

Participação de grupos brasileiros em grandes colaborações em física de altas energias

projetos futuros e necessidades de financiamento nos próximos 10 anos

Carla Göbel
PUC-Rio

5ª
CONFERÊNCIA
NACIONAL DE
CT&I

**PARA UM BRASIL JUSTO,
SUSTENTÁVEL E DESENVOLVIDO**

Conferência Livre

**“Infraestrutura e Financiamento em Colaborações
Internacionais em Física Experimental de Altas Energias”
Rio de Janeiro - RJ**

cgEE **MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÃO** **GOVERNO FEDERAL
BRASIL
UNIÃO E RECONSTRUÇÃO**

Física de Partículas a Altas Energias

Área da Física que busca entender as partículas mais fundamentais e suas interações

- A partir dos anos 30:
 - ➔ estudo de raios cósmicos e primeiros aceleradores
Cesar Lattes et al descoberta do pión em 1947

Física de Partículas a Altas Energias

Área da Física que busca entender as partículas mais fundamentais e suas interações

- A partir dos anos 30:
 - ➔ estudo de raios cósmicos e primeiros aceleradores
Cesar Lattes et al descoberta do pión em 1947

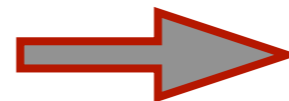
**Entender a matéria em escala
cada vez menor**

Física de Partículas a Altas Energias

Área da Física que busca entender as partículas mais fundamentais e suas interações

- A partir dos anos 30:
 - ➔ estudo de raios cósmicos e primeiros aceleradores
Cesar Lattes et al descoberta do pión em 1947

**Entender a matéria em escala
cada vez menor**

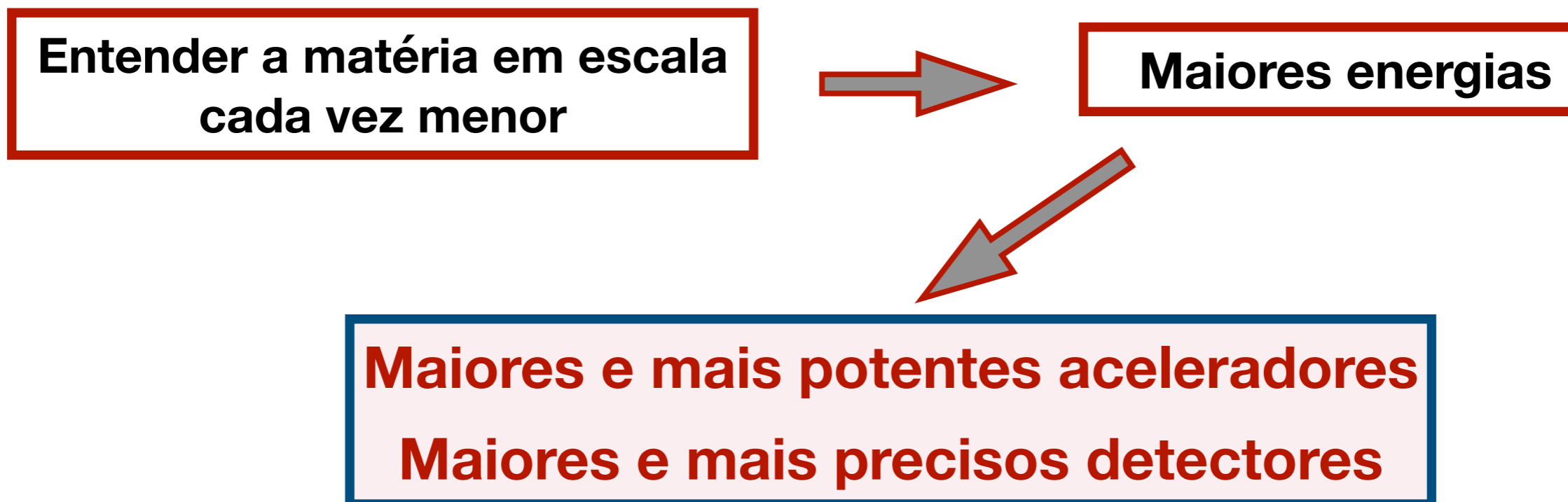


Maiores energias

Física de Partículas a Altas Energias

Área da Física que busca entender as partículas mais fundamentais e suas interações

- A partir dos anos 30:
 - ➔ estudo de raios cósmicos e primeiros aceleradores
Cesar Lattes et al descoberta do pión em 1947

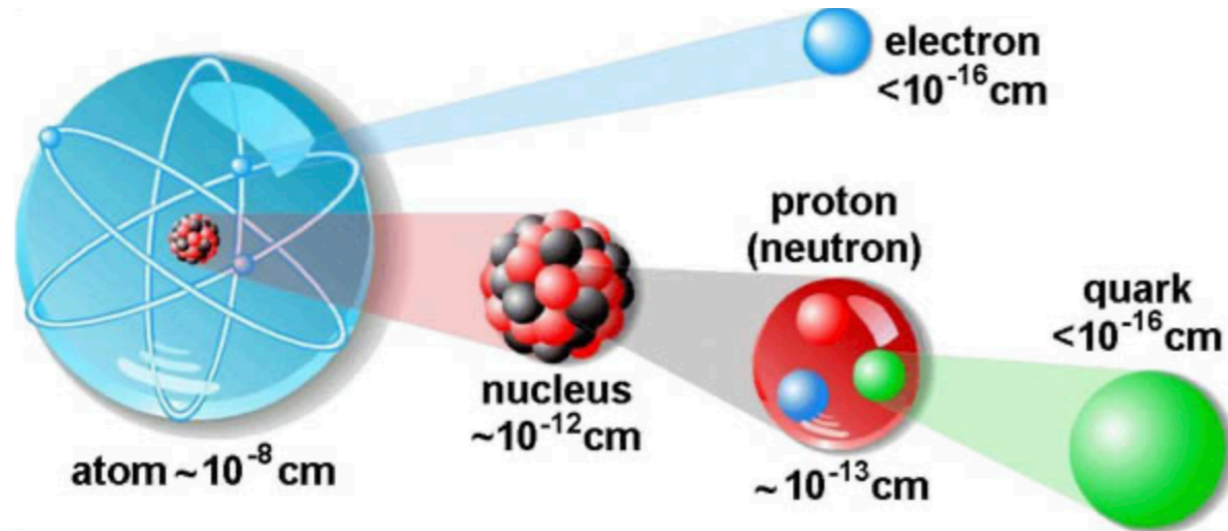


As partículas e suas interações

ou também: “o que aprendemos em um século em um slide”

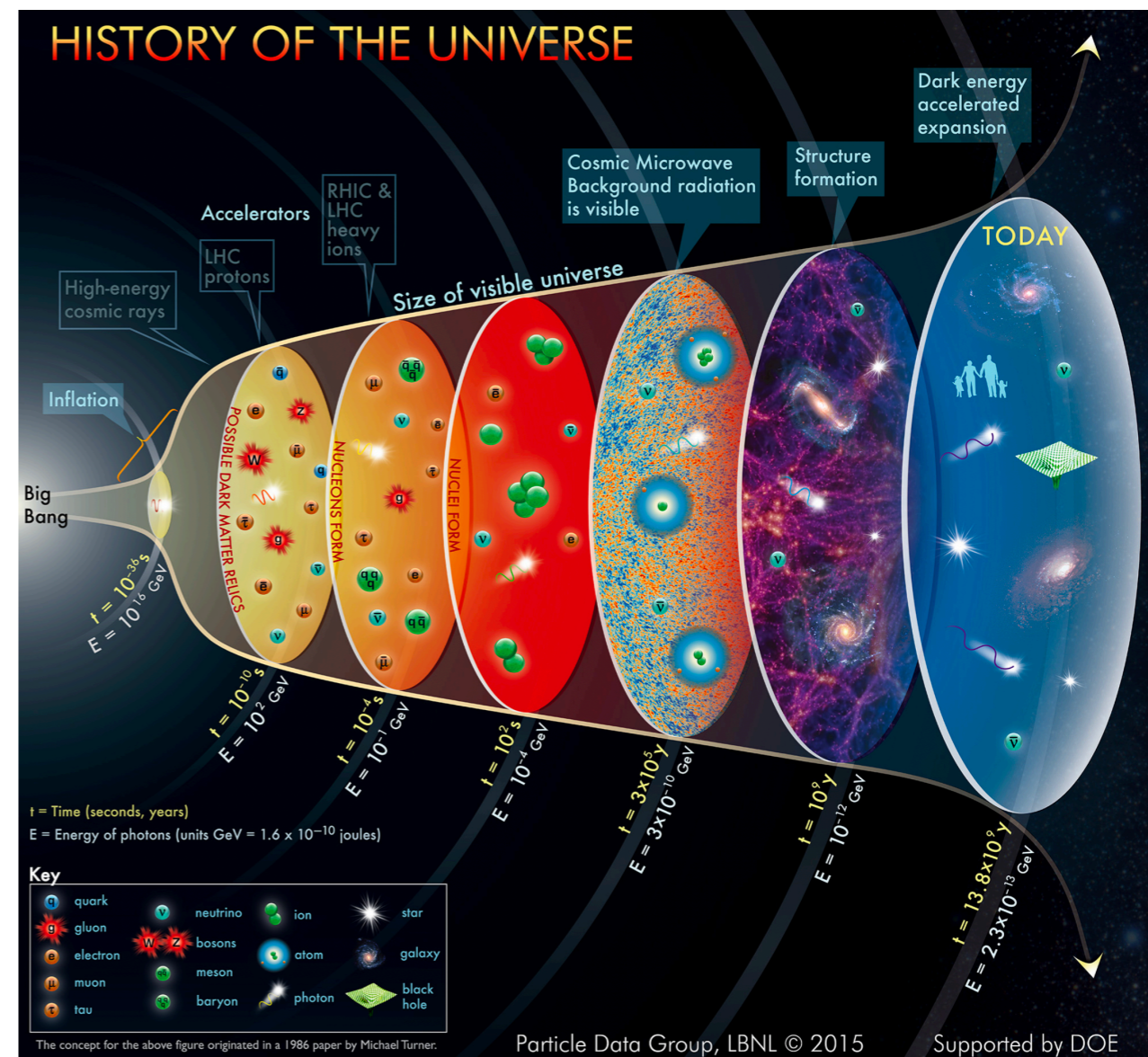
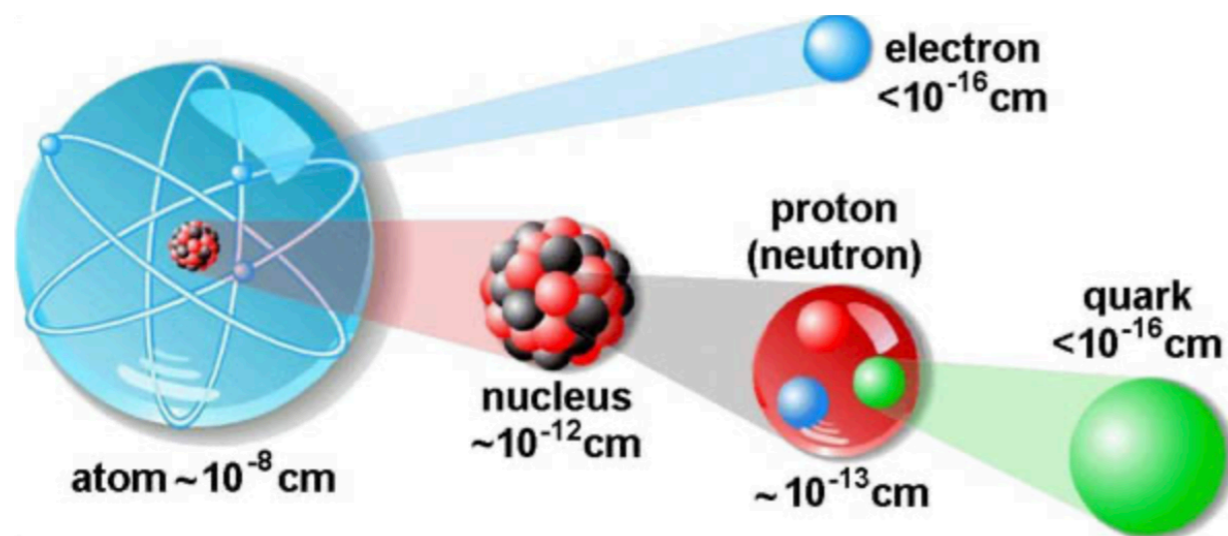
As partículas e suas interações

ou também: “o que aprendemos em um século em um slide”



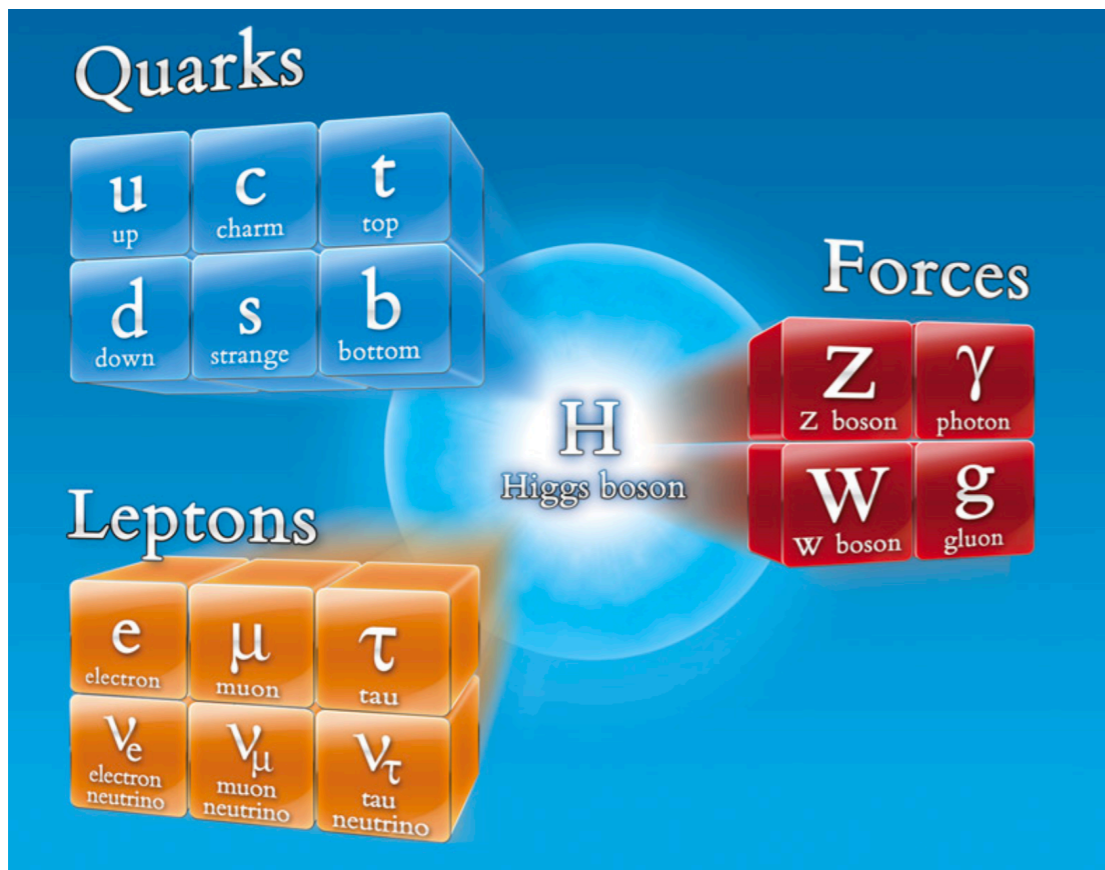
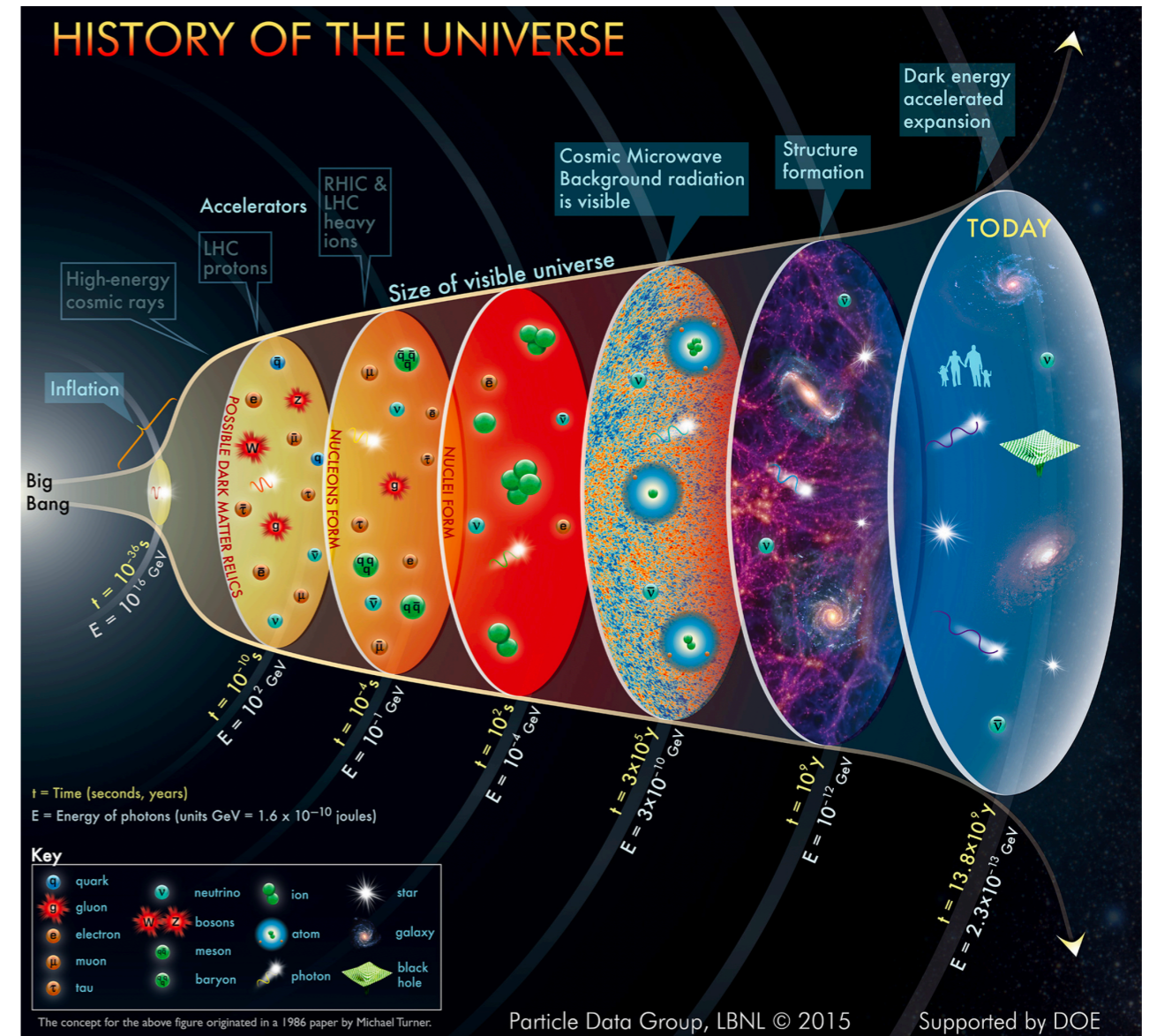
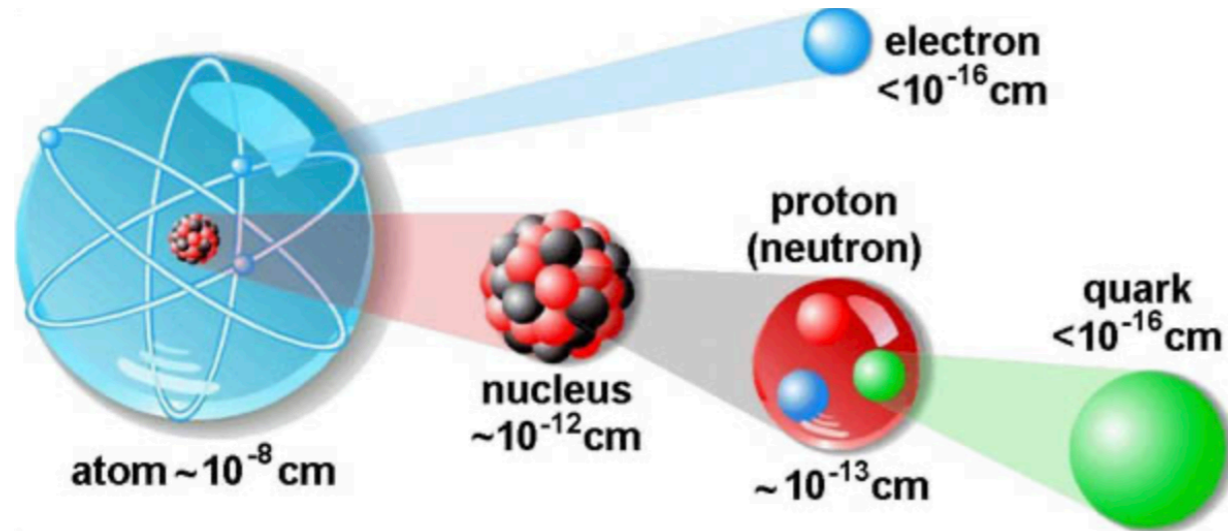
As partículas e suas interações

ou também: “o que aprendemos em um século em um slide”



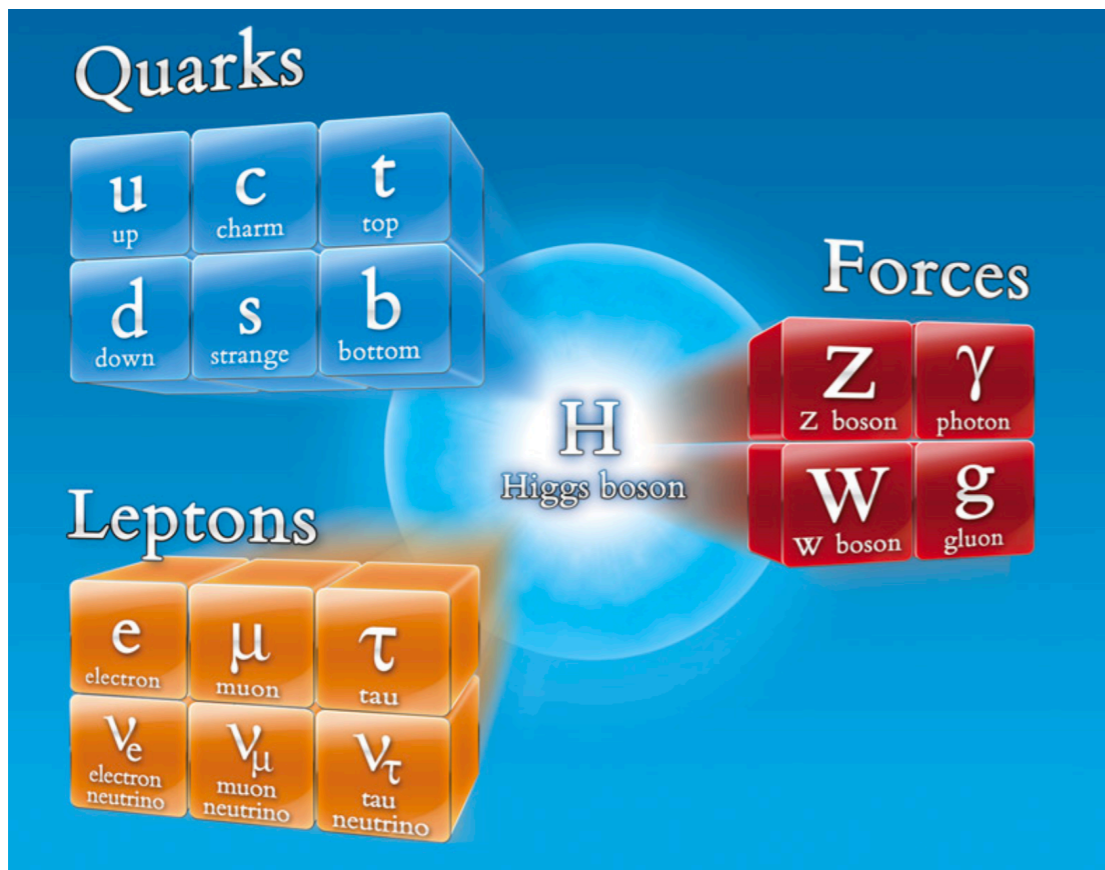
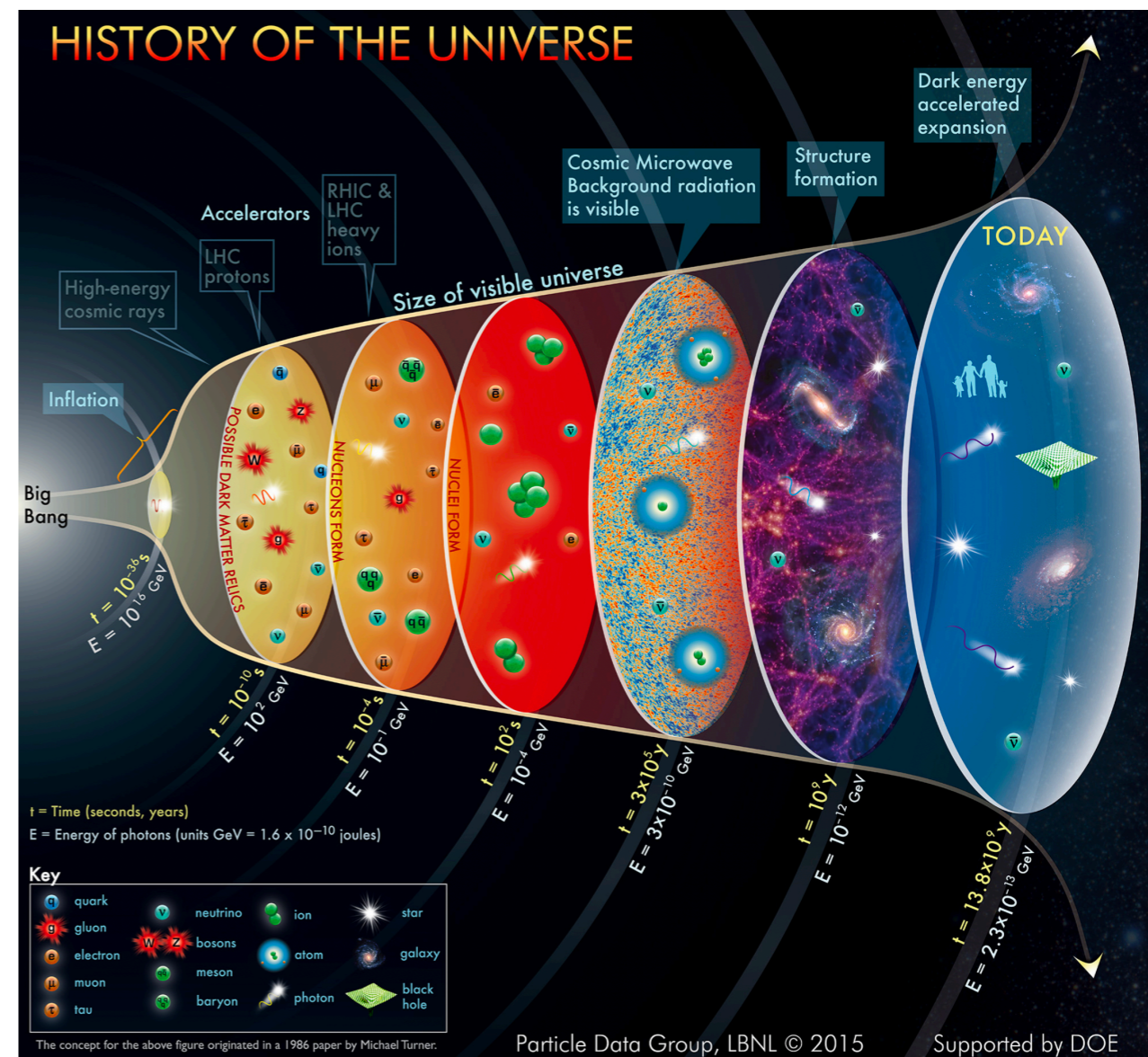
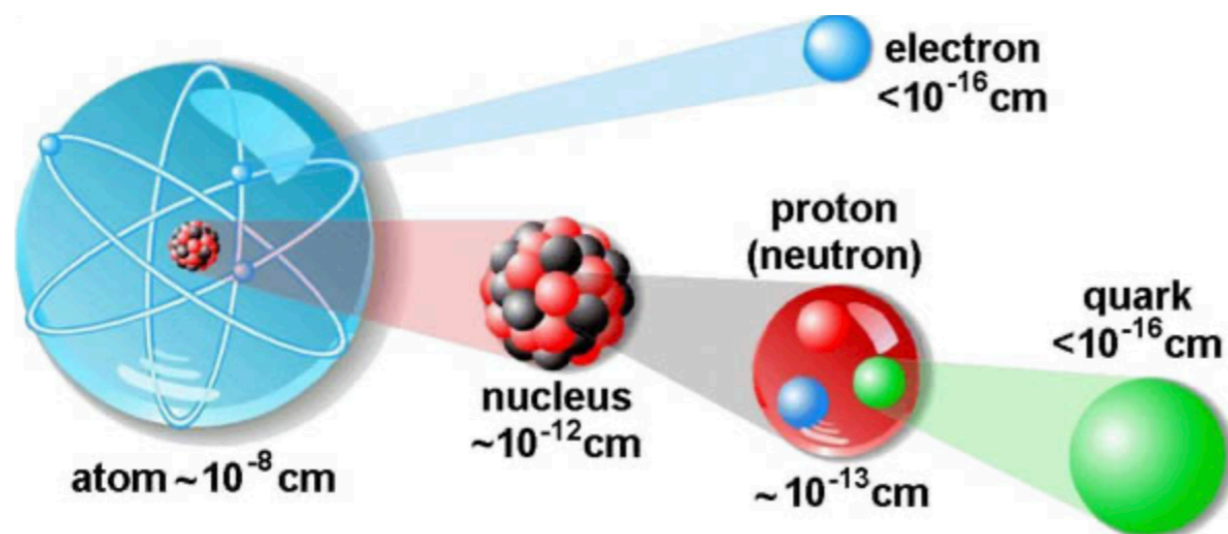
As partículas e suas interações

ou também: “o que aprendemos em um século em um slide”



As partículas e suas interações

ou também: “o que aprendemos em um século em um slide”



Física de Partículas ↔ **Cosmologia**

A Física de Altas Energias

- Como Ciência Básica, não se guia diretamente na **aplicação** (ao menos imediata) do conhecimento e descobertas
não deve, nem faria sentido, se medir em termos de “ganhos financeiros”
- É entretanto uma das áreas que mais puxa a fronteira da tecnologia!
- **Inúmeros exemplos do impacto na sociedade:**
 - ➔ **Medicina: tratamento de câncer, imagem de alta resolução (PET)**
 - ➔ **Indústria: transmissão de energia, biomedicina, processos industriais**
 - ➔ **Computação: World Wide Web, GRID**
 - ... entre outros
- ❖ **Há atualmente muito mais aceleradores de uso comercial que científico!
Mercado excede US\$ 3.5 bilhões/ano**
- ❖ **Estima-se que os benefícios econômicos do CERN excedam os custos com um valor líquido estimado em 2016 [1] de cerca de € 2,9 bilhões**
(sem considerar as possíveis aplicações das descobertas científicas em si)

[1] Massimo Florio, Stefano Forte e Emanuela Sirtori, Techn. For. and Soc. Change 112 (2016) 38.

A Física de Altas Energias

➔ Grandes projetos que se baseiam em atividade colaborativa

Instituições de diversas partes do planeta se organizam para trabalharem juntas, com objetivos científicos bem definidos

◆ Experimentos no CERN

- ➔ ATLAS, CMS, ALICE, LHCb: os 4 grandes experimentos no colisor LHC
- ➔ ALPHA: Produção e aprisionamento de Anti-Hidrogênio no AD facility

◆ Programa de detecção e física de Neutrinos

- ➔ DUNE + SBND - Fermilab (EUA)

◆ Observatório Pierre Auger (Raios Cósmicos) na Argentina

◆ CTA (Cherenkov Telescope Array) Espanha/Chile

◆ SWGO

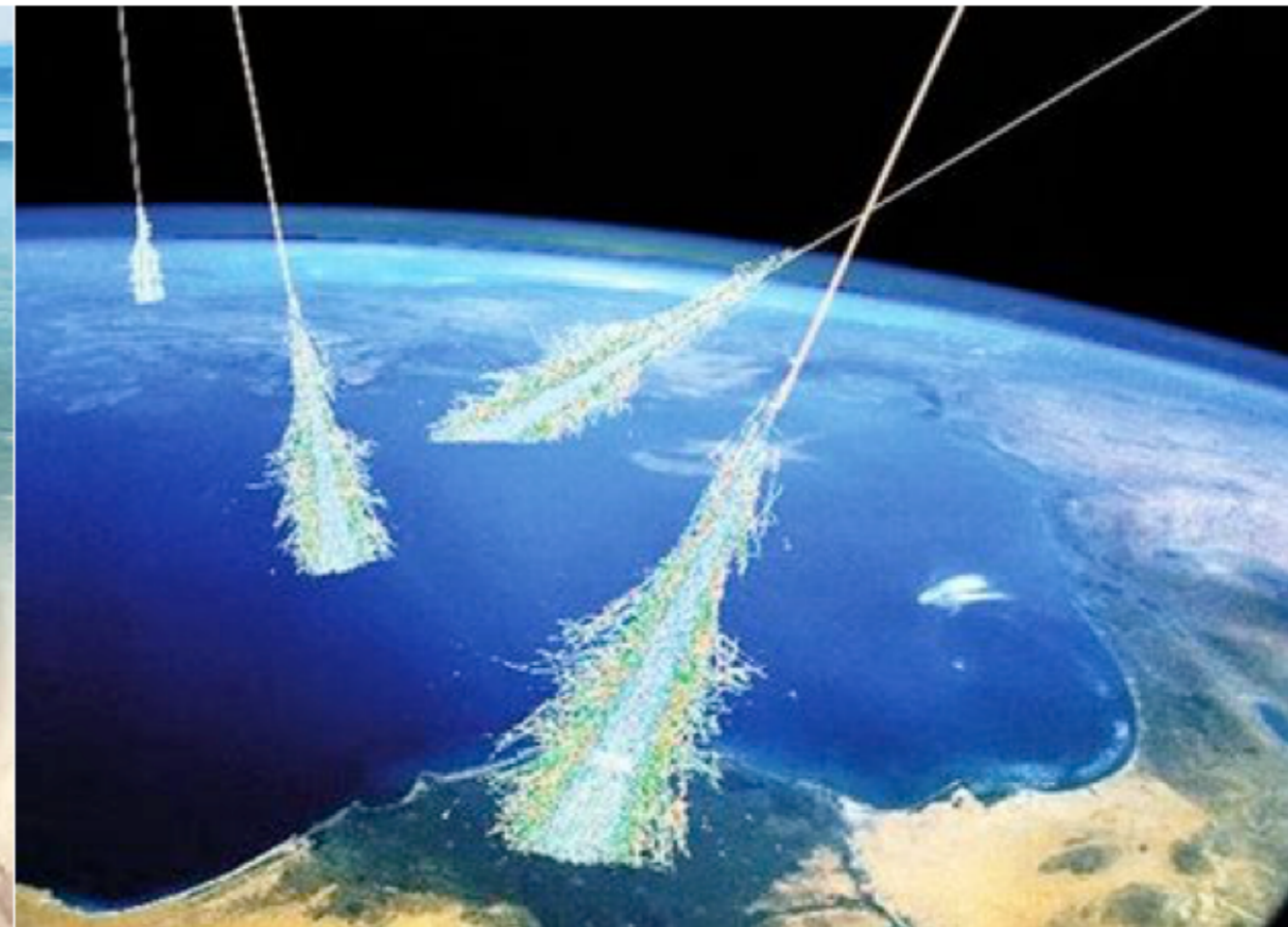
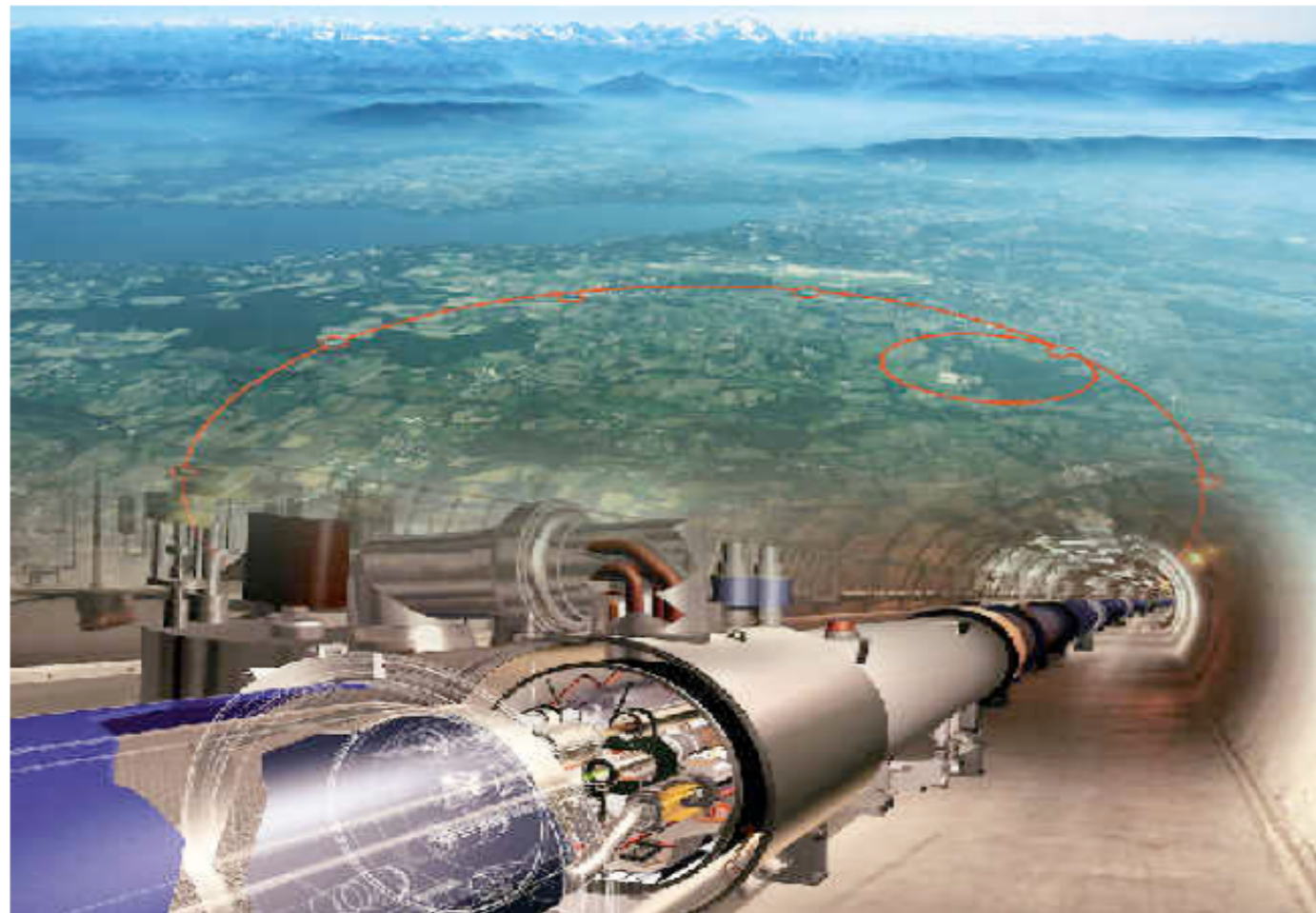
◆ ...e outros

Além disso:

◆ Computação de alto desempenho (GRID)

ACELERADORES DE PARTÍCULAS

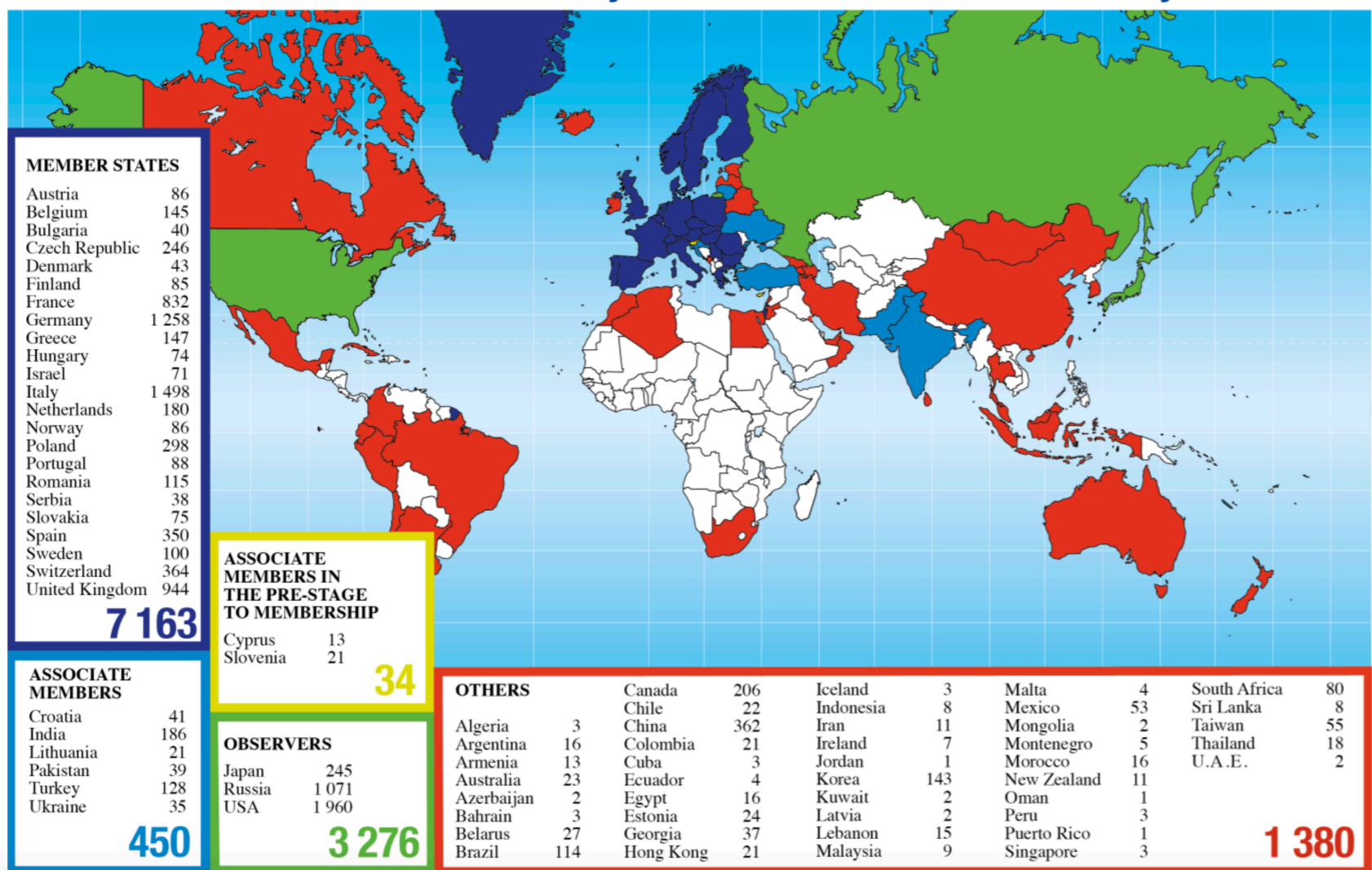
RAIOS CÓSMICOS ULTRA ENERGÉTICOS



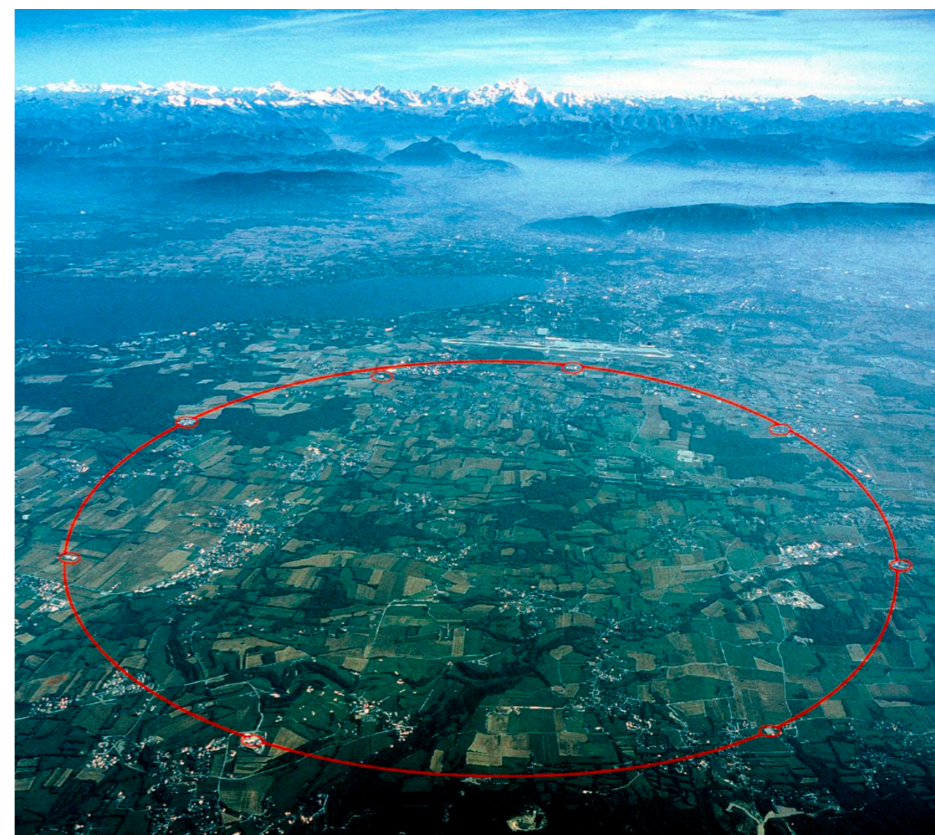
Aceleradores: CERN

CERN: laboratório INTERNACIONAL

Distribution of All CERN Users by Location of Institute on 27 January 2020



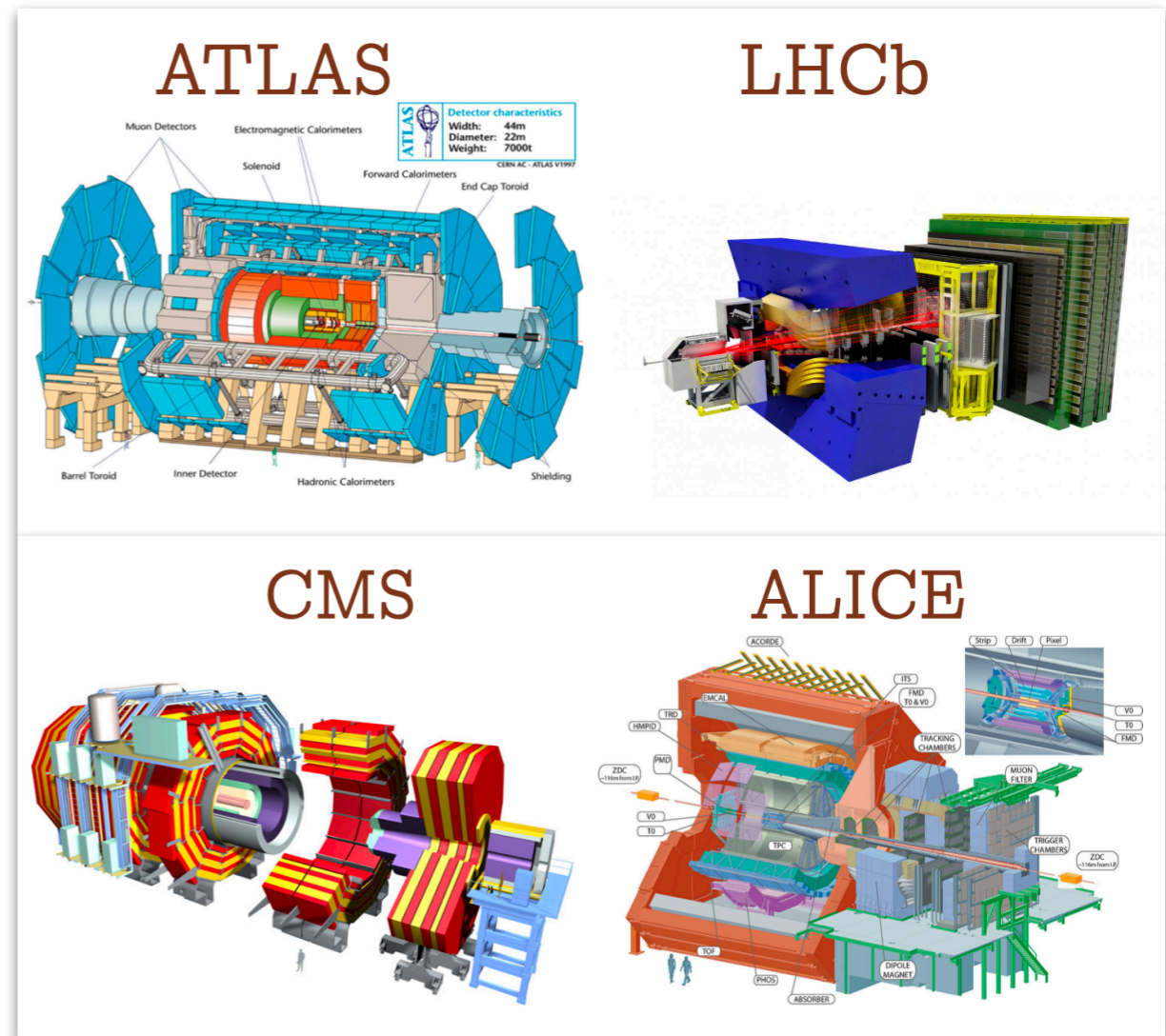
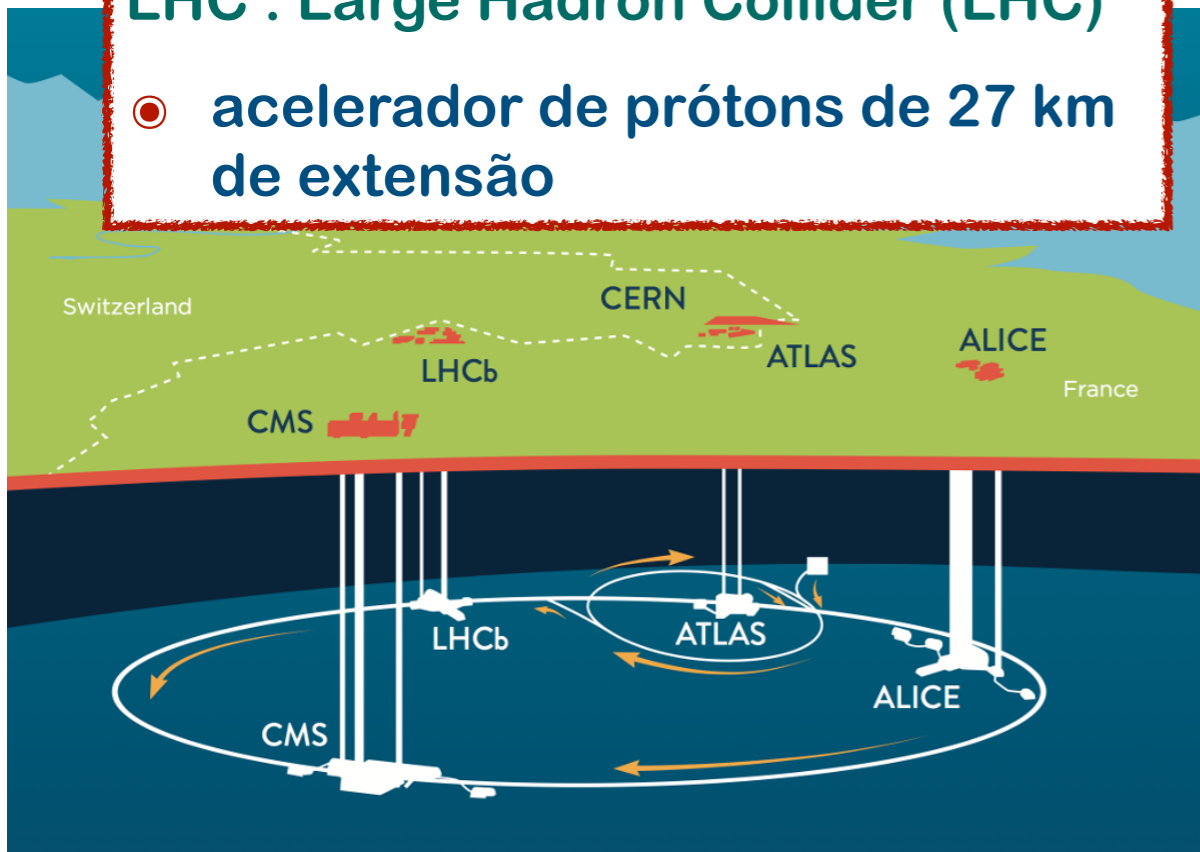
na fronteira da Suíça e França, área de Genebra



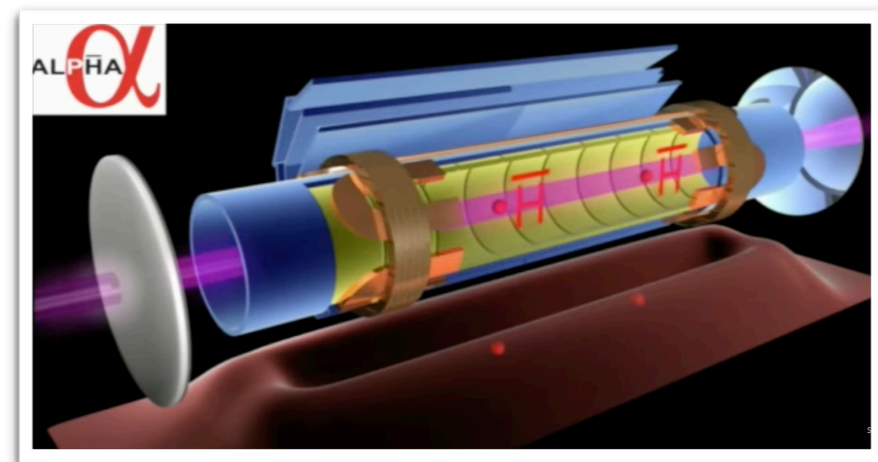
Experimentos CERN com participação brasileira

LHC : Large Hadron Collider (LHC)

- acelerador de prótons de 27 km de extensão

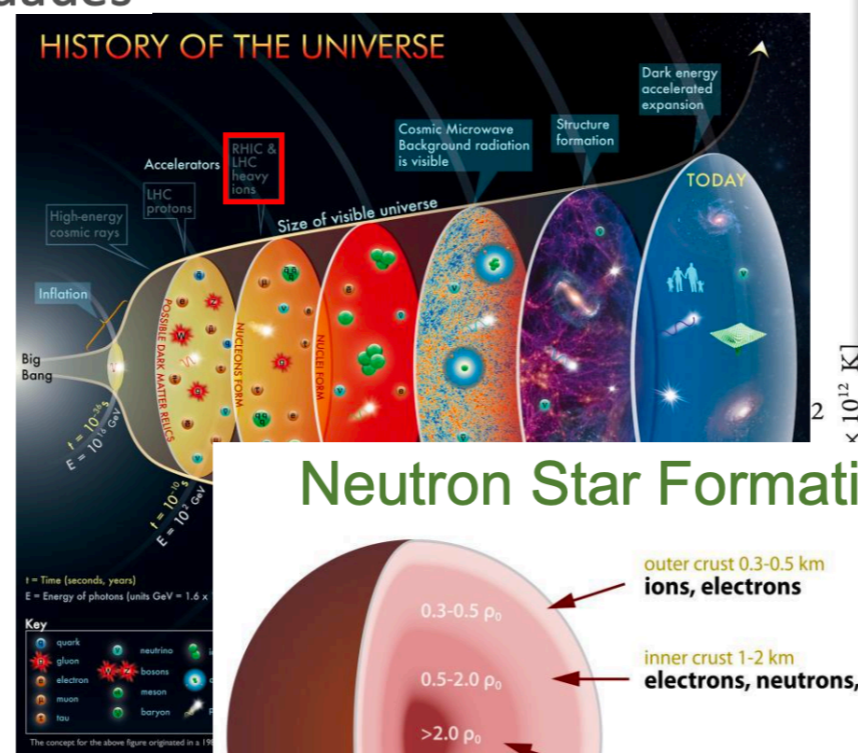


Antiproton Decelerator (AD)



- Caracterização do diagrama de fase da matéria nuclear
- Em particular, o chamado **Plasma de Quarks e Glúons (Quark-Gluon Plasma)**, estado da matéria nuclear esperado em altas temperaturas e densidades

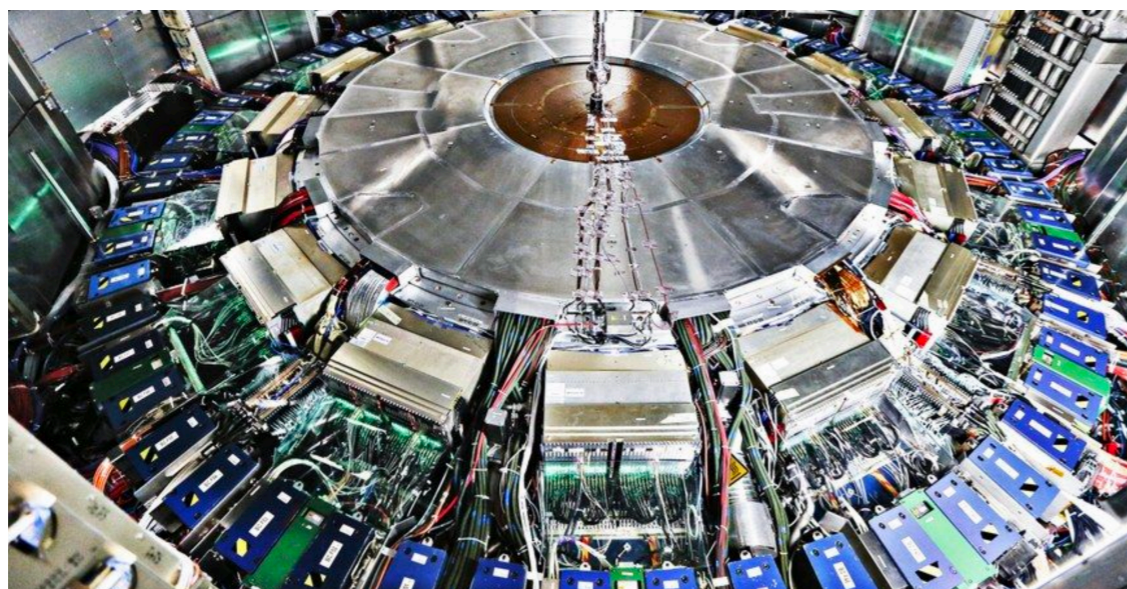
- Essencial para a compreensão da interação forte
 - Quais são as propriedades do QGP e qual é a relação entre elas e a interação fundamental da QCD?
- Laboratório para a matéria primordial do Universo e de estrelas de alta densidade



O Brasil no ALICE

- Contribuir para o programa de física do ALICE através de uma participação relevante
 - Na análise de dados
 - No desenvolvimento de instrumentação no estado-da-arte
- Participação atual
 - 4 Institutos
 - 9 docentes + 2 pós-doutores (1.8% do ALICE)
 - M&O – A: ~CHF 9.000,00 por pessoa por ano
 - 10 doutorandos (2.5% do ALICE)
 - 3 mestrandos (1.8% of ALICE)

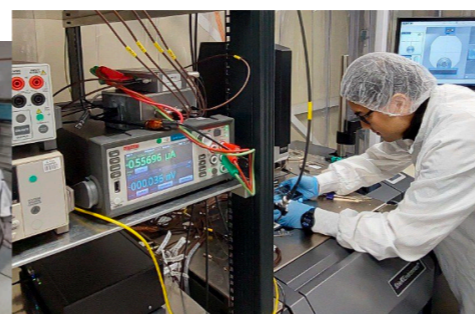
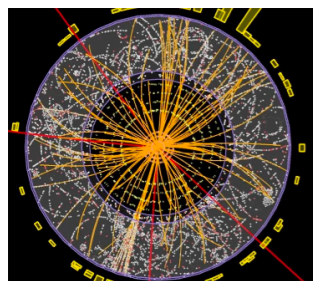




- 5 Instituições : USP, UFRJ, UERJ, UFJF and UFBA
- 85 membros
 - 15 pesquisadores (M&O A)
 - 23 estudantes de Doutorado
- 29 Teses de Doutorado defendidas
- Suporte : CNPq, FAPESP e FAPERJ

Participação brasileira no ATLAS

- Análises das colisões próton-próton
- Desenvolvimento de códigos e algoritmos computacionais
- Processamento dos dados (ATLAS + ALICE SAMPA Tier-2)
- Instrumentação para detecção de partículas e sistemas associados
- Participação nos projetos de atualização do experimento (Fase-I e Fase-II)
- Projetos de divulgação científica
- Participação nos comitês científicos e de governança do experimento



SPRACE

❑ Busca por Matéria Escura

Um dos problemas mais desafiadores da Ciência

- ❑ Busca por momento faltante + partícula prompt
- ❑ Partículas de vida longa: desaparecimento de traços ou vértices

❑ Produção Dupla do Higgs

Uso de **Aprendizado de Máquina** na identificação

- ❑ ParticleNet
 - ❑ A topologia *boosted* induz correlações pouco claras entre massa e sabor.
 - ❑ Abordagem de ML pode identificar sinais não correlacionados.

❑ Colisão de Íons Pesados

- ❑ Femtoscopia em sistemas pequenos (pp)
- ❑ Fluxo com mésons D^0 e partículas carregadas
- ❑ Velocidade do som na matéria quente da QCD

❑ Primeira Tier 2 oficial da América Latina

❑ Recursos

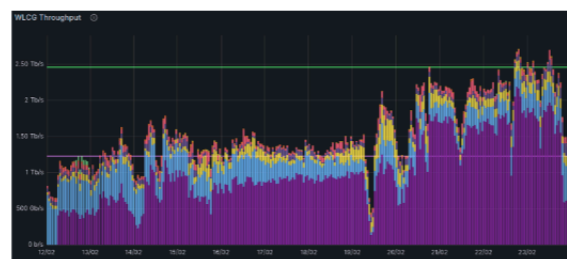
- ❑ **138 worker nodes**
 - ❑ 2.784 physical cores
 - ❑ 3.620 condor batch slots
- ❑ **3,83 PB de armazenamento**
- ❑ Link a **100 Gbps**: o mais rápido link acadêmico

❑ Performance no último ano

- ❑ **160,000 Jobs** do CMS executados
- ❑ Disponibilidade de **90,48%**

❑ Data Challenge 2024

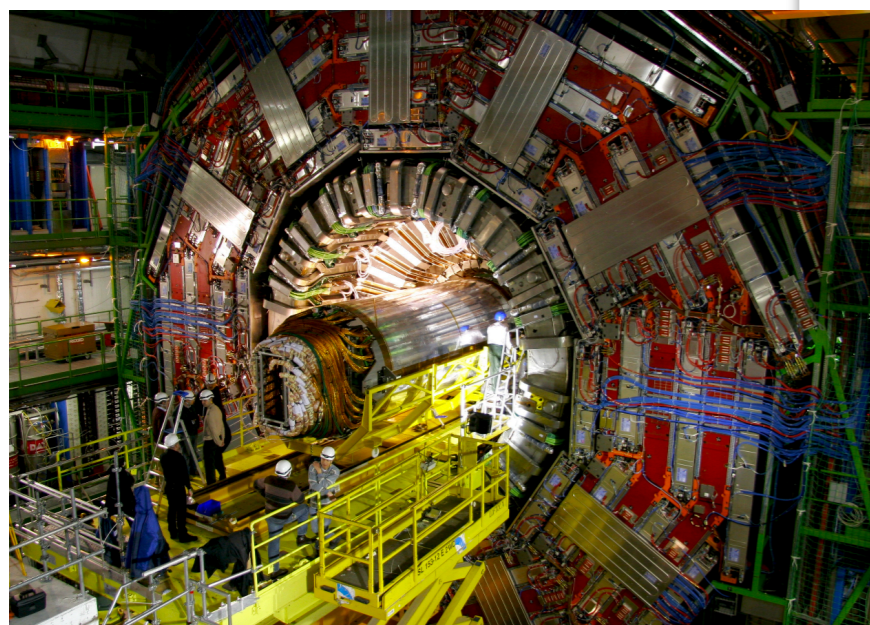
- ❑ **63,92 Gbps** do SPRACE para Fermilab
- ❑ Nenhuma interrupção na produção durante testes.



CMS-Rio

- Estruturantes:

- Inclusão de FAE nas linhas estratégicas das agências
- Estabelecer um programa de melhoria da infraestrutura de laboratório das instituições brasileiras
- Legislação mais clara para evitar tributação em remessa de recursos com finalidade científica
- Editais de longo prazo (5 a 10 anos)
 - recursos em rubricas adequadas
 - possibilidade de envio de recursos ao CERN, para pagamento de contribuições específicas para operação dos subsistemas (M&O B)
 - verbas para missões/trabalho de campo compatíveis com as atividades
- Bolsas de doutorado sanduíche de maior duração
- Possibilidade de bolsas pós-doc de longa duração no CERN, ligados a instituições brasileiras, para pesquisadores com ou sem vínculo
- Bolsas de visitante, para pesquisadores estrangeiros
- Bolsas de capacitação para estudantes (cursos de verão/treinamento)

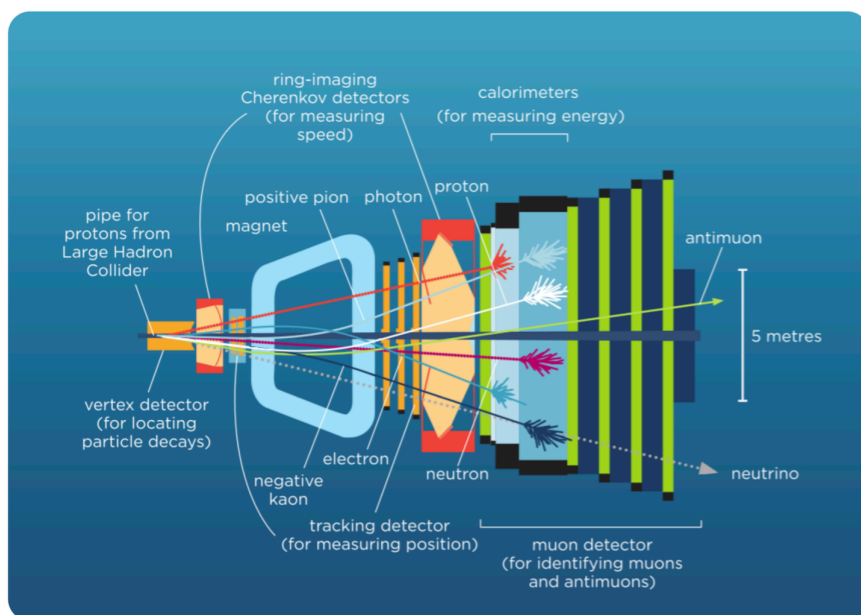


Dedicado ao estudo de hádrons com os quarks **b** e **c** “sabores pesados”

| | | | |
|--------|---|--|---|
| | 2.4 MeV/c ² 2/3 u up | 1.27 GeV/c ² 2/3 c charm | 171.2 GeV/c ² 2/3 t top |
| Quarks | 4.8 MeV/c ² -1/3 d down | 104 MeV/c ² -1/3 s strange | 4.2 GeV/c ² -1/3 b bottom |

- **Violação de Carga-Paridade:** Por que partículas e anti-partículas se comportam diferentemente ao decaírem?
- **Decaimentos raros:** buscas por efeitos de nova física via “falhas” do Modelo Padrão
- **Novos estados hadrônicos**
- **Entre outros....**

Fronteira de Precisão



Presente

- Grupo atual: 45 membros, 27 autores, 20 pagam M&O
- 41 artigos sendo 31 da colaboração ~4% dos artigos

Passado

- Participou do projeto e construção das 2 primeiras versões do LHCb, **deve 600 kCHF do upgrade I**
- 2 deputies (physics e VeLo), 1 ECGD, 1 chair do premio para jovens, 8 membros de comitês (ED e SB), 4 conveners, 8 sub-conveners e 2 membros de task force.

Atividades Realizadas

Somos (co)responsáveis por ~4% dos artigos do LHCb

- Instrumentação e software - 13 artigos
- Física do b - 15 artigos
- Física do c - 7 artigos
- EW, QCD e BSM- 6 artigos

Instrumentação

- Desenvolvimento do sistema de muons
- Câmaras - MWPC
- Eletrônica - CARIOCA
- Instalação & operação
- VeLo
- Desenvolvimento, instalação e operação do Upgrade I
- SciFi
- Desenvolvimento, instalação e operação

Computação

- Ambiente de análise do LHCb
- Trigger
 - divisão de bandas
 - L0 e L1 (muons)
 - HLT2 (linhas ligadas as análises de dados do grupo)
- RTA
- Muon ID

Operação

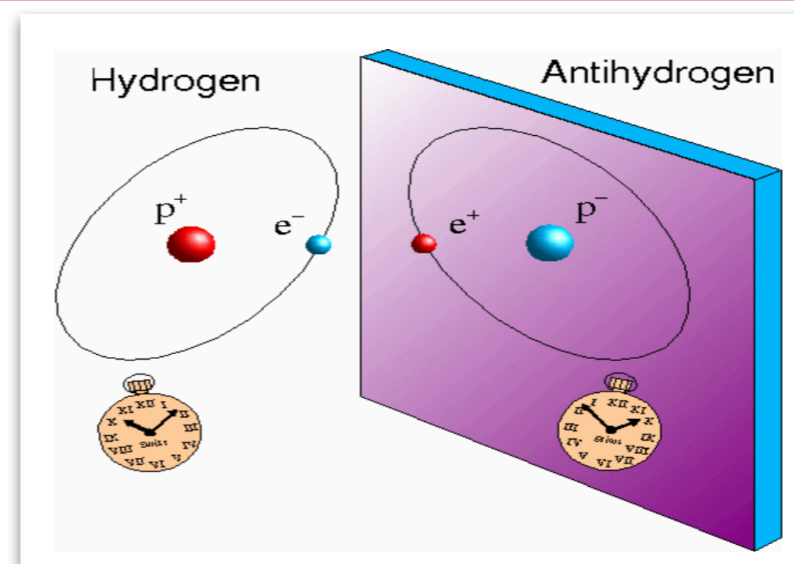
- Shifts
 - Shift leader, Data manager
 - System Piquet
 - Data Quality (remoto)

GRID

- Criação do Javier Magnin Data Center
- Tier 2 (LHCb - 2º em tempo de CPU)
- 80 máquinas - 5.635 cores
- Apoio a LHCb, ALICE, DUNE



ALPHA



ALPHA Brasil

UFRJ: 3 pesquisadores, 5 alunos M+D

ALPHA - Brasil: membros / finanças / necessidades / know-how : spin-offs ?

Atualmente 3 PhDs pagantes de M&O: CHF 8k/cada-ano. Em breve*(?): + Álvaro Oliveira e Levi Azevedo.

Recursos para duplicar sistema de MISu e aprisionamento de H- e H da UFRJ no CERN: ~CHF 200k

Pente de Frequências Óticas + Relógio Atômico de Cs para metrologia científica absoluta no Rio: ~EUR 350k

Know-How / Spin-offs:

1 - Gravímetro ótico em desenvolvimento de fase 2 (de campo) com patente recém depositada pela Petrobrás-UFRJ. Perspectivas da fase 3: licenciamento ou incubação de empresa.

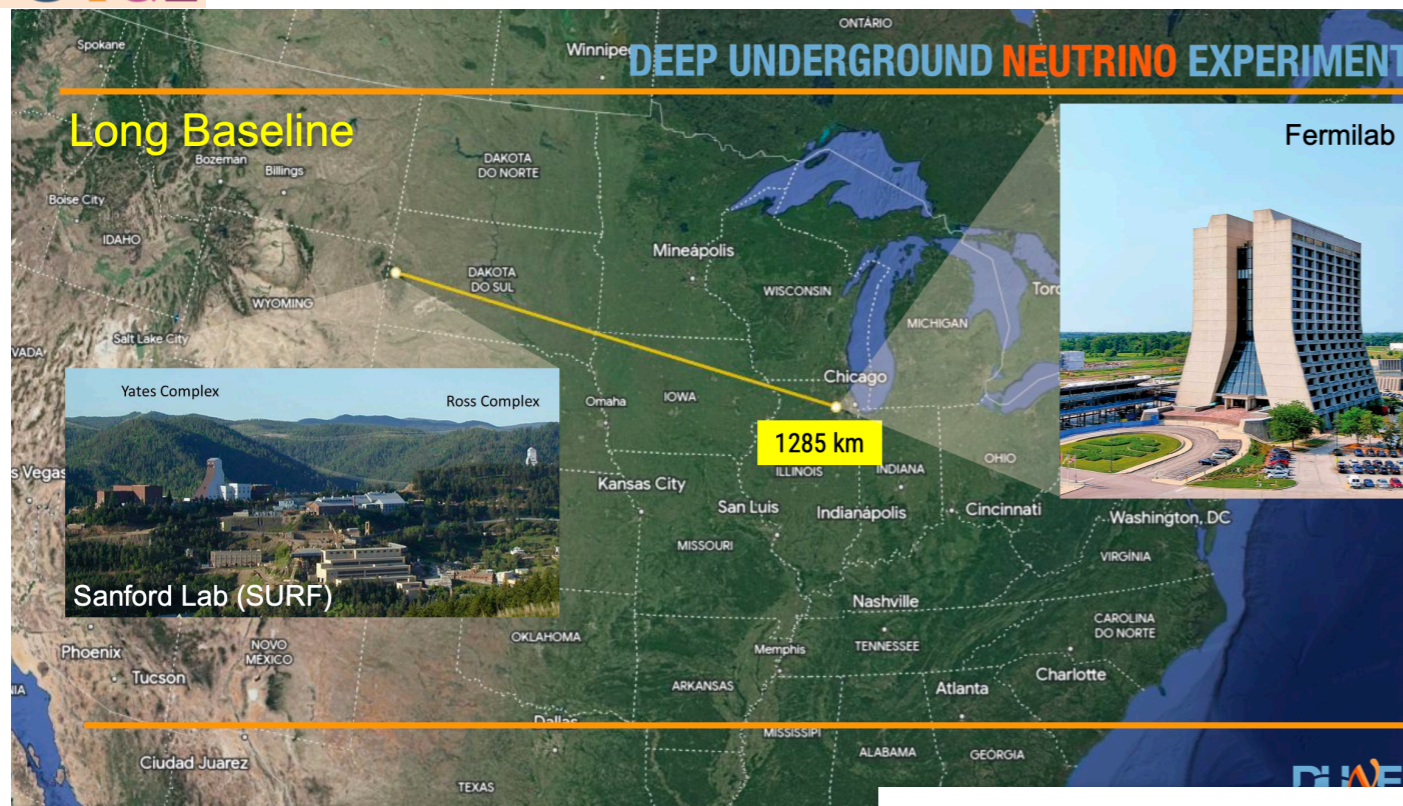
2 - Know-how para construção de lasers (ECDL) para indústria (medições interferométricas em materiais), pesquisa, e ensino -> empresa ?

3 - Know-how para construção de magnetos supercondutores compactos e barras de correntes supercondutoras de alta temperatura -> empresa ?

*É preciso investimento nos grupos brasileiros, crescente com projeção de longos prazos, para atrair o retorno dos pesquisadores ao BR. Já temos ex-alunos "perdidos", por exemplo, para empresas de computação quântica na França e grande empresa em Liechtenstein.

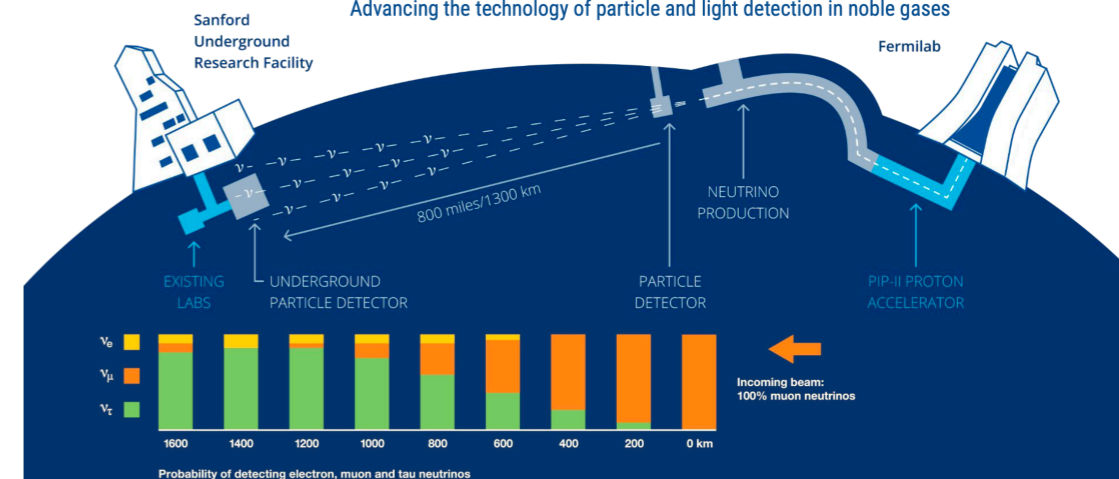


pequena colaboração



Our goals are

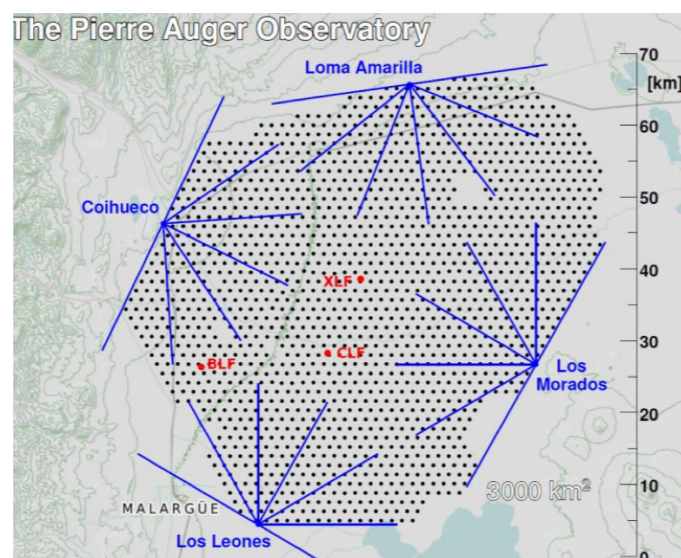
- To study the remaining pieces of the Neutrino puzzle
- With a rich science program involving other areas of nuclear physics and astrophysics
- Advancing the technology of particle and light detection in noble gases



Necessidades e Pontos Críticos

- **Common Funds (CF)** no valor de USD 3000 / PhD-ano. Acumulado USD 90k desde 2023. Para apoiar seriamente nosso envolvimento em grandes colaborações, o Brasil precisa de uma linha dedicada a CF/M&O para que os pesquisadores possam aplicar-se em grupo ou individualmente.
- **Maior mobilidade internacional:** Fomento específico para missões de trabalho, shifts e meetings, incluindo estudantes que não tenham outras fontes. Existe um compromisso com a nossa presença, principalmente durante os anos de pesquisa e desenvolvimento. Tanto pesquisadores quanto estudantes perdem em atuação e ganho de experiência pela dificuldade em angariar recursos para viagens internacionais.
- **Logística de equipamentos e instrumentos:** Equipamentos desenvolvidos no Brasil têm dificuldades alfandegárias. Instituições de pesquisa, agências de fomento e empresas brasileiras têm participado da entrega de sistemas fundamentais para os experimentos. É preciso criar canais para que estes equipamentos possam circular sem serem qualificados como exportação ou, ainda que absurdo, importação de componentes repatriados.
- **Falta de prioridades claras nas agências Federais:** Os valores apresentados são uma pequena fração das nossas propostas. Nota-se uma ausência de apoio de agências federais. Necessitamos de uma priorização proporcional ao impacto que as grandes colaborações têm na pesquisa brasileira. É sintomático que nossas propostas vêm sendo sistematicamente recusadas mesmo com excelentes avaliações de mérito.





O Observatório Pierre Auger tem por objetivo o estudo de **raios cósmicos de energias ultra altas, as partículas mais energéticas que conhecemos**. Raios cósmicos chegam continuamente à Terra vindas de todas as direções. Queremos estudar as suas características e saber quais são as fontes astrofísicas e os processos de aceleração que os originaram.

Instituições Participantes do Brasil

- Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF)
- Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca ([Cefet/RJ](#))
- Escola de Engenharia de Lorena (EEL- USP)
- Universidade Federal Fluminense (UFF)
- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ)
- Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
- Instituto de Física Universidade de São Paulo (IFUSP)
- Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)
- Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS)
- Universidade Federal do ABC (UFABC)
- Universidade Federal do Paraná (UFPR)
- Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)
- Instituto de Física USP - São Carlos (IFSC-USP)

- 16 docentes doutores
- 1 pós-doutor
- ~25 estudantes de mestrado e doutorado

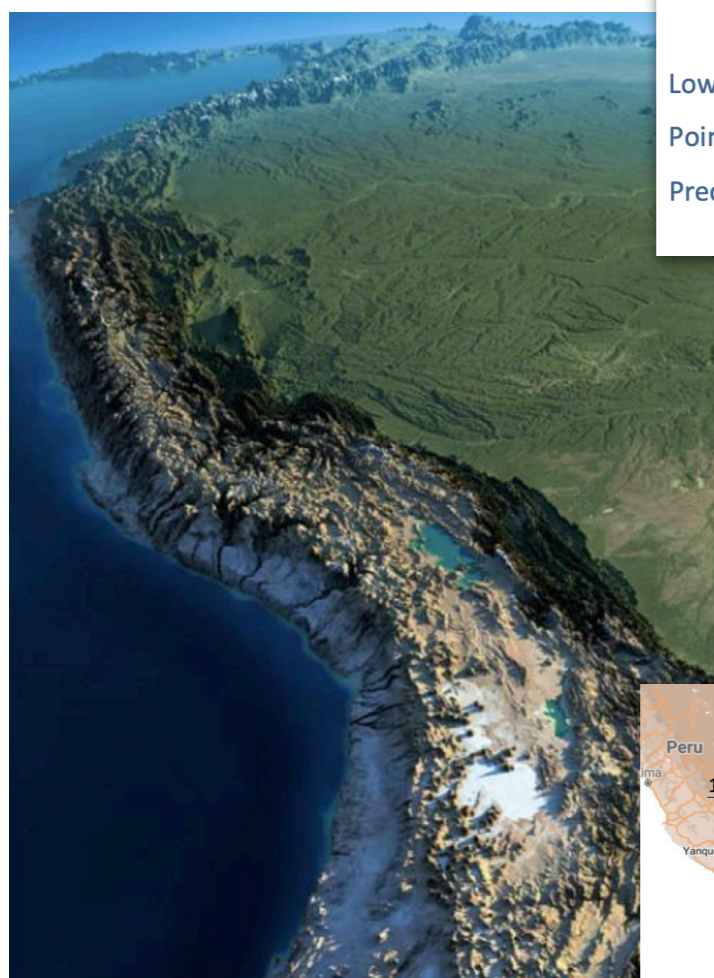
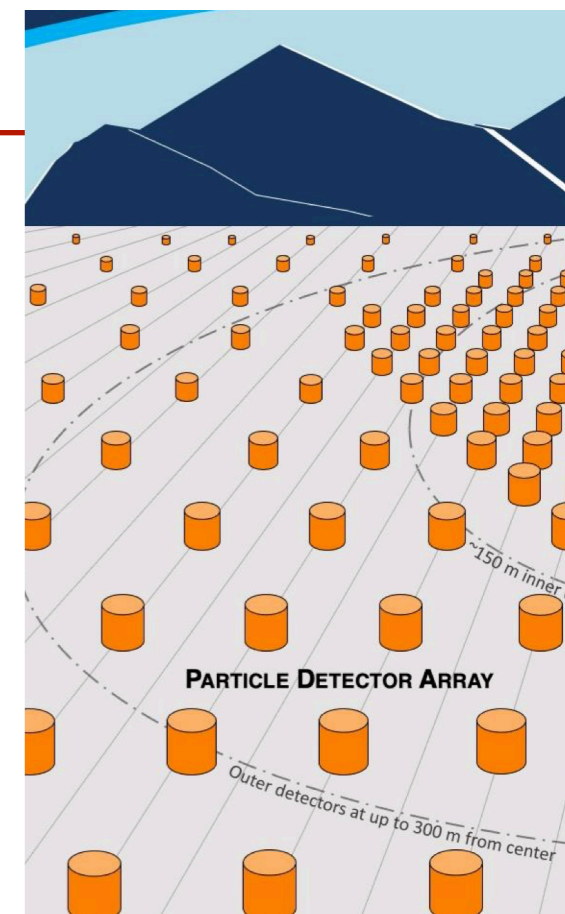
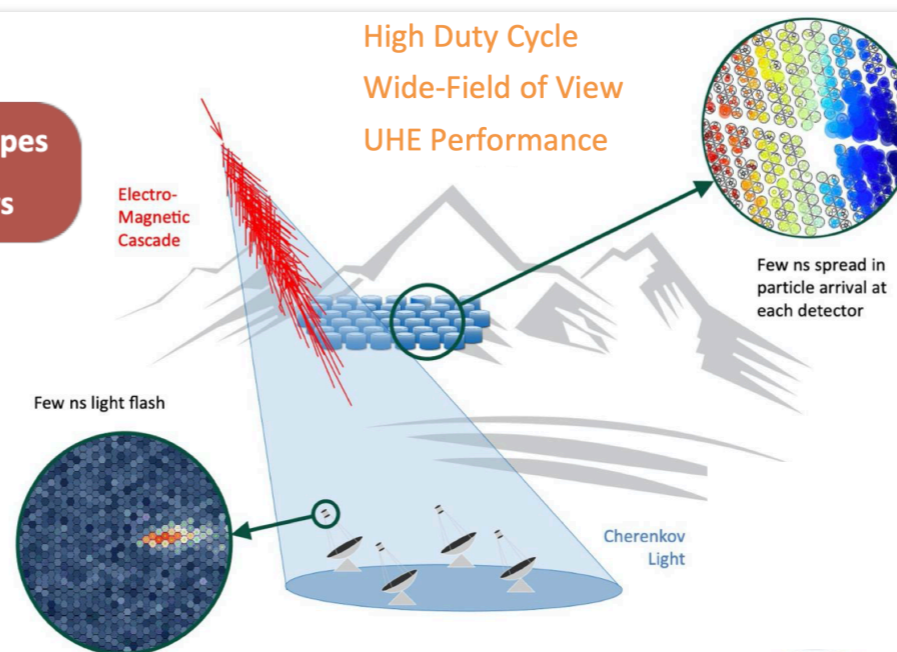


Southern Wide-Field
Gamma-ray Observatory

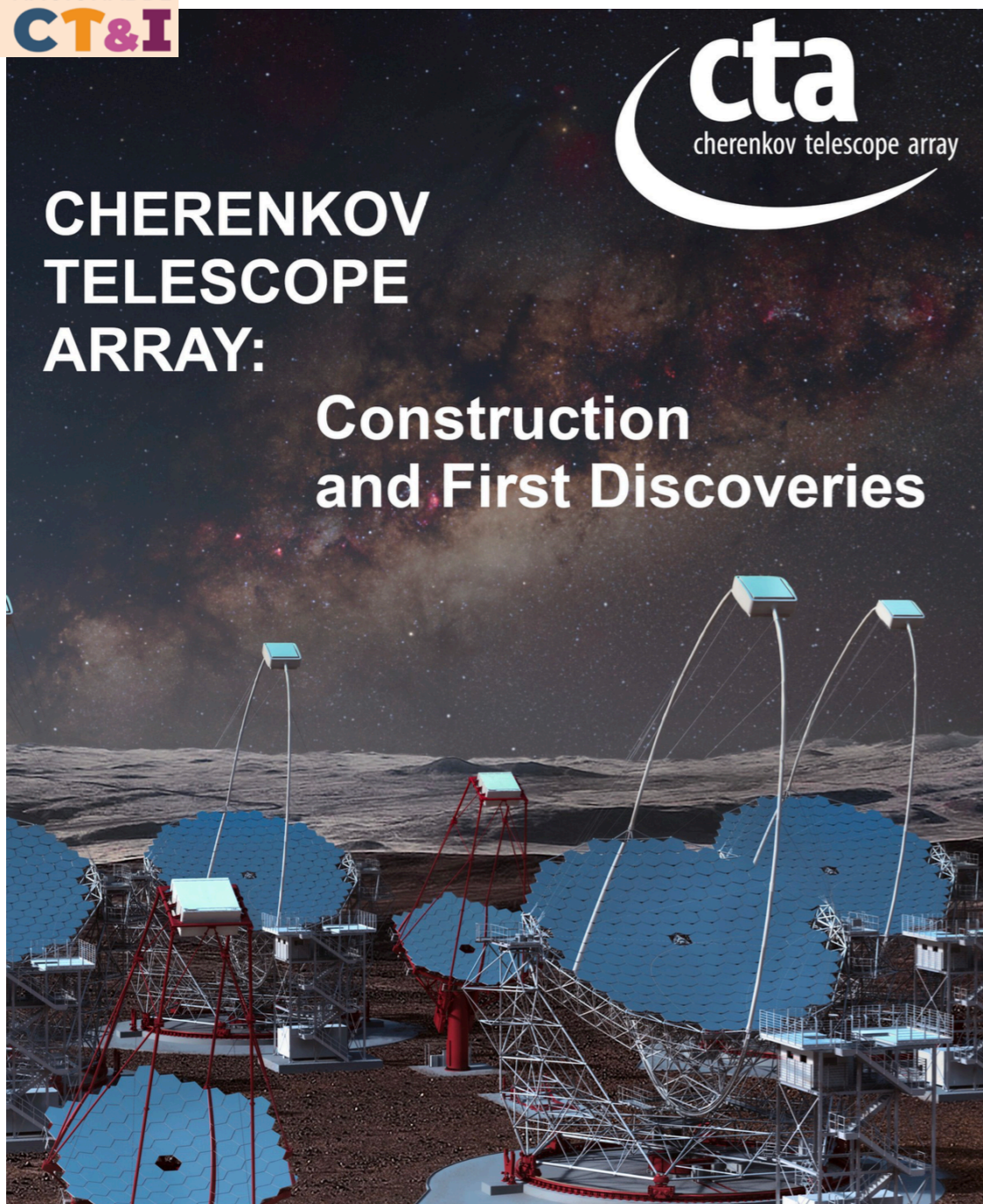
Two techniques

1. Air-Cherenkov telescopes
2. Altitude particle arrays

Low Duty Cycle
Pointing instruments
Precision Astronomy at VHE



- Até o momento, 16 pesquisadores (IAG-USO, IFSC-USP, IFF e CBPF)
- Perspectiva de construção de parte dos detectores pela indústria brasileira
- Fase final de P&D: definição do sítio e do *layout* do observatório em 2024
- Preparação e implantação de um *engineering array* em 2025 e 2026
- Fase de construção a iniciar em 2027



Desvendar ambientes e fenômenos extremos da natureza

Principal observatório de astrofísica de partículas nas próximas 3 décadas

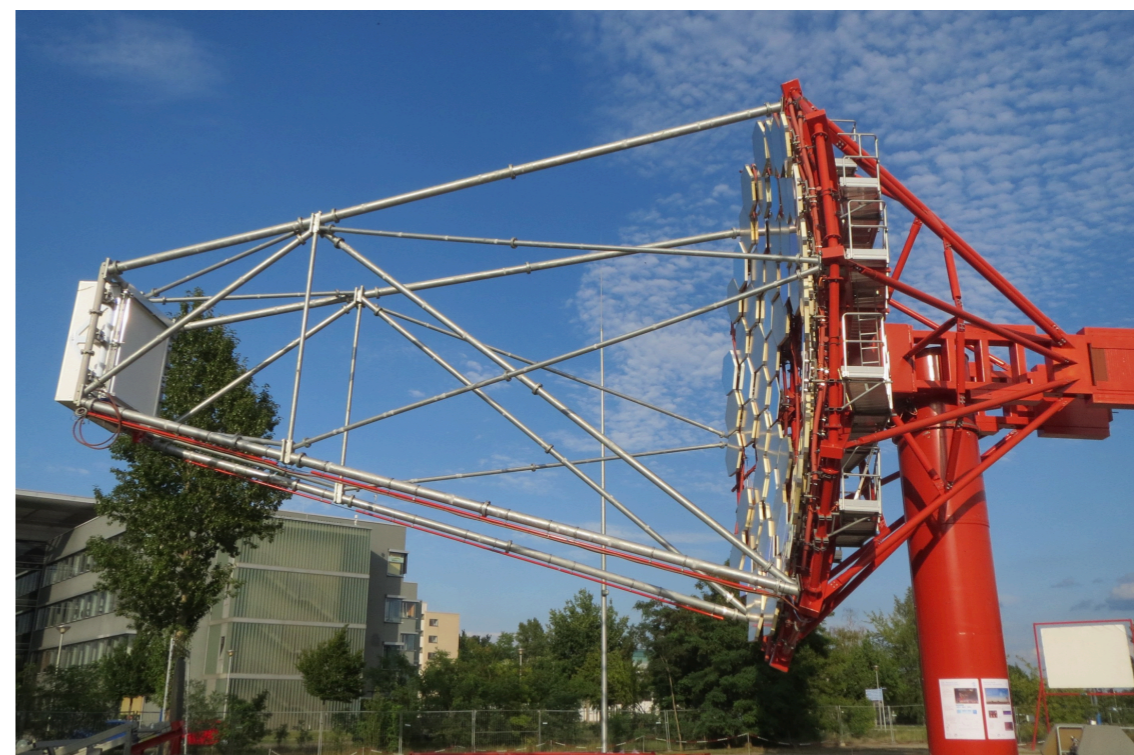
Inaugura uma nova janela de descobertas $E > 10 \text{ TeV}$



Dois sítios:

- **La Palma, Espanha**
- **Paranal, Chile**

45 pesquisadores no Brasil

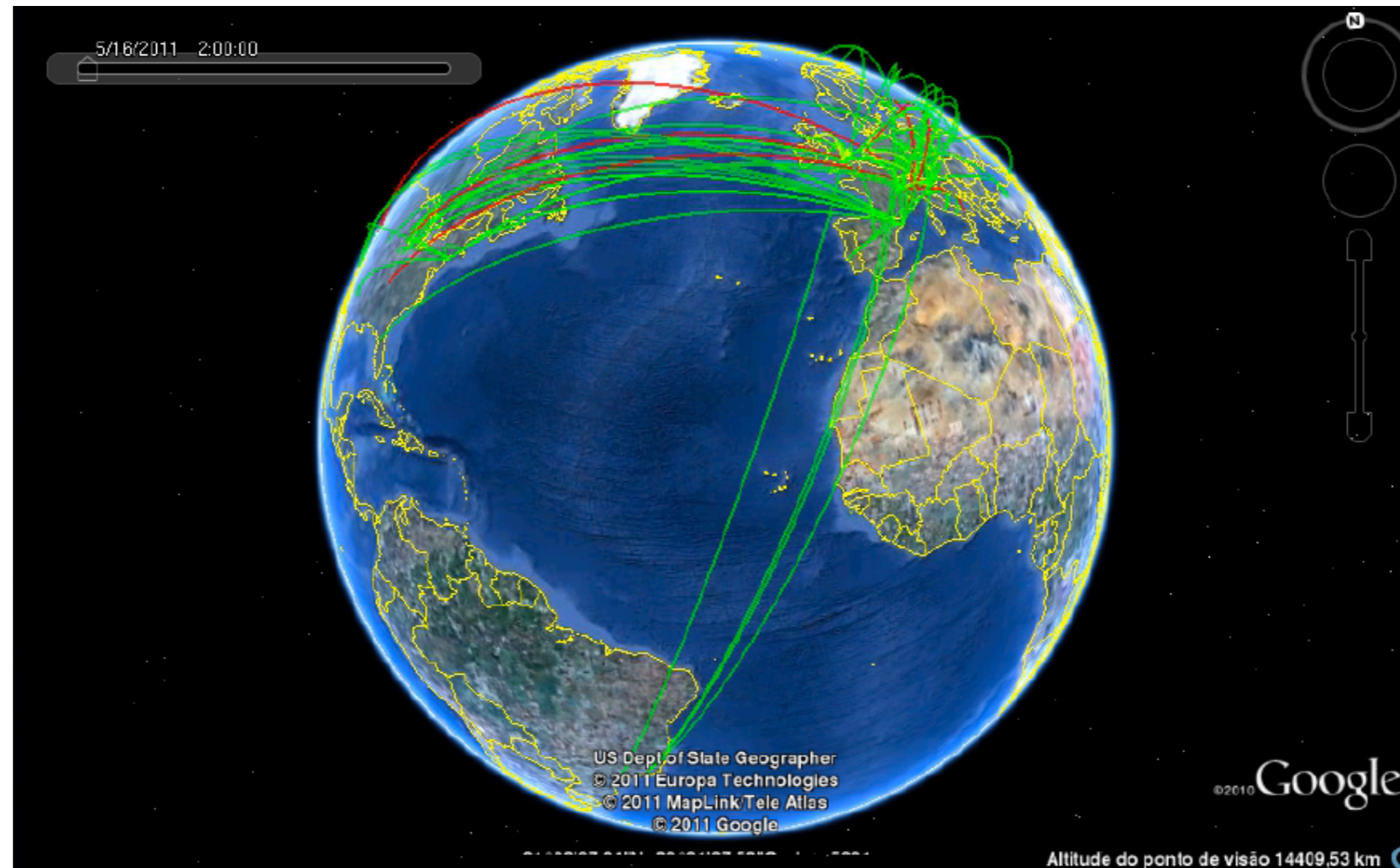


GRID

Computação de alto desempenho

Sistema de computação em GRID do LHC integra:

- ~400 mil processadores
- 200 centros de distribuição
- 34 países



Colaborações e Grupos Nacionais

| Experimento | Instituições nacionais | Docentes, Posdocs | Alunos M+D | Técnicos | Total |
|--------------|------------------------|-------------------|------------|-----------|------------|
| ALICE | 4 | 11 | 13 | | 24 |
| ALPHA | 1 | 3 | 5 | | 8 |
| ATLAS | 5 | 15 | 23 | 4 | 42 |
| AUGER | 13 | 17 | 25 | | 42 |
| CMS | 7 | 30 | 34 | 13 | 77 |
| CTA | 17 | 45 | 21 | 4 | 70 |
| LHCb | 3 | 20 | 17 | | 37 |
| DUNE | 11 | 29 | 14 | | 43 |
| SWGGO | 4 | 16 | 4 | | 20 |
| Total | 65 | 186 | 156 | 21 | 363 |

A participação em grandes colaborações internacionais requer acordos de compromisso com as instituições membros

- Dois aspectos são fundamentais:
 - Realização das diversas tarefas que compõe a participação em si, em tempos acordados previamente
 - Estabilidade nas contribuições financeiras, necessárias para construção, manutenção e operação dos experimentos

Compromissos financeiros

- Custo M&O: divisão em partes iguais entre todos os participantes
 - ➔ Pagamento de pessoal de apoio, infraestrutura, gases para os detectores, energia elétrica, computação, eletrônica e etc

| Experimento | # M&O | M&O/autor (kCHF) | M&O (kCHF) | TOTAL kR\$ |
|----------------------|------------|------------------|-------------|-------------------------|
| LHCb | 22 | 5.5 | 120 | 660 |
| ATLAS | 15 | 7.0 | 105 | 578 |
| ALPHA | 3 | 8.0 | 24 | 132 |
| CMS | 32 | 12.0 | 384 | 2.112 |
| CTA | 45 | 3.4 | 155 | 853 |
| ALICE | 11 | 9.1 | 100 | 550 |
| AUGER | 17 | 8.1 | 138 | 759 |
| Total Parcial | 145 | | 1026 | R\$ 5,643,000.00 |

- Compromissos adicionais:
 - Construção dos experimentos (upgrades)
 - Manutenção dos equipamentos (M&O-B)
 - Processamento de dados
 - Missões científicas no exterior
 - Bolsas no exterior de longa duração

Conclusões

- O Brasil atualmente tem uma comunidade madura em Física Experimental de Altas Energias
 - ▶ *longa tradição em raios cósmicos (desde Lattes!), envolvimento em grandes aceleradores a partir da década de 80*
 - ▶ *participação nos principais e mais relevantes experimentos*
 - ▶ *membros brasileiros têm assumido posições de liderança e responsabilidade*
 - ▶ *atualmente mais de 300 participantes, entre pesquisadores, alunos e técnicos*

- Organização nacional atualmente estruturada via
 - ➔ **RENAFAE - criada em 2008, inclui as principais colaborações**
 - ➔ **INCT-CERN - aprovado em 2023, colaborações com o CERN**

Conclusões

Os experimentos são mantidos, técnica e financeiramente, pelas mais de 200 instituições participantes em todo o mundo

experimentos estão fora do país!

- Participação nos experimentos envolve diferentes eixos
 - ▶ *projeto/construção/ manutenção e operação dos equipamentos (incluindo adequação da infra-estrutura local)*
 - ▶ *contribuição para processamento de dados → instalações computacionais*
 - ▶ *desenvolvimento de software*
 - ▶ *análise de resultados físicos*
 - ▶ *participação no gerenciamento do experimento (papéis de liderança)*
 - ▶ *participação in loco (mobilidade):*
instalação/manutenção de detectores, plantões de tomadas de dados, reuniões presenciais

Conclusões

- ◎ A recente inclusão como Membro Associado do CERN é um enorme avanço e consequência dos esforços até então
 - ▶ *maior internacionalização da indústria nacional, oportunidades de novos negócios e incorporação de novas tecnologias*
 - ▶ *participação no desenvolvimento da infraestrutura do CERN (aceleradores e serviços de apoio)*
 - ▶ *maior responsabilidade em projetos de pesquisa e desenvolvimento*

- ◎ **Mas não abrange a cobertura das obrigações que os grupos brasileiros têm com a suas respectivas colaborações:**
 - ➔ desenvolvimento/instalação/manutenção de equipamentos
 - ➔ pagamento compartilhado das despesas anuais de operação e manutenção dos experimentos
 - ➔ financiamento das missões de curto prazo
 - ➔ bolsas de longo prazo para atividades no experimento **incluindo possibilidade de períodos > 1 ano para perfis especiais!**

Conclusões

- Tanto nos projetos com CERN como outros (DUNE, CTA, etc) trata-se de **responsabilidades e compromissos assumidos a longo prazo**, o que é um diferencial da área
- É preciso criar **mecanismos estáveis e de longa duração** para financiar a participação brasileira
 - ➔ *A Física de Altas Energias possui particularidades, por seu caráter altamente internacionalizado, que não são contempladas pelos editais atuais das agências de fomento*

Necessárias linhas de financiamento específicas, que contemplem as particularidades da área, de média e longa duração, com desembolsos regulares e previsíveis