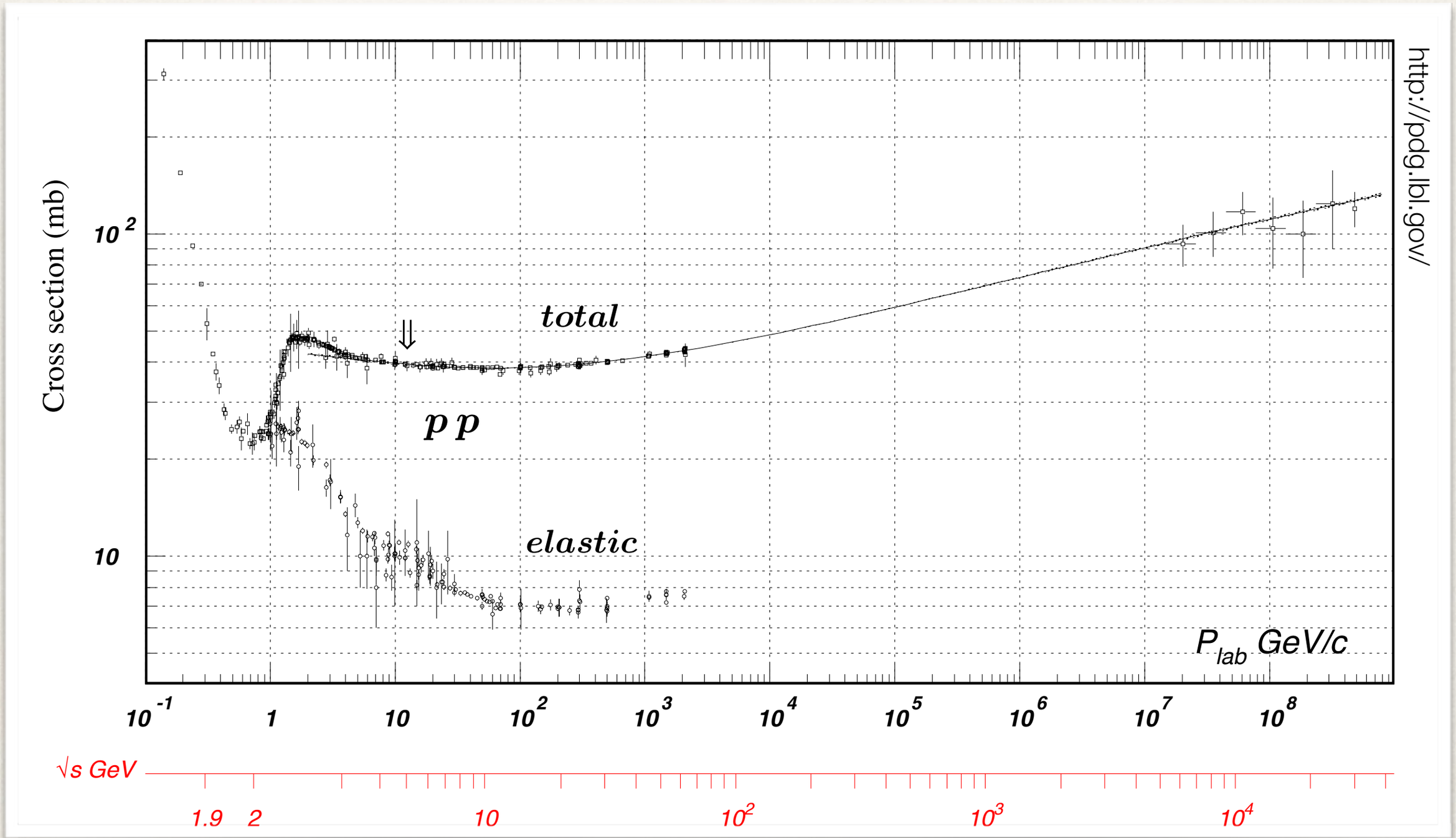


Proton radius: R = 0.8 fm
Strong interactions happens up to b = 2R

$$\sigma = \pi(2R)^2 = \pi \cdot 1.6^2\ \text{fm}^2$$
$$= \pi \cdot 1.6^2\ 10^{-26}\ \text{cm}^2$$
$$= \pi \cdot 1.6^2\ 10\ \text{mb}$$
$$= 80\ \text{mb}$$

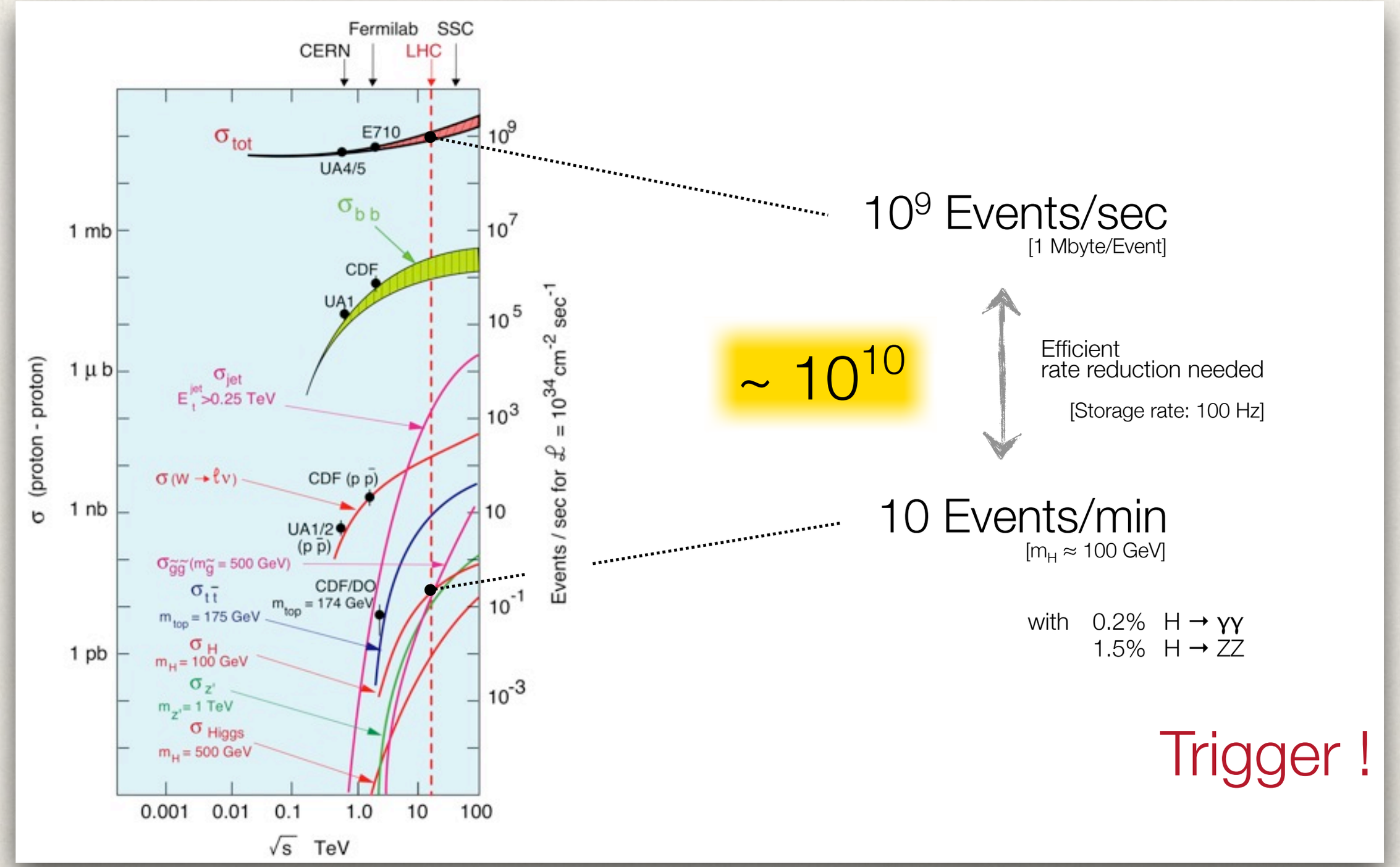
http://cern.ch/amoraes

Seção de choque: espalhamento pp



http://cern.ch/amoraes

Seção de choque: espalhamento pp



http://cern.ch/amoraes