

○ LHC e o futuro da física de partículas

José Guilherme Milhano

CENTRA/IST

4ª Escola de Astrofísica e Gravitação (EAG)

– 6 Set 2008 –

↻ L(arge) H(adron) C(ollider)



- **Large**

perímetro de $\sim 27\text{km}$

:: re-utiliza o túnel do LEP

:: energia máxima depende do raio do acelerador e da magnitude do campo magnético dipolar que mantém as partículas em órbita

- **Hadron**

protões e iões de Pb [hadrões]

- **Collider**

energia do CM é a soma das energias de cada um dos feixes [a circular em sentidos diferentes]

:: vantajoso relativamente a alvo fixo

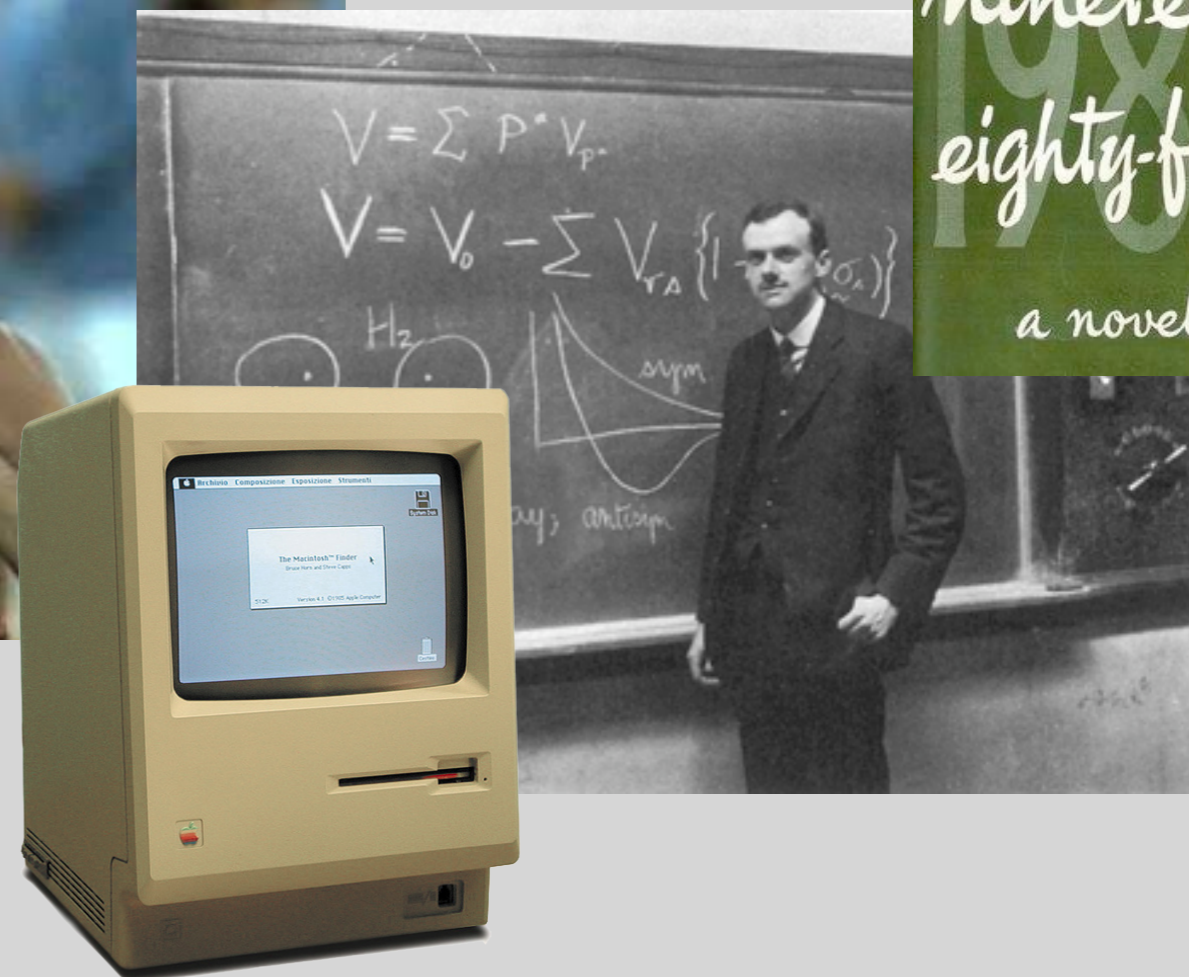
🔄 1984



George Orwell
nineteen
eighty-four
a novel



"for their decisive contributions to the large project, which led to the discovery of the field particles W and Z, communicators of weak interaction"



Simpósio em Lausanne marca o início oficial dos trabalhos preparatórios para o LHC

[o LEP, que operou entre 1989 e 2000, ainda não estava construído]

↻ | 1989



LEP



GPS



cold fusion

Seinfeld



início da 'colaboração' LHC

🔄 mais a sério (i)

1992

- 'início' das experiências LHC
 - :: [expressões de interesse]
- lançamento do plano de estudos de exequibilidade técnica
 - :: [acelerador a funcionar a $1.9\text{K} = -271.3^\circ\text{C}$]

1994

- aprovação da construção do LHC pelo CERN Council

1995

- publicação do LHC technical design report
 - :: [detalhes de operação e arquitectura do futuro acelerador]

1996

- CMS e ATLAS aprovadas [general discovery experiments]
 - :: origem da massa [descoberta do bóson de Higgs]
 - :: exploração de possibilidades para matéria escura [SUSY?] e energia escura

🔄 mais a sério (ii)

1997

- ALICE aprovada com re-utilização do imán L3 do LEP
 - :: experiência de iões pesados para descoberta e caracterização do plasma de quarks e gluões (QGP) hipoteticamente existente nos primórdios (de 10^{-35} a 10^{-12} s) do universo
- USA assinam acordo de participação no LHC (~750 físicos presentemente envolvidos no projecto)
- 1º protótipo de imán dipolar de 15m (tijolo LHC) produzido no INFN (Itália) e entregue ao CERN [o LHC utiliza 1232 destes dipolos]

1998

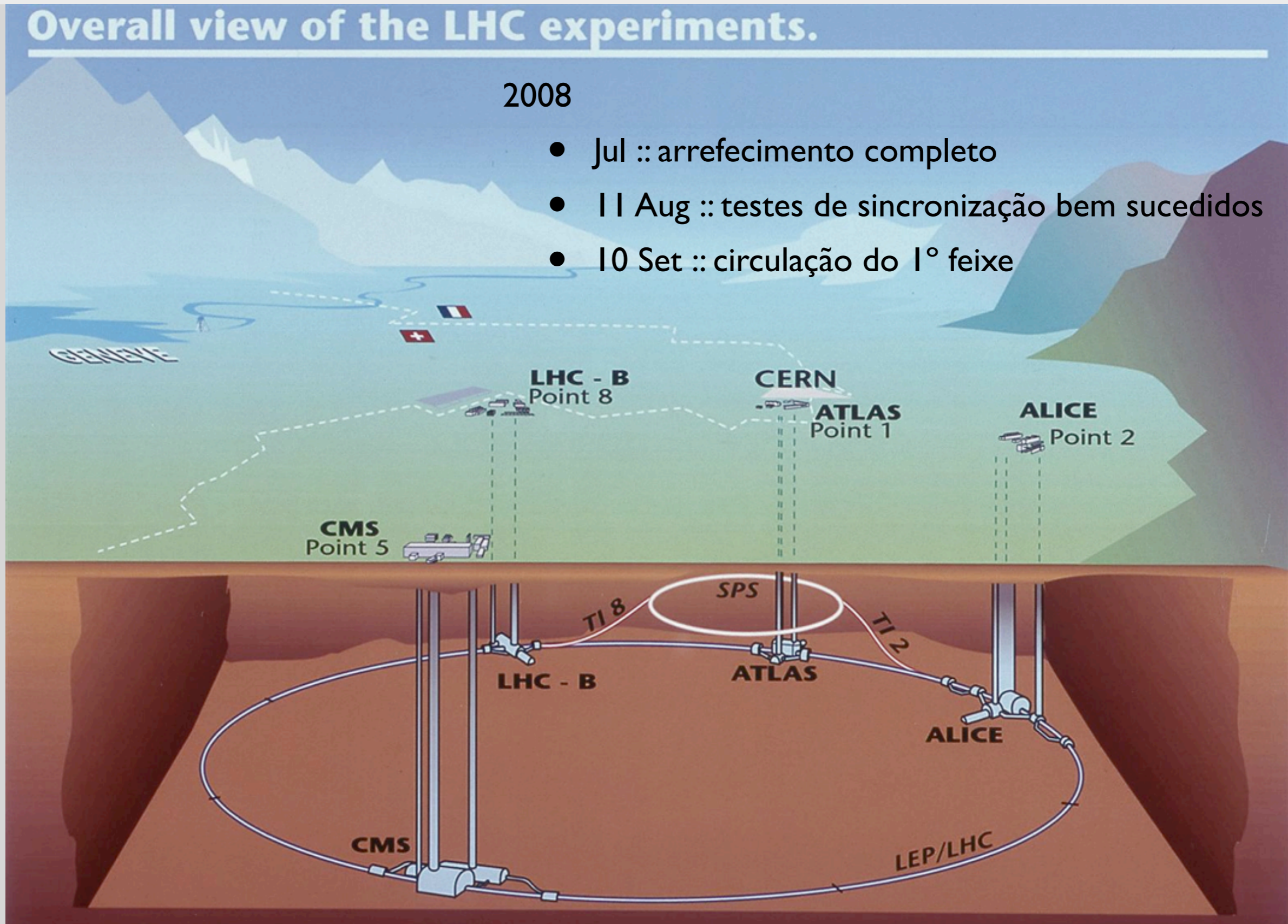
- início dos trabalhos de engenharia civil para ATLAS
 - :: [uma das duas cavernas será a maior alguma vez escavada em molasso 35m(l)x55m(c)x40m(a)]
- teste bem sucedido do imán dipolar atingindo o campo magnético de operação do LHC de 8.6 T
- LHCb aprovada
 - :: violação de CP
 - :: explicação da assimetria entre matéria e anti-matéria no Universo

🔄 e depois de tudo

Overall view of the LHC experiments.

2008

- Jul :: arrefecimento completo
- 11 Aug :: testes de sincronização bem sucedidos
- 10 Set :: circulação do 1º feixe

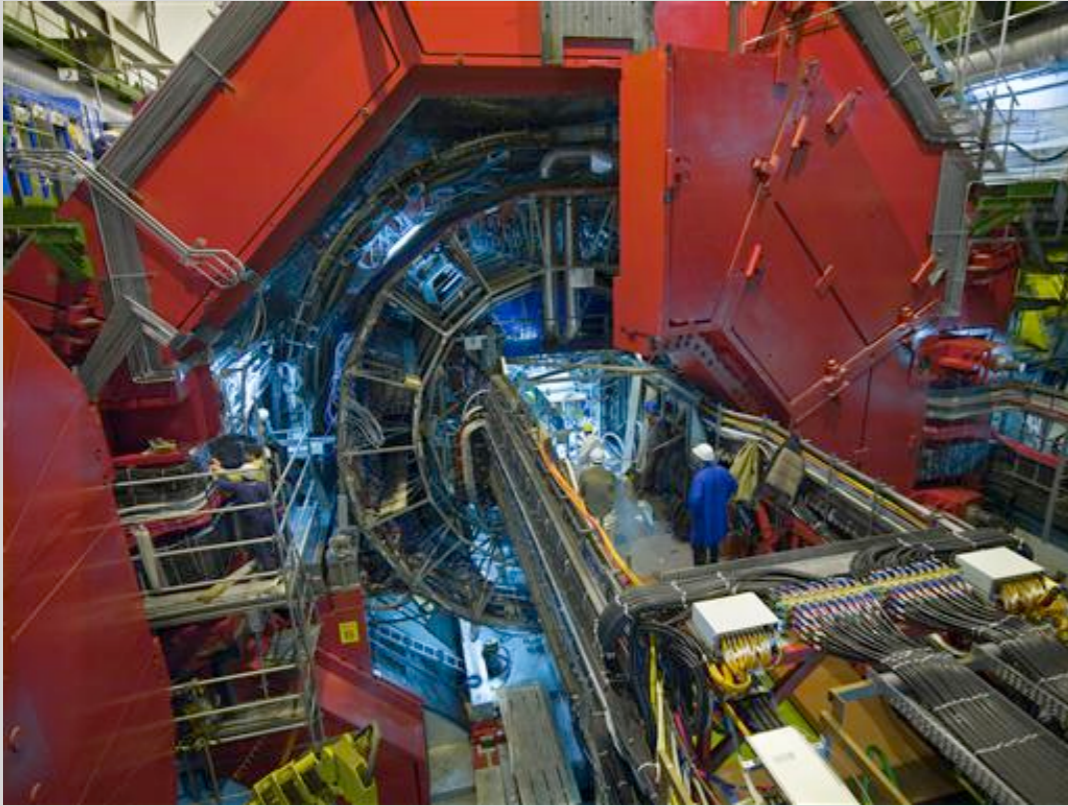


🔄 LHC em (alguns) números

cientistas	7000
países	44 (5 continentes)
perímetro	26 659 m
temperatura	1.9 K (dipolos) :: mais frio que espaço
vácuo	10^{-13} atm (feixe) ~9000 m ³ (isolamento)
imãs	9593 1232 dipolos, 392 quadrupolos
campo magnético dipolar	8.33 T
energia	protão 7 TeV [CM: 14 TeV] iões 2.76 TeV/u [CM: 5.5 TeV] (Pb: 1150 TeV)
colisões	600 milhões por segundo
dados	700MB/s (15PB/ano = 20km CDs em pilha)
custo directo	1 aeroporto (4 biliões de euros)

Detectores

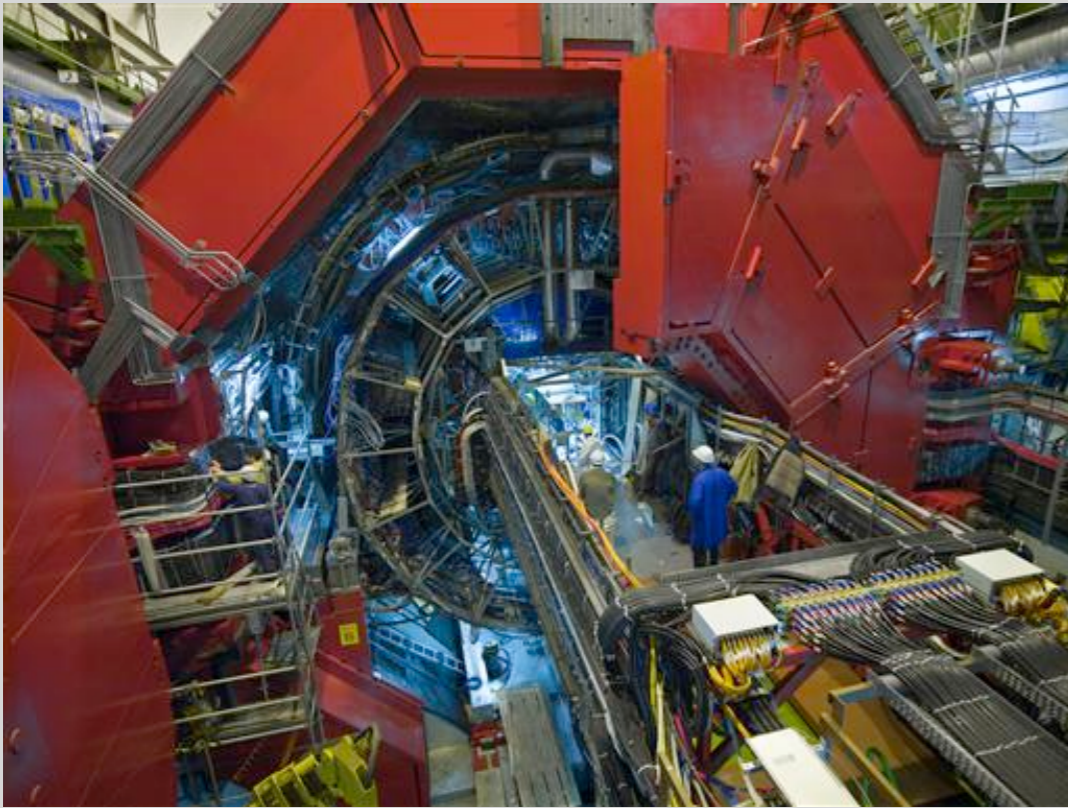
🔄 Detectores



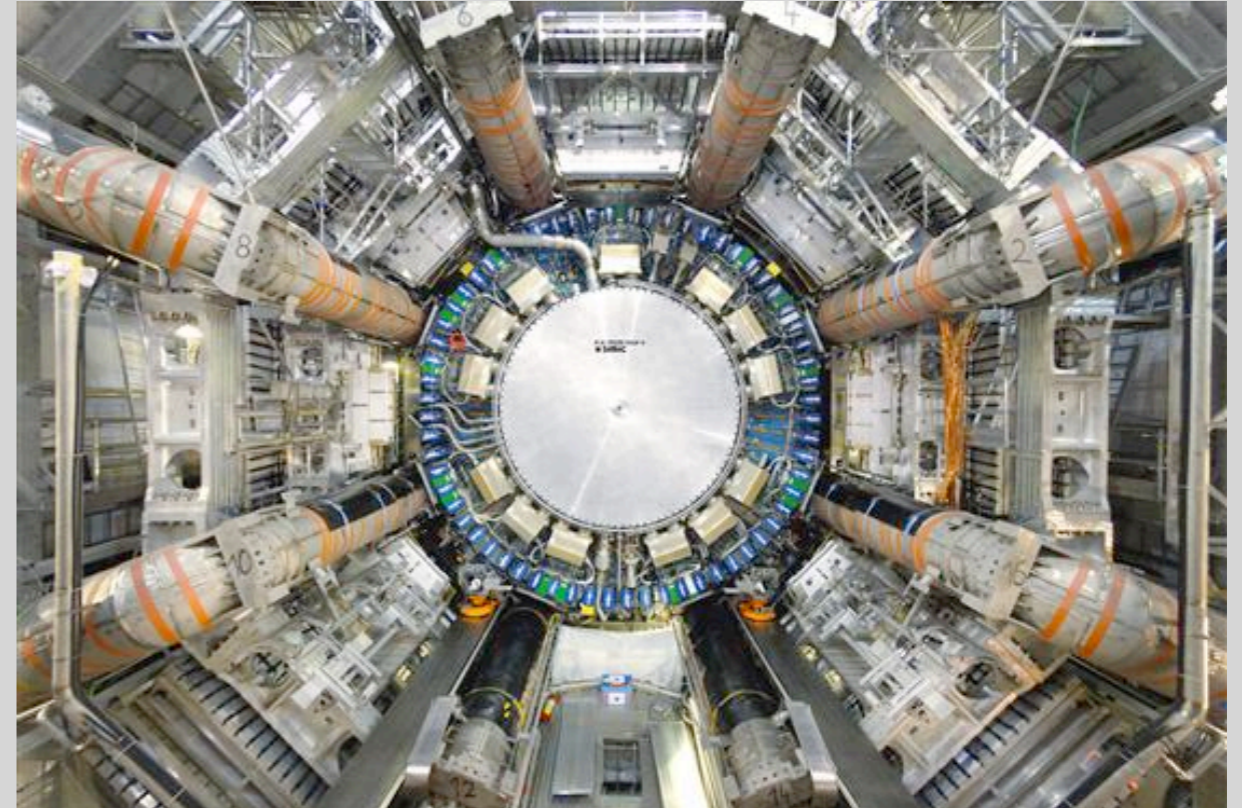
ALICE

1500 pessoas [104 institutos, 31 países]

🔄 Detectores

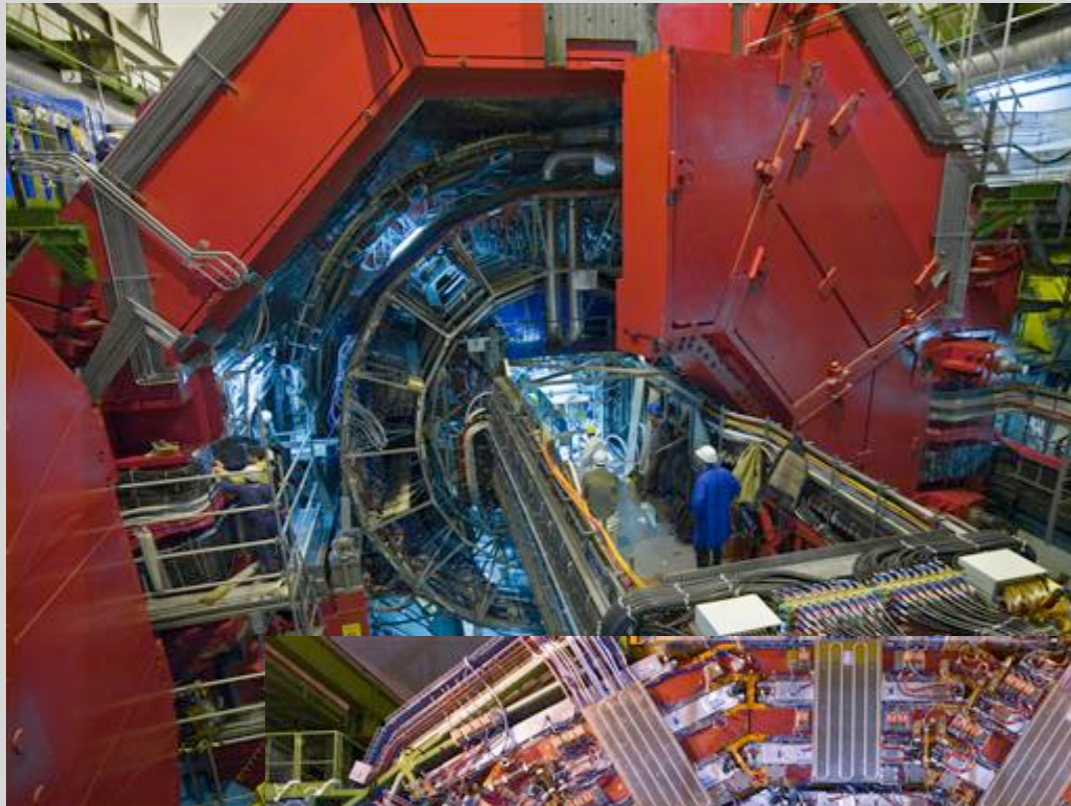


ALICE
1500 pessoas [104 institutos, 31 países]

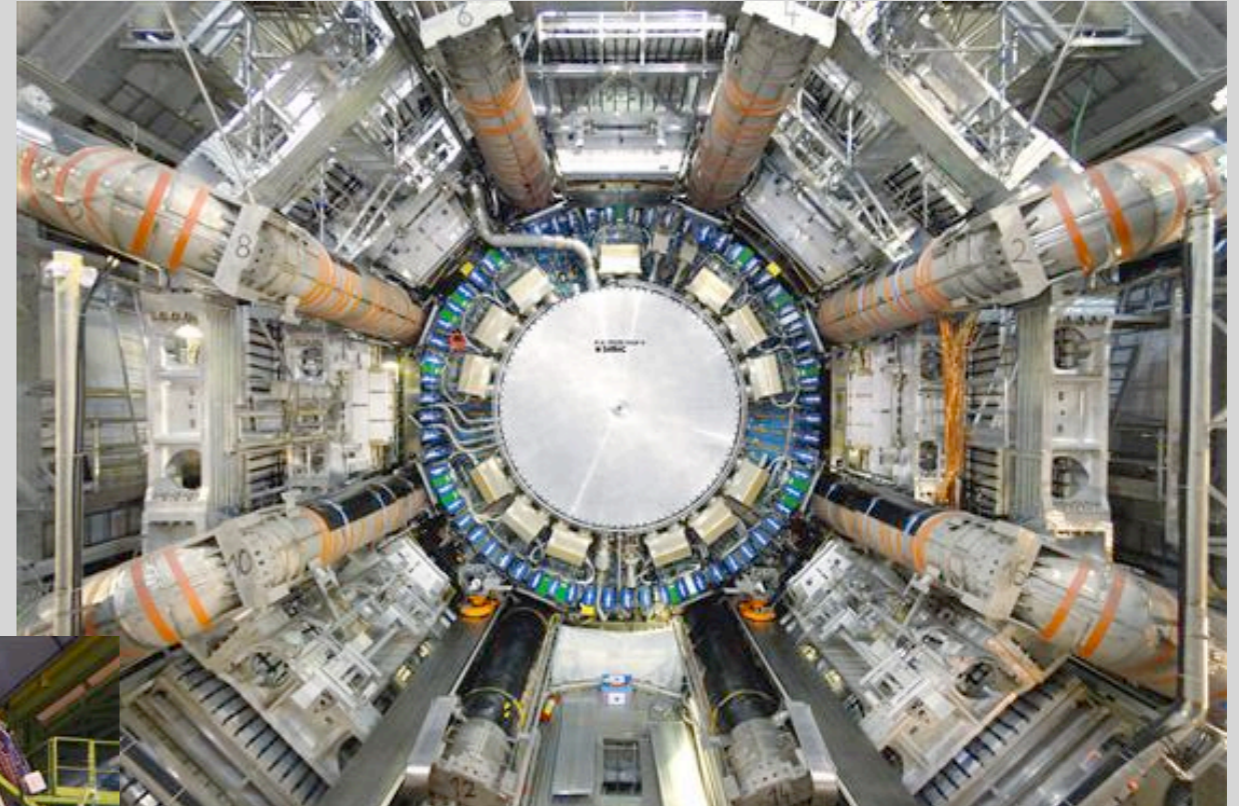


ATLAS
1900 pessoas [164 institutos, 35 países]

🔄 Detectores



ALICE
1500 pessoas

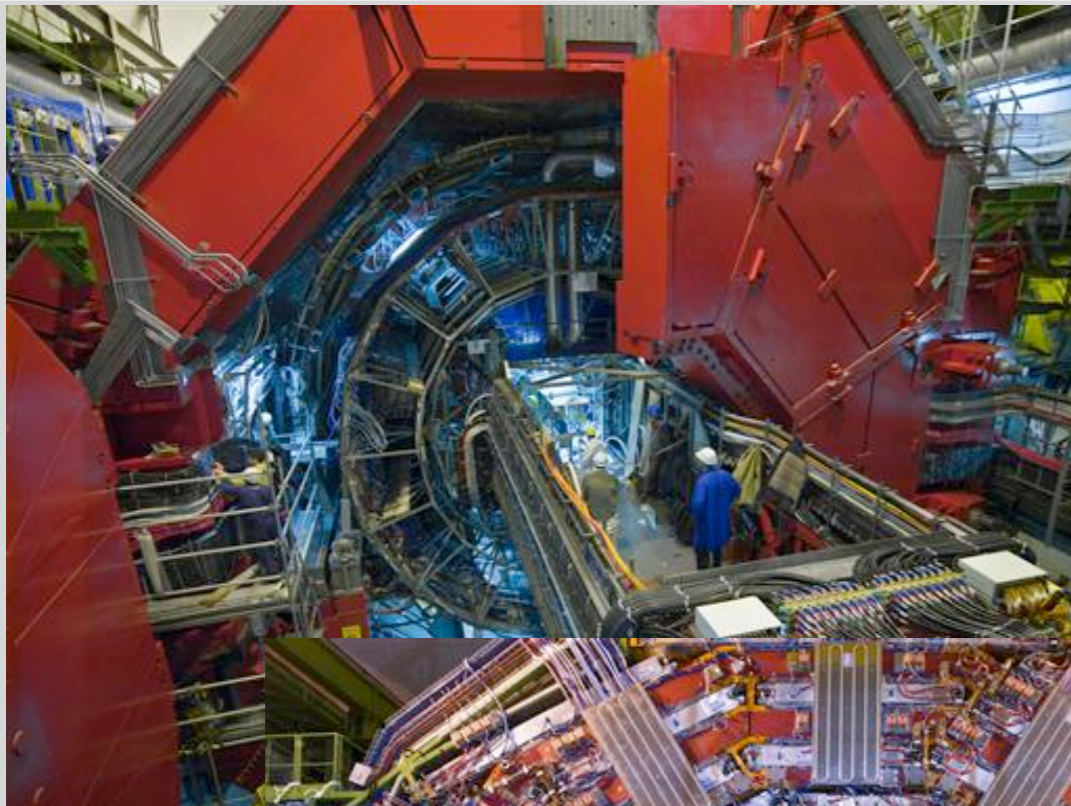


ATLAS
3000 pessoas [164 institutos, 35 países]

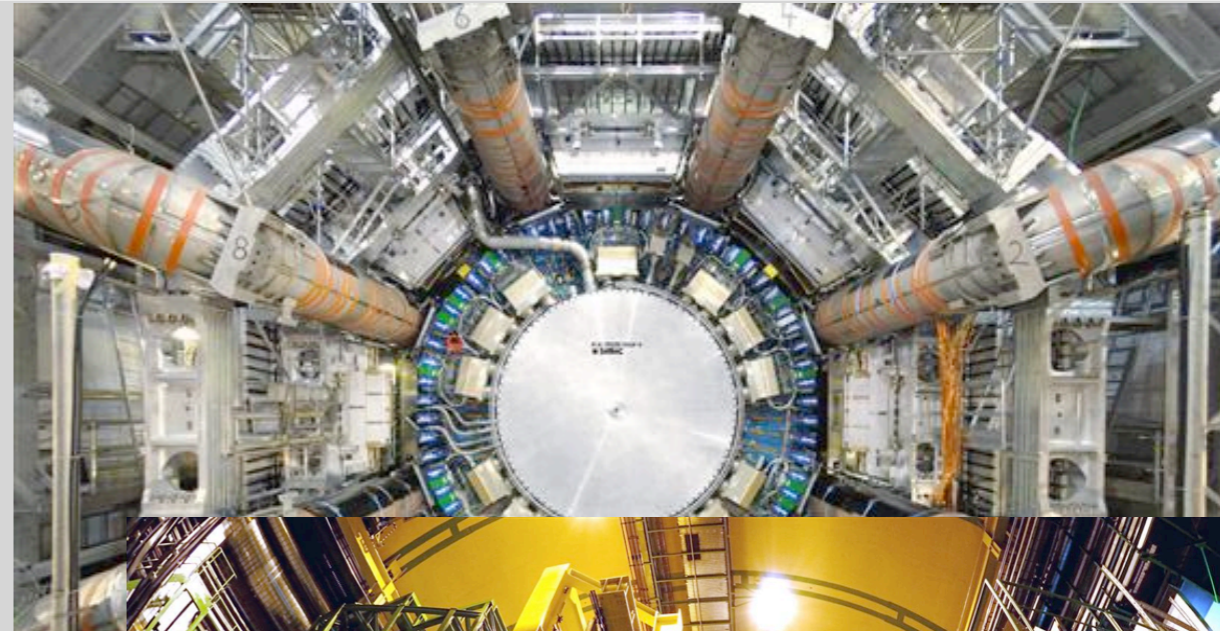


CMS
2000 pessoas [181 institutos, 38 países]

🔄 Detectores



ALICE
1500 pessoas

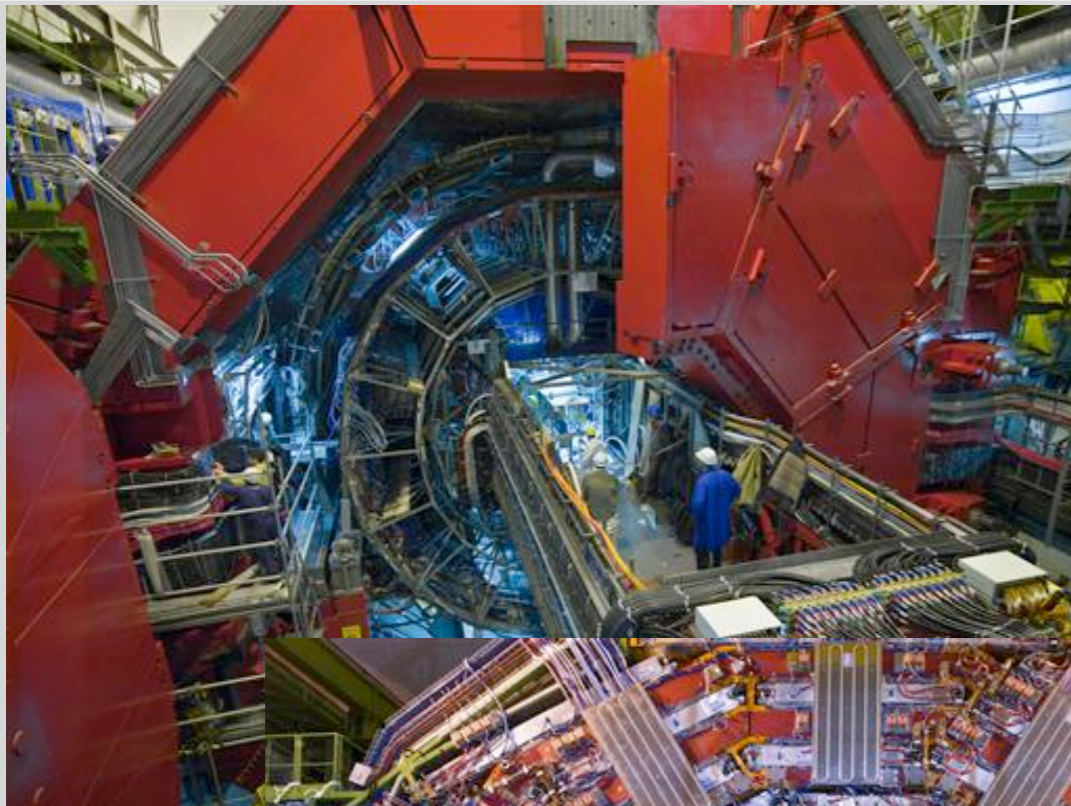


CMS
2000 pessoas [181 institutos, 38 países]

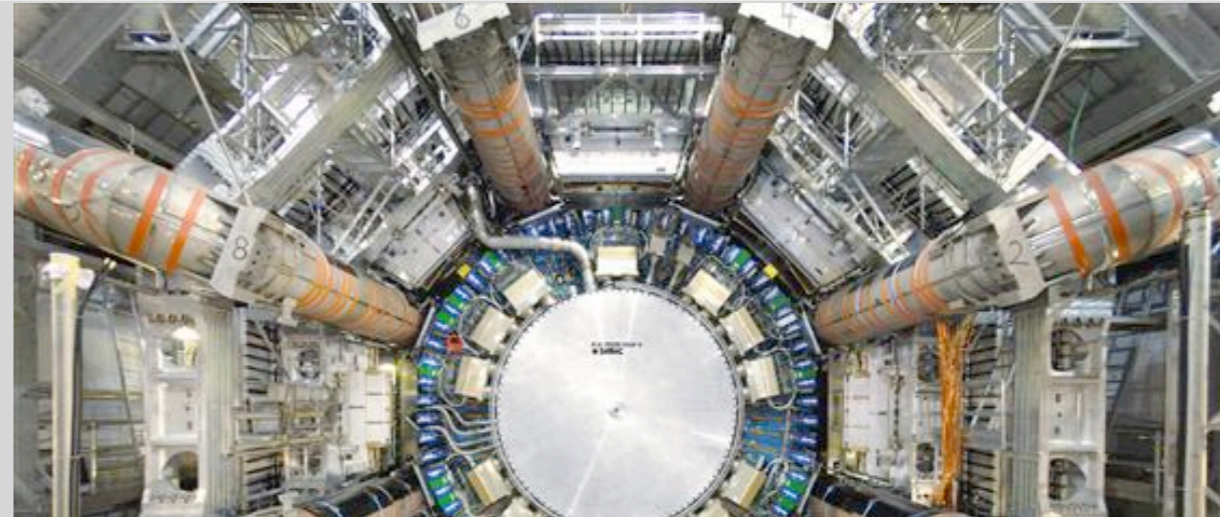


LHCb
650 pessoas [47 institutos, 14 países]

🔄 Detectores



ALICE
1500 pessoas



LHCb
650 pessoas



CMS
2000 pessoas [181 institutos, 38 países]

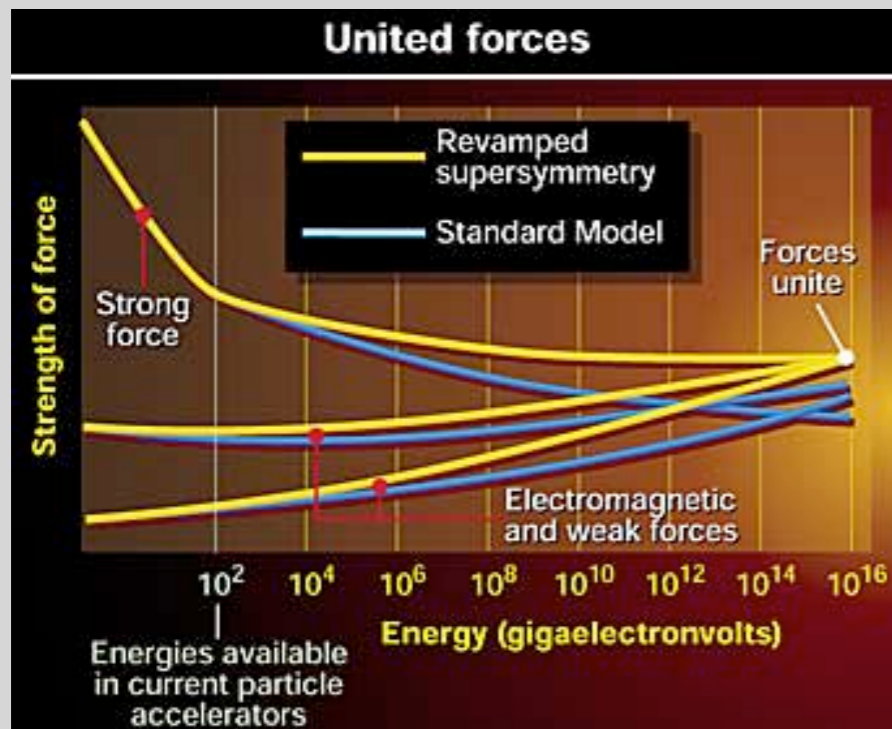
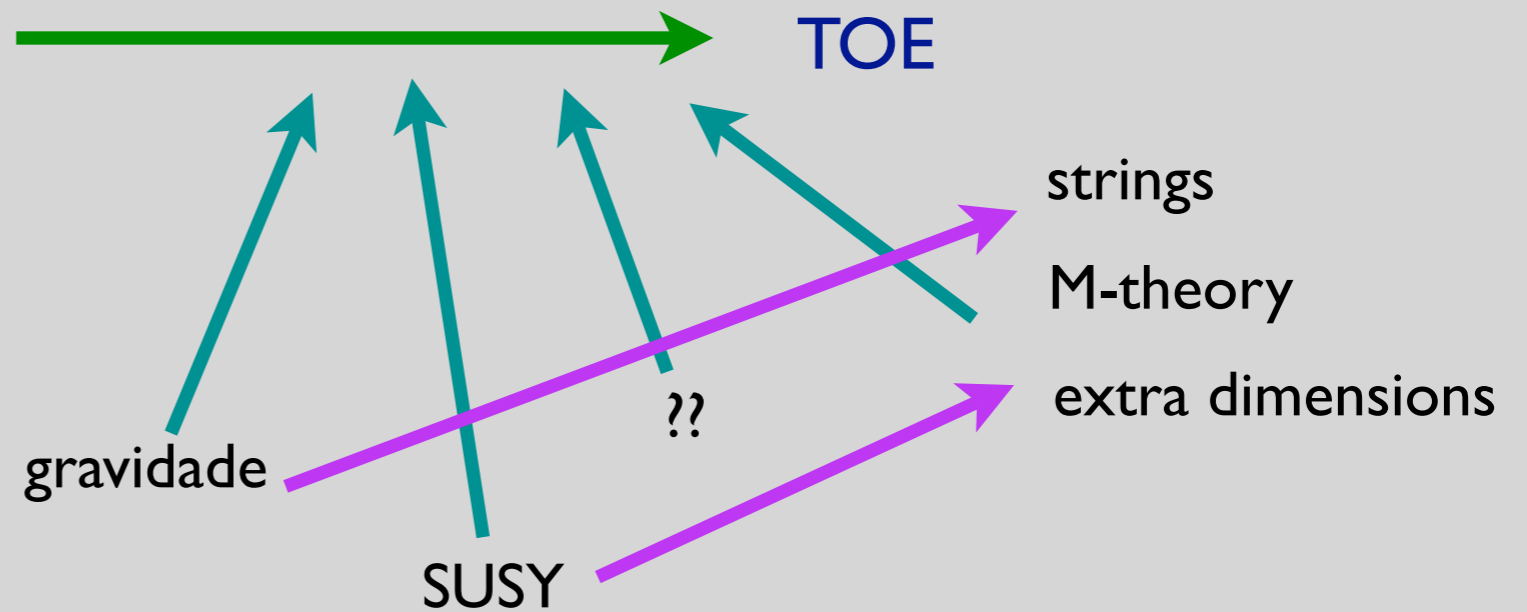


TOTEM
70 pessoas [10 institutos, 7 países]

🔄 O que valem 4 GEUR (i)

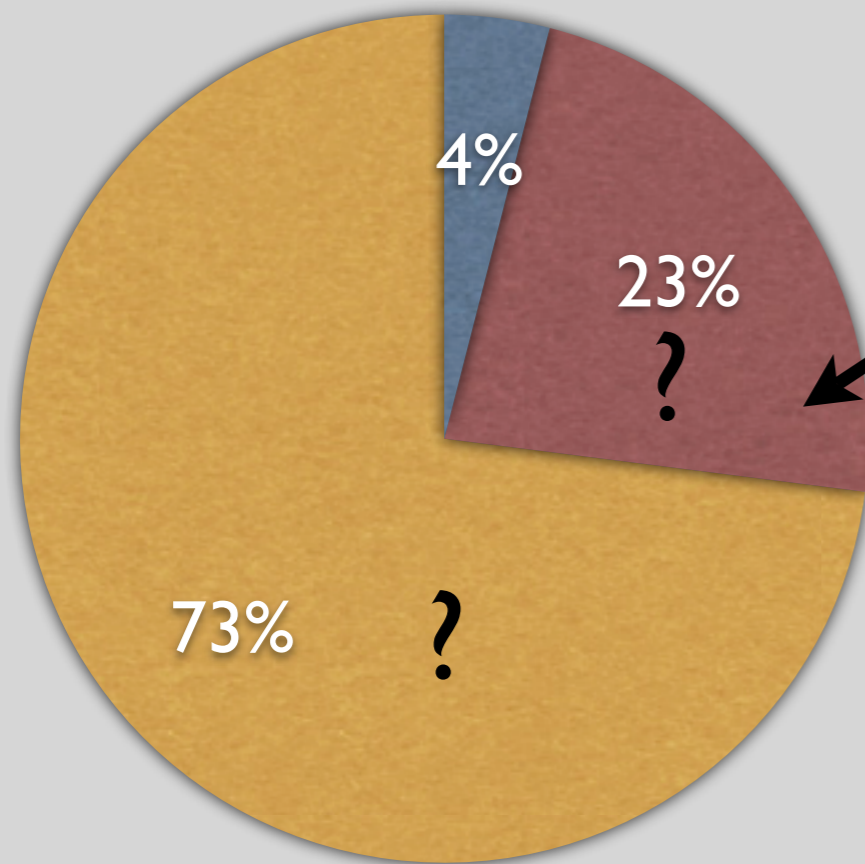
- validação definitiva [no seu limite de aplicabilidade] do Standard Model
 - origem da massa — mecanismo de Higgs
 - descoberta do bóson de Higgs [partícula do SM]
- possível unificação das interações fundamentais

forte
 $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$
electro-fraca



cenários de unificação 'favorecem' existência de Supersimetria
partículas supersimétricas mais leves detectáveis no LHC

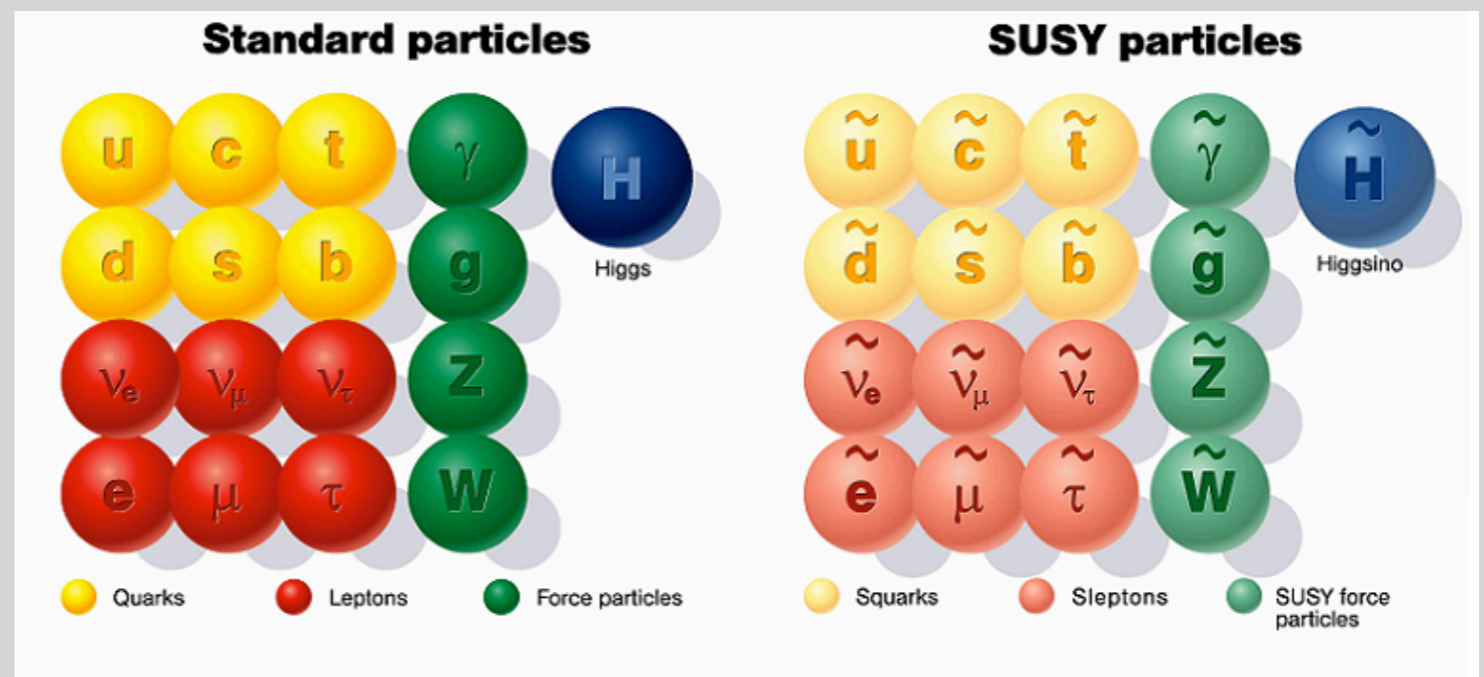
o que valem 4 GEUR (ii)



- matéria visível
- matéria escura
- energia escura

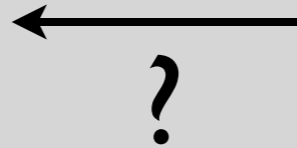
partículas supersimétricas neutras e pesadas ?

[neutralino]



o que valem 4 GEUR (iii)

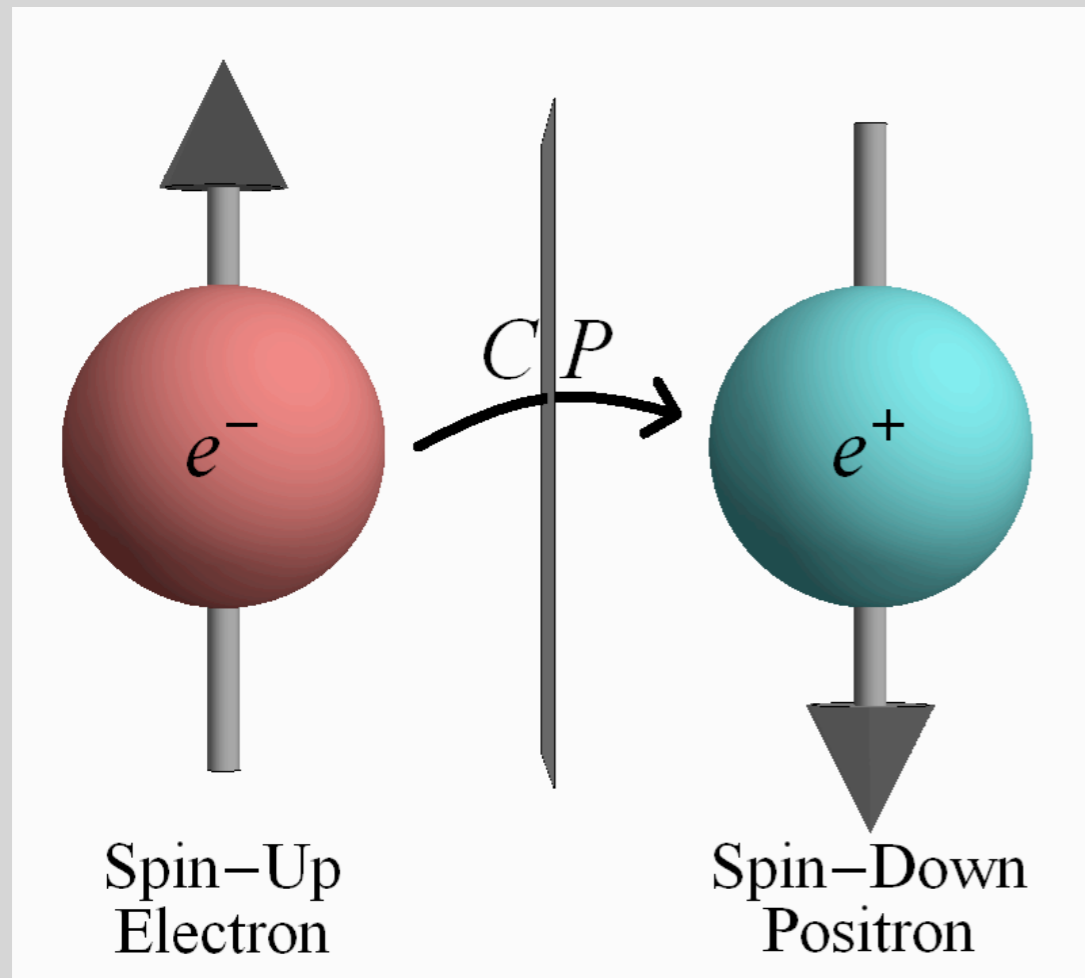
Universo presente
~100% matéria



violação de CP

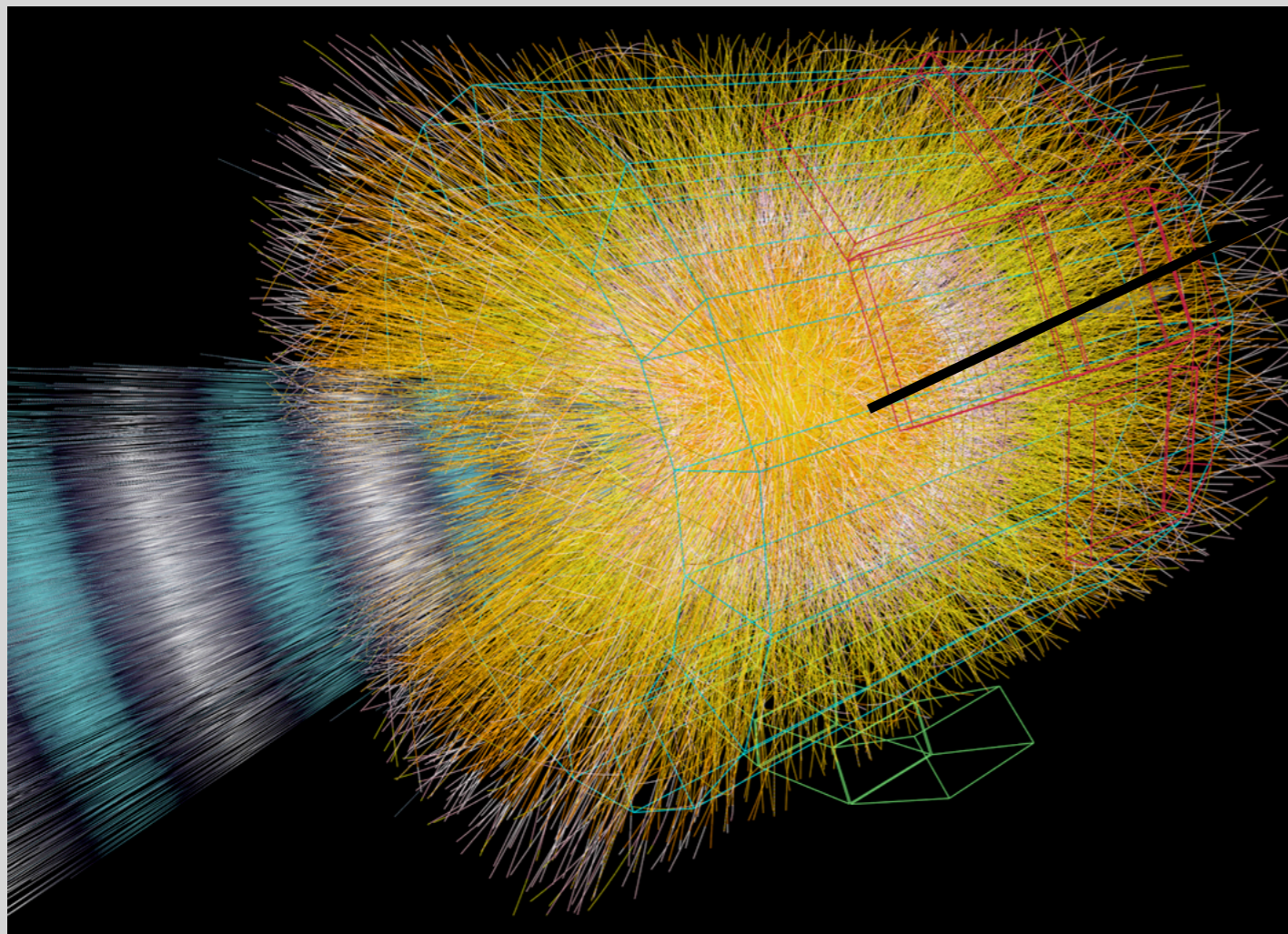
50% matéria

50% anti-matéria



- C(harge) P(arity) transforma uma partícula na sua anti-partícula
- CP não é uma simetria exacta
- a ligeira violação de CP é (?) responsável pelo desaparecimento da antimatéria

o que valem 4 GEURO (iv)



formação de 'fireball'

temperatura e densidade do Universo primordial



estado desconfinado de quarks e glúões

simulação de colisão de iões de chumbo

Quark Gluon Plasma

QCD desceve a dinâmica de quarks e glúões

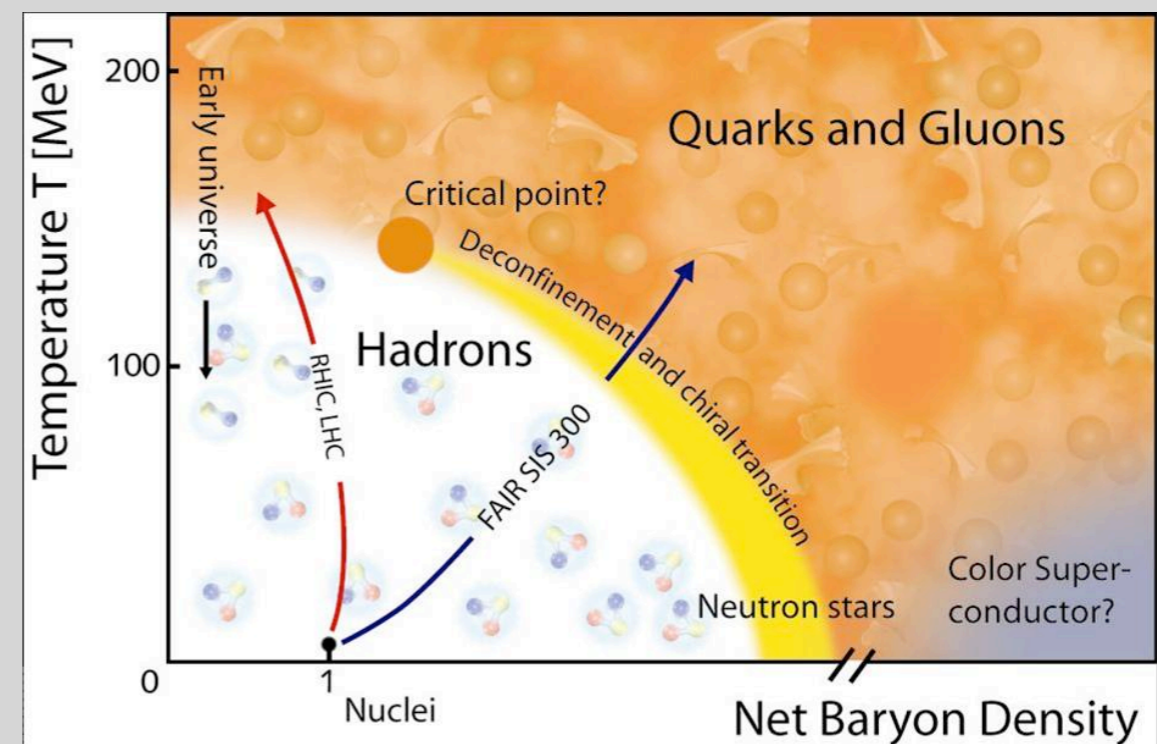
$$\mathcal{L}_{QCD} = -\frac{1}{4} F_{\mu\nu}^a F_a^{\mu\nu} + \bar{\psi}_i (i\gamma^\mu D_\mu - m)_{ij} \psi_j$$

$$F_{\mu\nu}^a = \partial_\mu A_\nu^a - \partial_\nu A_\mu^a - gf^{abc} A_\mu^b A_\nu^c$$

$$D_\mu = \partial_\mu + igA_\mu^a T^a$$

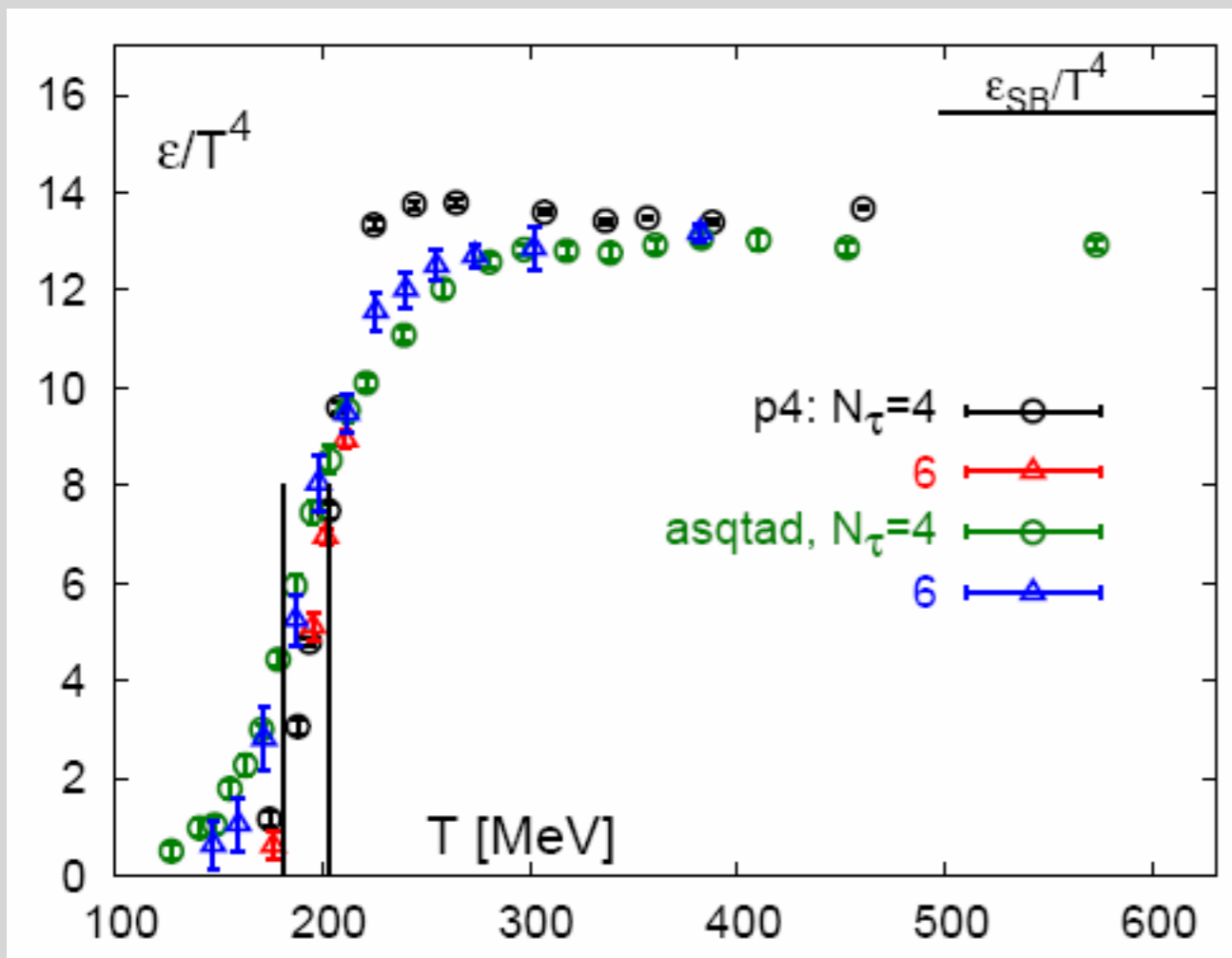
mas, os estados assintóticos da teoria são hadrões (onde quarks e glúões estão confinados)

para compreender o mecanismo de confinamento é necessário perceber como desconfinar e qual a natureza da matéria desconfinada





medir quantidades termodinâmicas

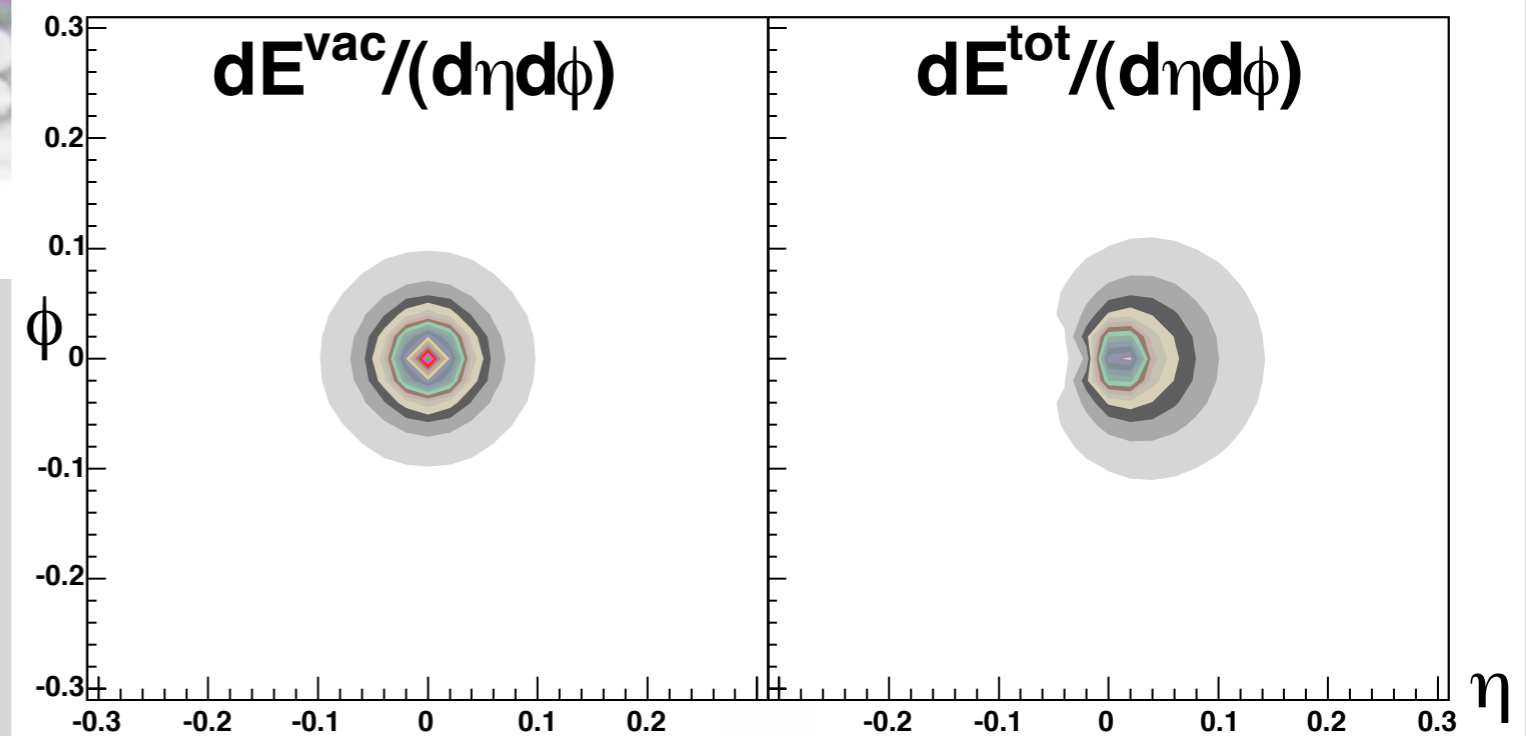
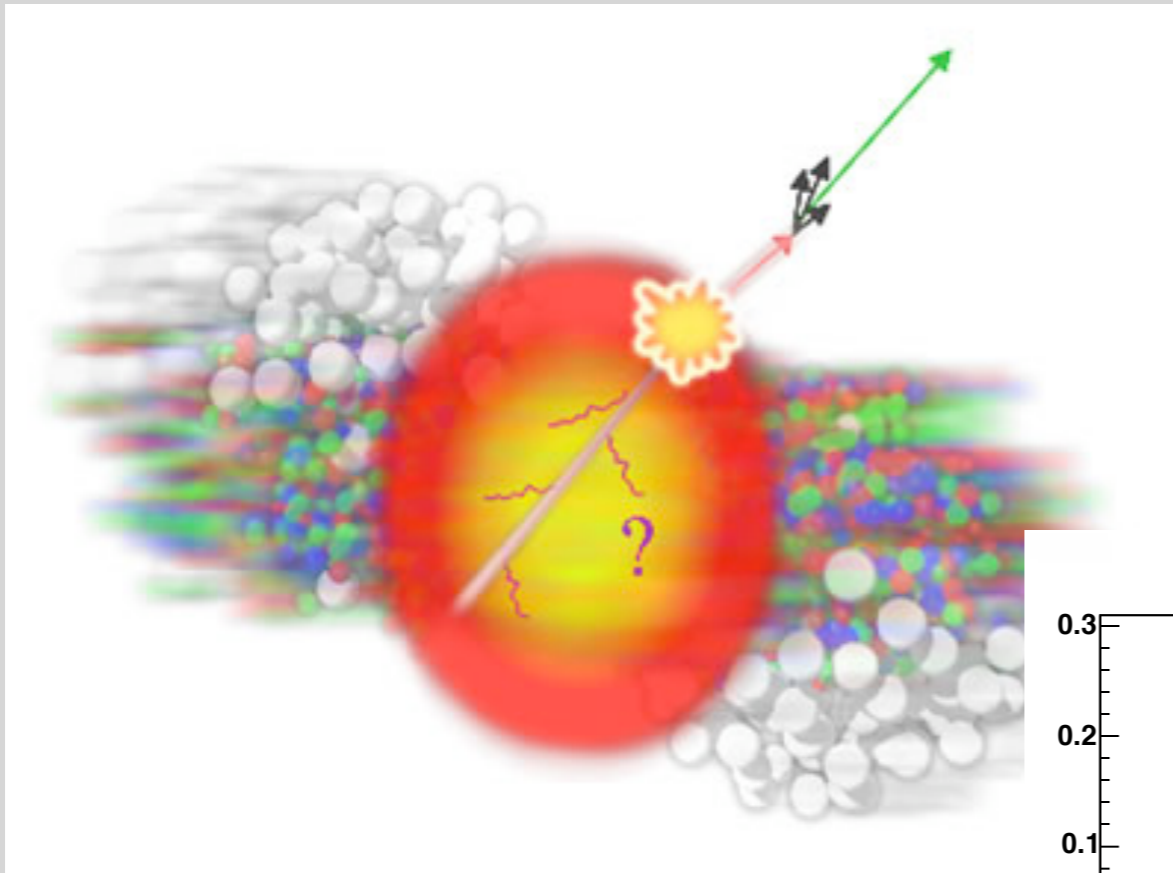


- transição bem visível na teoria (lattice)
- o QGP não é um gás de quarks e glúons (apenas 80% da densidade de energia)
- o QGP não está longe do resultado para um sistema com interações muito fortes (AdS/CFT: $s(\text{SYM}) = s(\text{BH}) = 3/4 s(\text{free})$)

sQGP
 plasma de viscosidade muito pequena

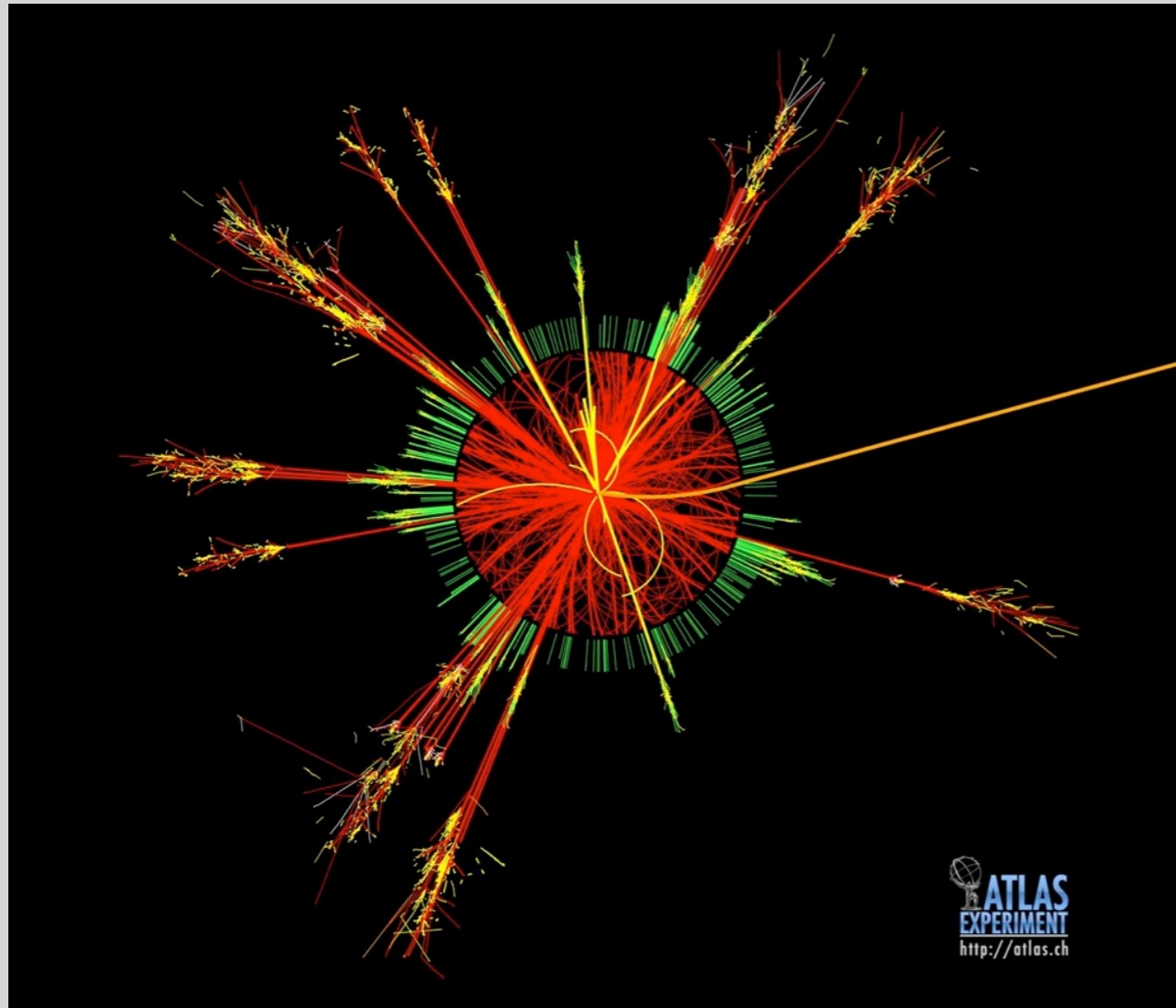
QGP [detecção e caracterização]

- supressão de produção de alguns estados [e.g. J/Psi] : potencial
- flows [geometria da colisão, pressões]
- propriedades de jets [quenching, tomografia]



🌀 Buracos Negros no LHC

- se $d=4+e$, $e \neq 0$, então é concebível que no LHC se formem buracos negros de pequenas dimensões
- a massa destes BH está obviamente limitada pela energia disponível para a colisão
- BH pequenos são quentes e evaporam [Hawking] rapidamente e isotropicamente



$$T \propto 1/M$$

$$T_{evap} \propto M^3$$

o que os jornais adoram



LHC Concerns: A Rational Voice to a Rational Argument: The LHC Safety Assessment Group has published the LSAG Report, discussion on LHC and

Particle Physics News.

LHC Concerns in a website dedicated to exploring the potential danger from the Large Hadron Collider in regards to Black Hole Production, Strangelets, and Magnetic Monopoles

Search... Search
Advanced search

[Board index](#)

∨ A ^

[FAQ](#) [Register](#) [Login](#)

It is currently Sat Sep 06, 2008 8:45 am

[View unanswered posts](#) • [View active topics](#)

FORUM	TOPICS	POSTS	LAST POST
 LHC and particle Physics News The best place to keep yourself abreast of the LHC in the News and happenings at CERN. Moderator: Moderation Team	40	774	by robdegraves  on Sat Sep 06, 2008 6:09 am
WHY WE'RE CONCERNED.			
 Safety Concerns Outlined Outline your concerns and discuss the reasoning behind it. Moderator: Moderation Team	60	983	by Ebenonce  on Fri Sep 05, 2008 8:11 pm
 Do You Disagree? Tell Us Why? Do you think a small risk is still one worth taking? is advancement more important than the risks involved? do you think that small risk = "no" risk? These are al things I've seen people say before, if you feel this way, defend	31	566	by robdegraves  on Sat Sep 06, 2008 2:16 am

o que os jornais adoram



LHC Concerns: A Rational Voice to a Rational Argument: The LHC Safety Assessment Group has published the LSAG Report, discussion on LHC and

Particle Physics News.

LHC Concerns in a website dedicated to exploring the potential danger from the Large Hadron Collider in regards to Black Hole Production, Strangelets, and Magnetic Monopoles

Search... Search
Advanced search

[Board index](#)



↓A^

[FAQ](#) [Register](#) [Login](#)





It is currently Sat Sep 06, 2008 8:45 am

[View unanswered posts](#) • [View active topics](#)

FORUM

	TOPICS	POSTS	LAST POST
 LHC and particle Physics News The best place to keep yourself abreast of the happenings at CERN. Moderator: Moderation Team	40	774	by robdegraves  on Sat Sep 06, 2008 6:09 am

WHY WE'RE CONCERNED.

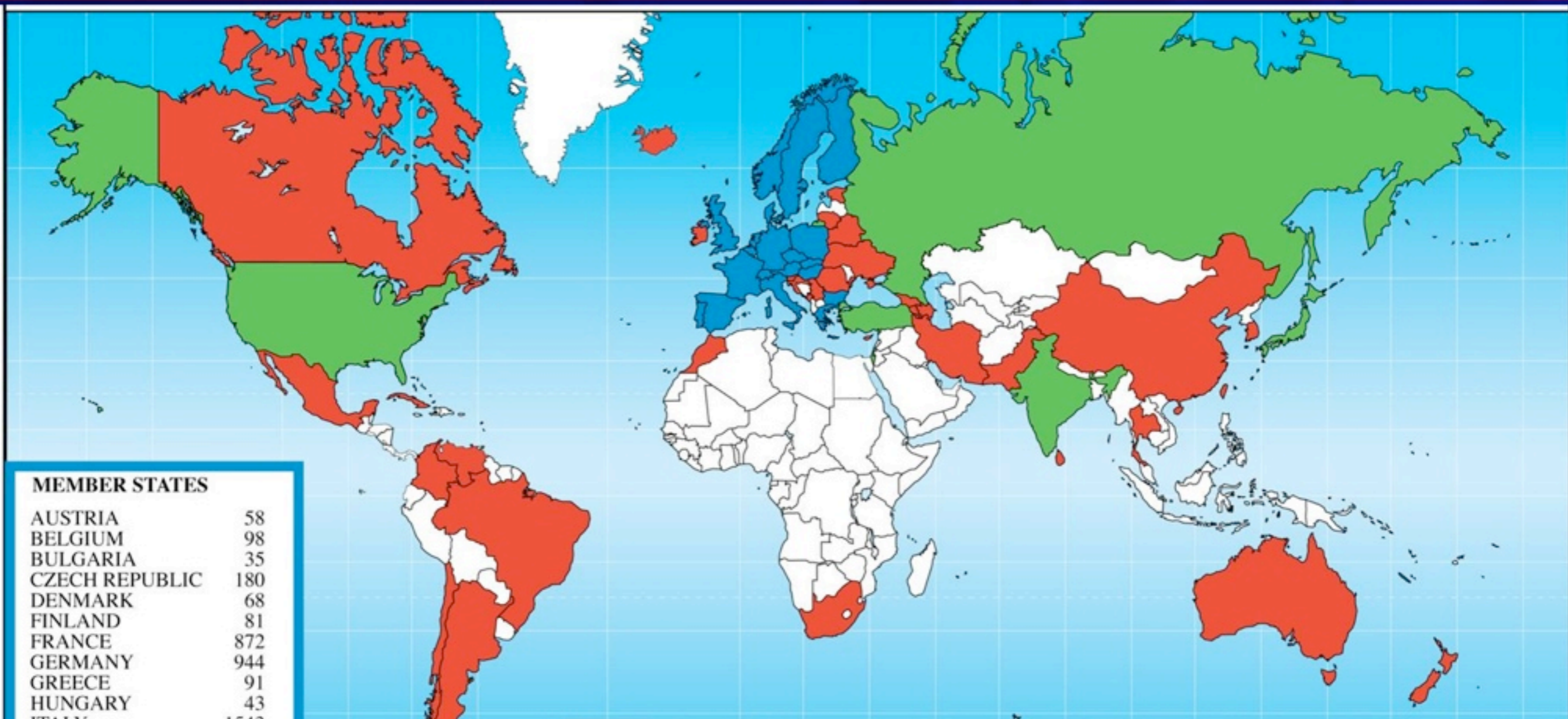
	TOPICS	POSTS	LAST POST
 Safety Concerns Outlined Outline your concerns and discuss the reasoning behind it. Moderator: Moderation Team	60	983	by Ebenonce  on Fri Sep 05, 2008 8:11 pm
 Do You Disagree? Tell Us Why? Do you think a small risk is still one worth taking? is advancement more important than the risks involved? do you think that small risk = "no" risk? These are al things I've seen people say before, if you feel this way, defend	31	566	by robdegraves  on Sat Sep 06, 2008 2:16 am

raios cósmicos

o futuro

- Standard Model [?]
 - Higgs [?], que Higgs [?]
 - determinação de parâmetros
- para além do Standard Model
 - SUSY [?]
 - MSSM [?], outra SUSY [?], matéria escura [?]
 - grande deserto [verdadeiro cenário catastrófico, pelo menos até ver]
- violação de CP
 - suficiente para bariogénese [?]
- QGP
 - que propriedades [?]
 - refazer toda a QCD [20 anos] agora na presença de um meio denso
- Buracos Negros [?]
 - large extra dimensions

Distribution of All CERN Users by Nation of Institute on 5 February 2008



MEMBER STATES

AUSTRIA	58
BELGIUM	98
BULGARIA	35
CZECH REPUBLIC	180
DENMARK	68
FINLAND	81
FRANCE	872
GERMANY	944
GREECE	91
HUNGARY	43
ITALY	1543
NETHERLANDS	163
NORWAY	70
POLAND	175
PORTUGAL	109
SLOVAKIA	46
SPAIN	270
SWEDEN	74
SWITZERLAND	344
UNITED KINGDOM	645

OBSERVER STATES

INDIA	93
ISRAEL	64
JAPAN	182
RUSSIA	940
TURKEY	35
USA	1278

OTHER STATES

ARGENTINA	8	CROATIA	17	MEXICO	23	TAIWAN	40
ARMENIA	17	CUBA	3	MONTENEGRO	1	THAILAND	1
AUSTRALIA	13	CYPRUS	6	MOROCCO	6	UKRAINE	17
AZERBAIJAN	1	ESTONIA	10	NEW ZEALAND	7		
BELARUS	23	GEORGIA	9	PAKISTAN	23		
BRAZIL	68	ICELAND	1	ROMANIA	46		
CANADA	119	IRAN	6	SERBIA	16		
CHILE	4	IRELAND	14	SLOVENIA	16		
CHINA	60	KOREA	44	SOUTH AFRICA	2		
COLOMBIA	5	LITHUANIA	5	SRI LANKA	1		

5909

2592

632

Distribution of All CERN Users by Nation of Institute on 5 February 2008



Mantenham-se atentos !

MEMBER STATES

AUSTRIA	58
BELGIUM	98
BULGARIA	35
CZECH REPUBLIC	180
DENMARK	68
FINLAND	81
FRANCE	872
GERMANY	944
GREECE	91
HUNGARY	43
ITALY	1543
NETHERLANDS	163
NORWAY	70
POLAND	175
PORTUGAL	109
SLOVAKIA	46
SPAIN	270
SWEDEN	74
SWITZERLAND	344
UNITED KINGDOM	645

OBSERVER STATES

INDIA	93
ISRAEL	64
JAPAN	182
RUSSIA	940
TURKEY	35
USA	1278

OTHER STATES

ARGENTINA	8	CROATIA	17	MEXICO	23	TAIWAN	40
ARMENIA	17	CUBA	3	MONTENEGRO	1	THAILAND	1
AUSTRALIA	13	CYPRUS	6	MOROCCO	6	UKRAINE	17
AZERBAIJAN	1	ESTONIA	10	NEW ZEALAND	7		
BELARUS	23	GEORGIA	9	PAKISTAN	23		
BRAZIL	68	ICELAND	1	ROMANIA	46		
CANADA	119	IRAN	6	SERBIA	16		
CHILE	4	IRELAND	14	SLOVENIA	16		
CHINA	60	KOREA	44	SOUTH AFRICA	2		
COLOMBIA	5	LITHUANIA	5	SRI LANKA	1		

5909

2592

632