

Projeto Temático  
2020/04867-2  
*Kick-off Meeting*  
*Working Group - 1*

***Marcelo Gameiro Munhoz***

Instituto de Física

Universidade de São Paulo

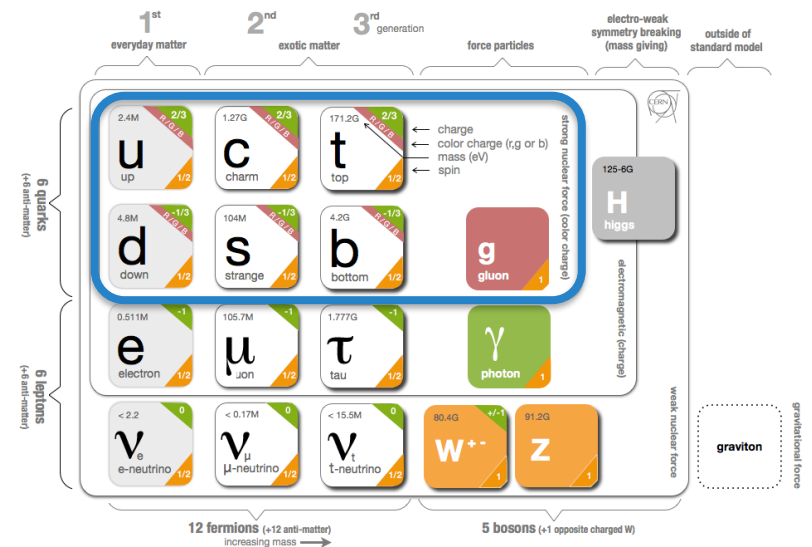


# *Working Group 1*

- **Strong Sector of the Standard Model**
- ALICE data analysis and detector upgrade
- Experimental Study of the Quark-Gluon Plasma Properties
  - Strangeness Production in Relativistic Heavy Ion Collisions
  - Quark-Gluon Plasma Tomography with Hard Probes
- The ALICE Experiment Upgrade
  - ALICE-TPC Aging Studies
  - ALICE Forward Calorimeter
  - ALICE 3

# Quantum Chromo Dynamics (QCD)

- Teoria que descreve as propriedades mais fundamentais dos quarks e suas interações
  - Quarks carregam carga de cor
  - Interação entre quarks: medida pelos *gluons*
- A QCD tem duas características únicas muito importantes:
  - Liberdade Assintótica
  - Confinamento



# Liberdade Assintótica e Confinamento

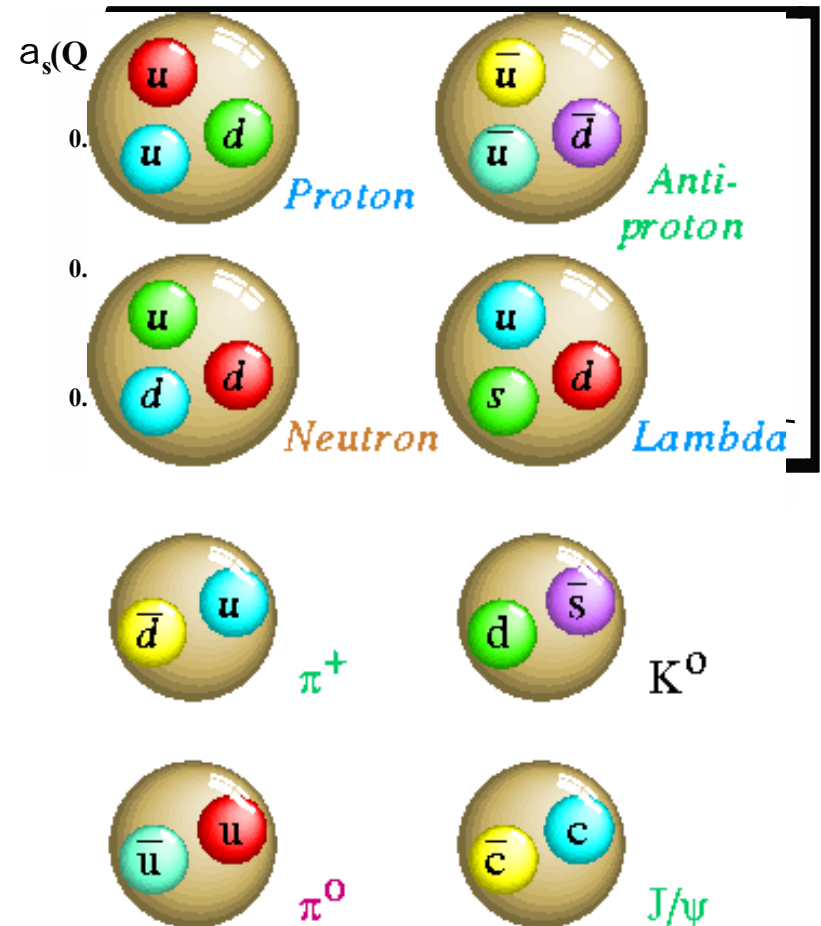
PDG Review on QCD (2019)

- **Liberdade Assintótica:**

$$\alpha_s(Q^2) = \frac{4\pi}{\left(\frac{11N_c}{3} - \frac{2n_f}{3}\right) \log\left(\frac{Q^2}{\Lambda_{QCD}^2}\right)}$$

- **Confinamento:**

- Quarks não são observados livres!
- A interação aumenta para distâncias grandes, inviabilizando cálculos perturbativos
- Cálculos numéricos de **QCD na Rede** (não-perturbativos) são necessários e indicam um aumento linear do potencial entre quarks pesados

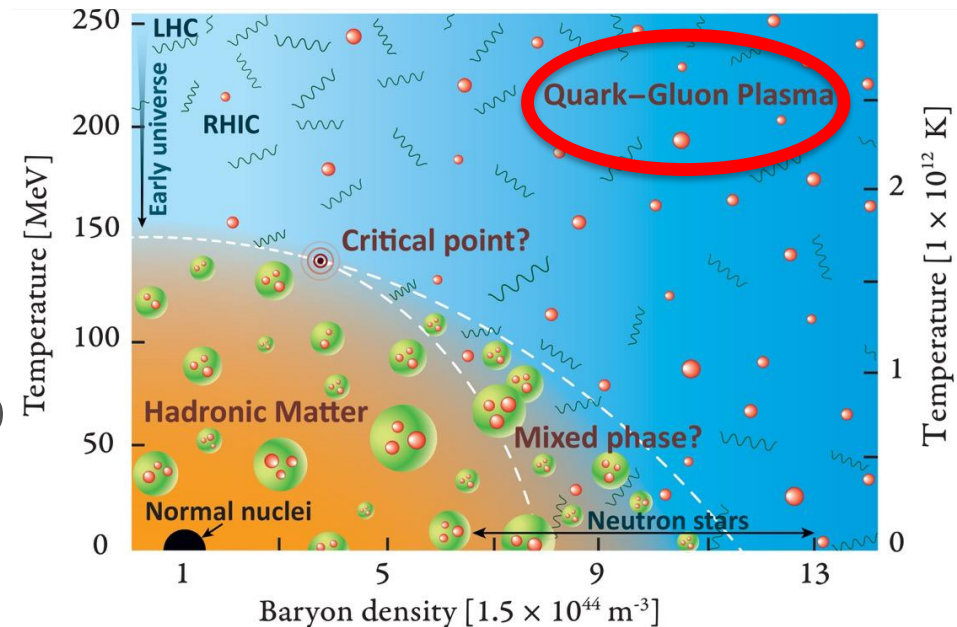


# Alguns dos problemas em aberto da QCD

- A natureza do confinamento
- O entendimento da estrutura dos hádrons
- Medidas precisas de fenômenos da QCD são essenciais para a busca da Física além do Modelo Padrão
- **Quais são as propriedades emergentes da QCD em sistemas com muitos constituintes?**
  - Uma espécie de "Matéria Condensada da QCD"

# Quais são as propriedades emergentes da QCD?

- Caracterização do diagrama de fase da matéria regida pela interação forte (QCD)
- Em particular, o chamado **Plasma de Quarks e Glúons (Quark-Gluon Plasma)**, consequência natural da QCD em altas temperaturas e densidades



# Quark-Gluon Plasma (QGP)

- *“A locally thermally equilibrated state of matter in which quarks and gluons are **deconfined** from hadrons, so that color degrees of freedom become manifest over nuclear, rather than merely nucleonic, volumes.”*

*(STAR Collaboration’s Critical Assessment of the Evidence from RHIC Collisions - 2005)*

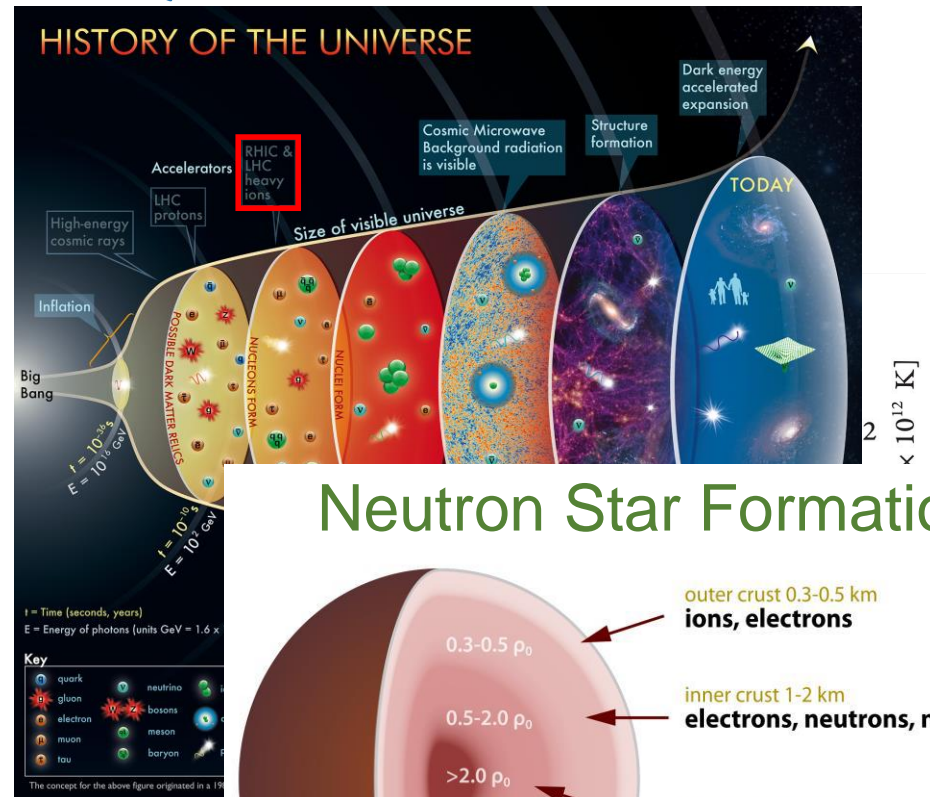
- *“It is the simplest form of complex matter that we know of, ..., most directly connected to the fundamental laws that govern all matter in the universe.”*

*(W. Busza, K. Rajagopal and W. van der Schee,  
Ann. Rev. Nucl. Part. Sci. 2018. 68:1–49)*

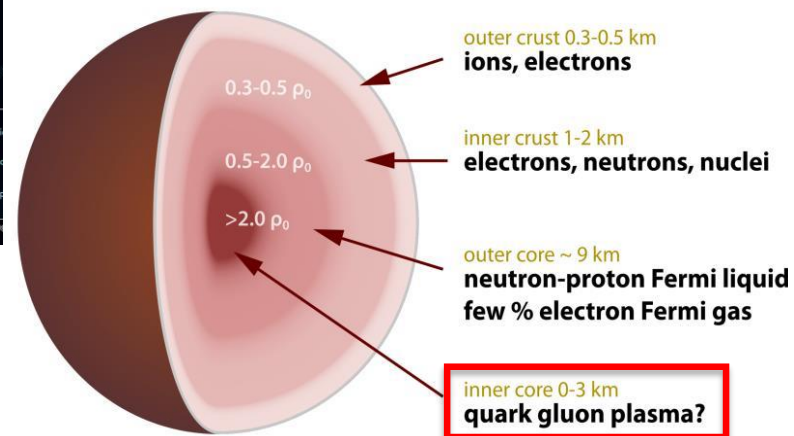


# Por que estudar o QGP?

- 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



## Neutron Star Formation





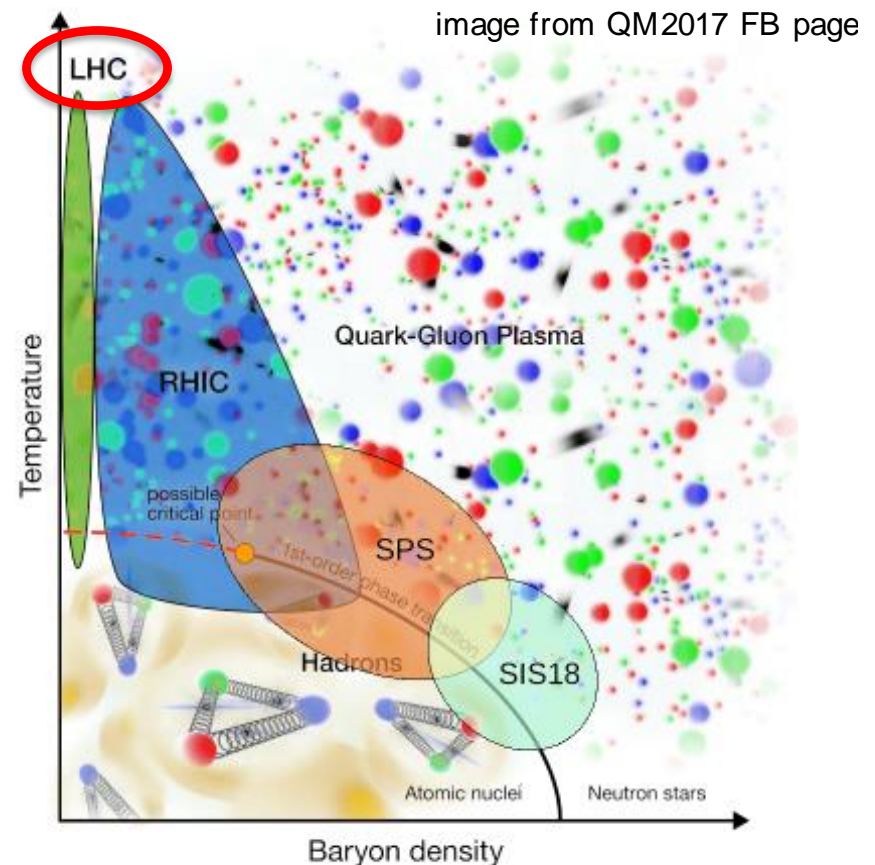
# O que podemos aprender sobre o QGP?

- Quais são as propriedades termodinâmicas e globais do QGP?
- Quais são as suas propriedades hidrodinâmicas e de transporte?
- Como o QGP afeta a formação de hádrons?
- Como o QGP afeta a propagação de partons energéticos e responde à excitação provocada por essas partículas?
- Como o não-confinamento do QGP afeta a interação forte?
- O QGP pode levar à descoberta de novos efeitos da QCD?
- Quais são os limites da formação do QGP?
- O QGP pode ajudar a elucidar a natureza das interações hádron-hádron?
- O estudo do QGP pode elucidar aspectos específicos da relação entre a QCD perturbativa e a interação forte a mais “longa distância”?



# Como estudar o QGP experimentalmente?

- **Colisões entre íons pesados a energias relativísticas**
- **Large Hadron Collider**
  - Maior acelerador já construído
    - 27 km de circunferência
  - Mais altas energias de colisão ( $\sqrt{s_{NN}}$  em TeV)
    - p+p (0.9, 2.36, 2.76, 5.02, 7, 8, 13)
    - p+Pb (5.02, 8.16)
    - Xe+Xe (5.44)
    - Pb+Pb (2.76, 5.02)



# *Large Hadron Collider*

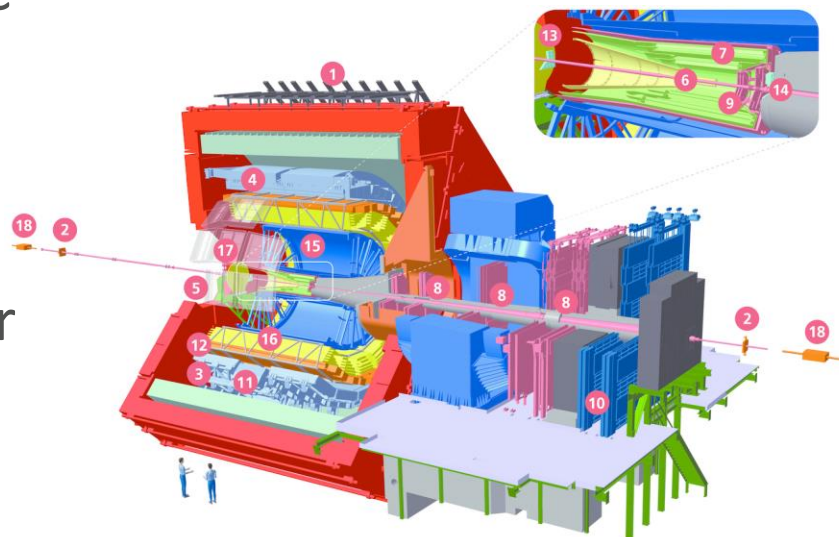




# ALICE

# The ALICE Experiment

- Optimized to study collisions of nuclei at the ultra-relativistic energies
  - 40 countries
  - 170 institutes
  - 1972 members
- The study of matter under extreme conditions:
  - Emergent QCD phenomena
    - Quark-gluon plasma characterization



- 1 ACORDE | ALICE Cosmic Rays Detector
- 2 AD | ALICE Diffractive Detector
- 3 DCal | Di-jet Calorimeter
- 4 EMCal | Electromagnetic Calorimeter
- 5 HMPID | High Momentum Particle Identification Detector
- 6 ITS-IB | Inner Tracking System - Inner Barrel
- 7 ITS-OB | Inner Tracking System - Outer Barrel
- 8 MCH | Muon Tracking Chambers
- 9 MFT | Muon Forward Tracker
- 10 MID | Muon Identifier
- 11 PHOS / CPV | Photon Spectrometer
- 12 TOF | Time Of Flight
- 13 TO+A | Tzero + A
- 14 TO+C | Tzero + C
- 15 TPC | Time Projection Chamber
- 16 TRD | Transition Radiation Detector
- 17 VO+ | Vzero + Detector
- 18 ZDC | Zero Degree Calorimeter





# Brazil in ALICE

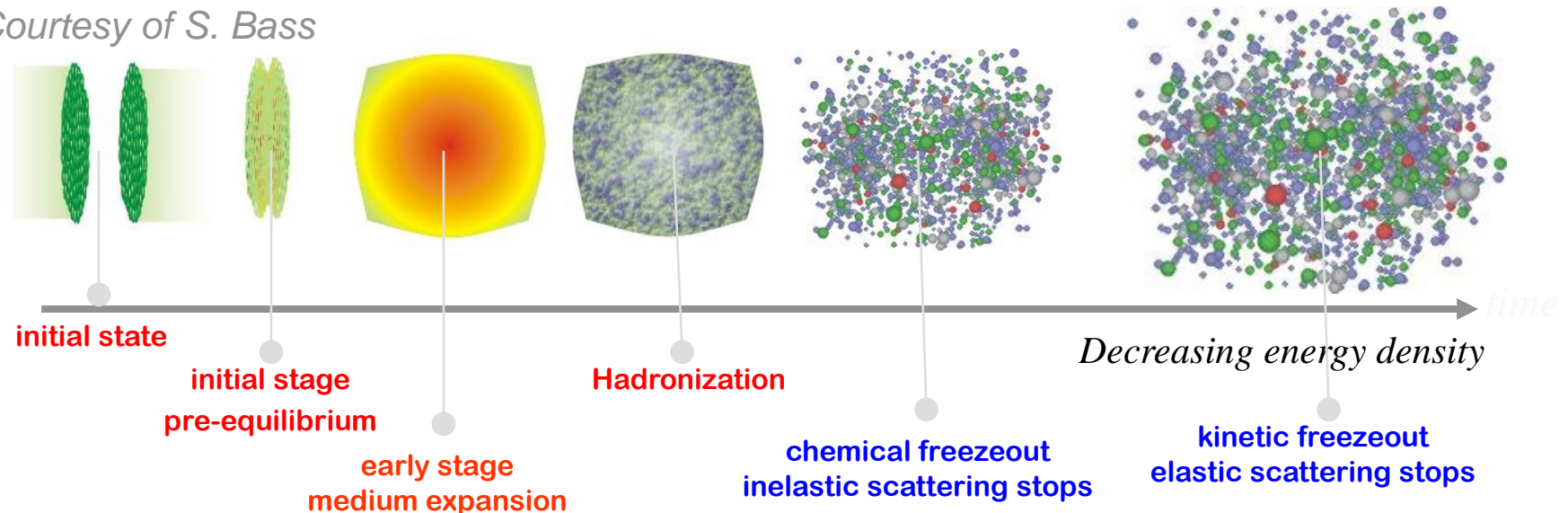
- Current personnel:
  - 4 Institutes
  - 10 faculty researchers + 1 postdoc (1.75% of ALICE)
  - 12 PhD thesis defended + 8 PhD active students (1.5% of ALICE)



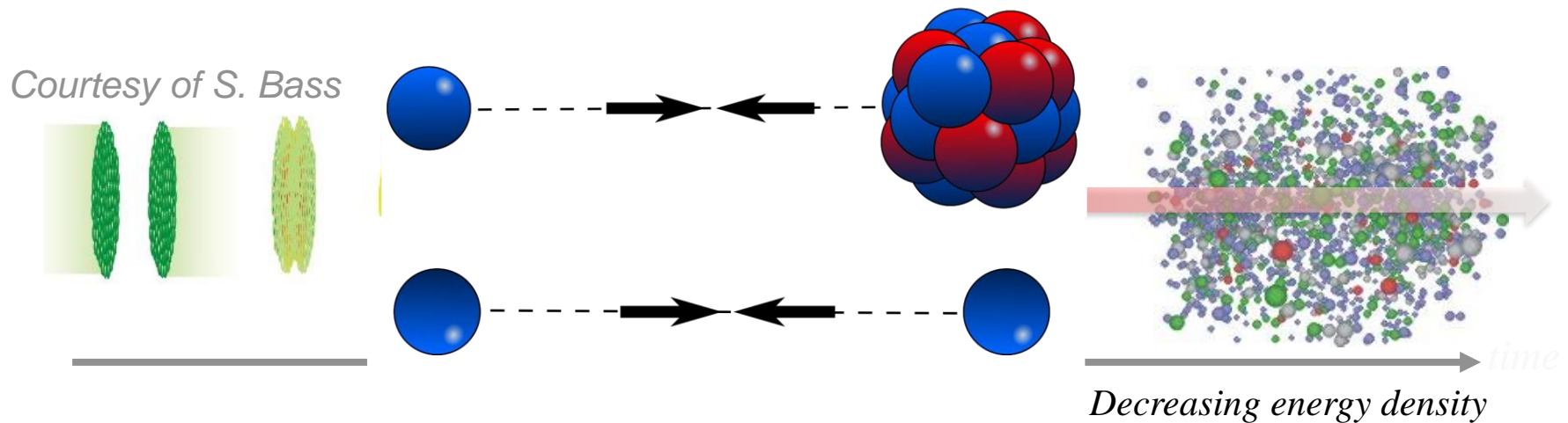
# Metodologia

- **Compreender a dinâmica dessas colisões a partir de processos fundamentais da QCD**
  - Quais observáveis nos fornecem informações sobre essa dinâmica?
  - Como podemos aprender sobre o QGP e processos fundamentais da QCD a partir da descrição desses observáveis?

*Courtesy of S. Bass*



# Como extrair dos dados as propriedades do QGP?

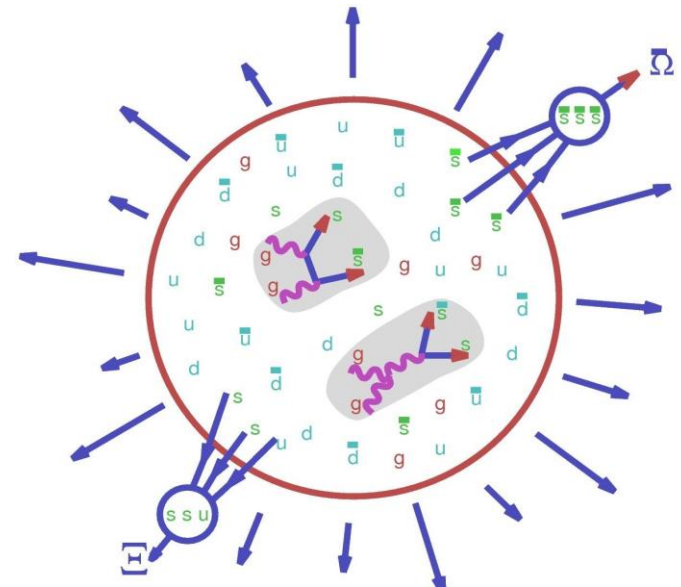


- Caracterização macroscópica (comprimentos de onda longos) do QGP
  - Observáveis globais (*bulk*) do estado de *freeze-out*
- Caracterização microscópica (comprimentos de onda curtos ou quase-partículas) do QGP
  - Pontas de prova de alta energia (*Hard Probes*)
- Em ambos os casos, é essencial a comparação com colisões mais elementares, tipo p-p e p-Pb

# Strangeness Enhancement

- Direct production of strange hadrons via color string breaking is suppressed
  - multistrange is even more suppressed
- Hadron reaction from single strange to multistrange is slow and kinetically disfavored
- **QGP scenario brings enhanced production of strange hadrons**

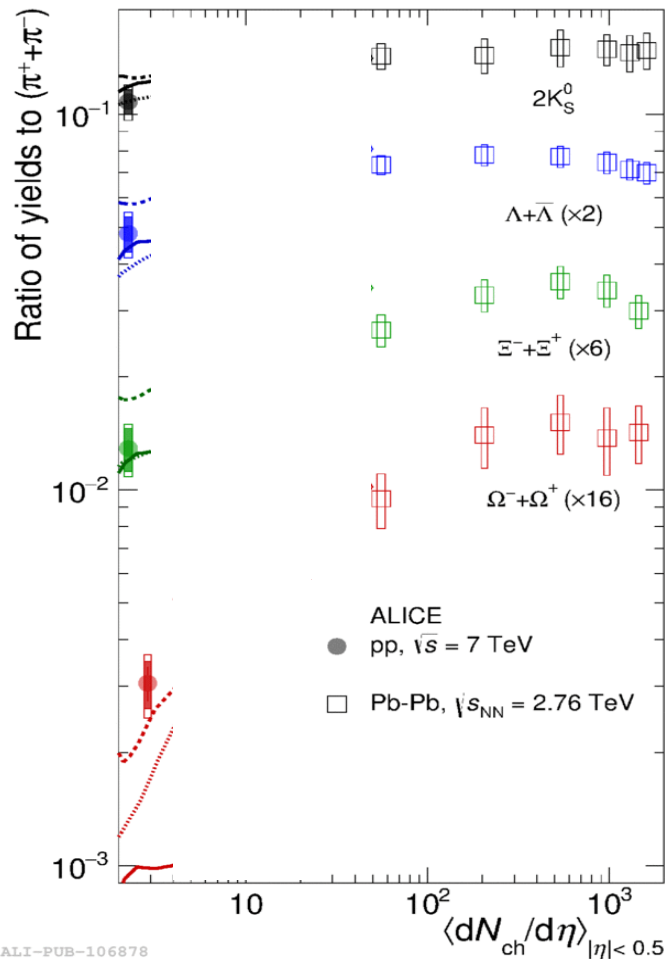
J. Rafelski e B. Müller, PRL48, 1982





# Strangeness Enhancement

ALICE, *Nature Phys.* 13, (2017) 535



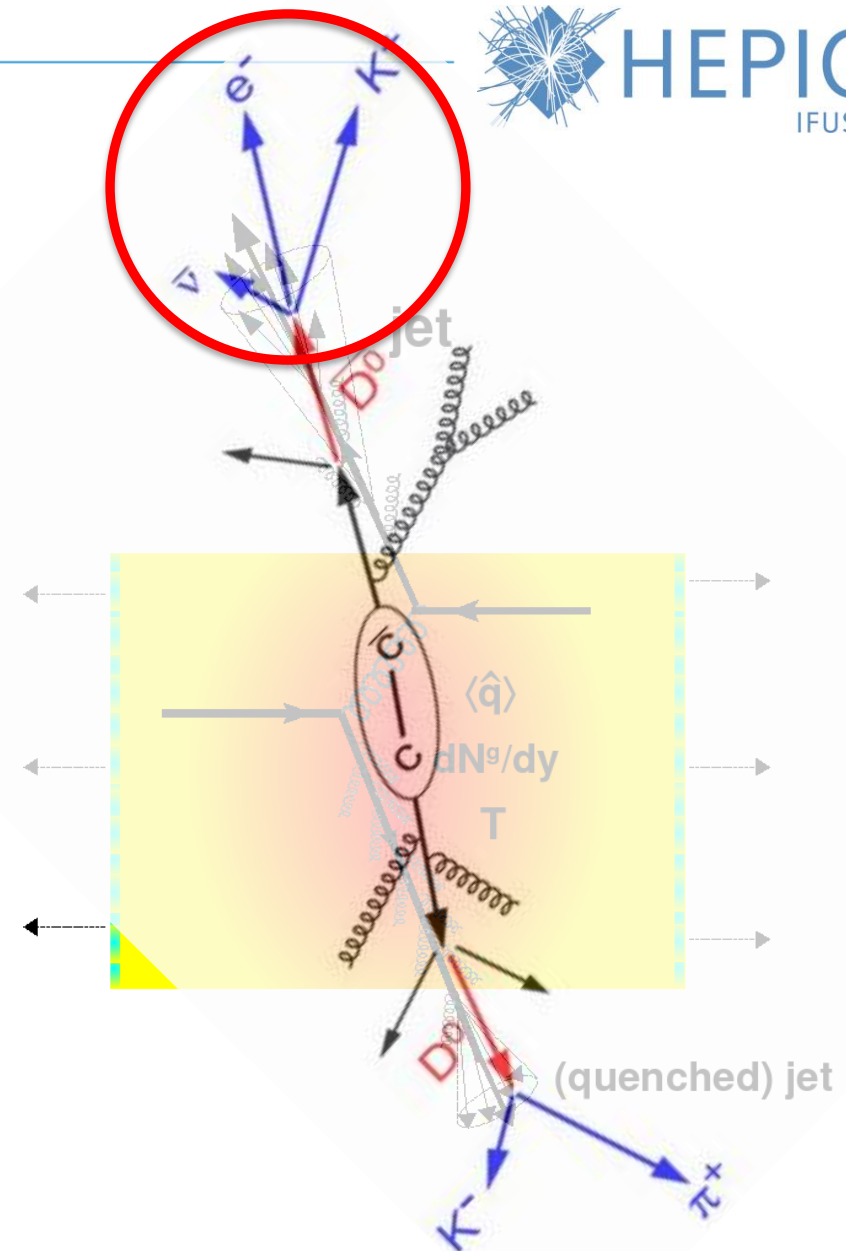
ALI-PUB-106878

- Strangeness Enhancement in pp data, where no QGP expected
- Models fail to describe observed enhancement
- Charged particle density scales strangeness enhancement measured in different systems and different energies



# Jet Quenching and Heavy Flavor

- Hard scattering of partons during the collision
- Excellent probe of the medium properties due to energy loss
- Heavy quarks of special interest since they are produced at the early stages of the collision



# Fator de Modificação Nuclear

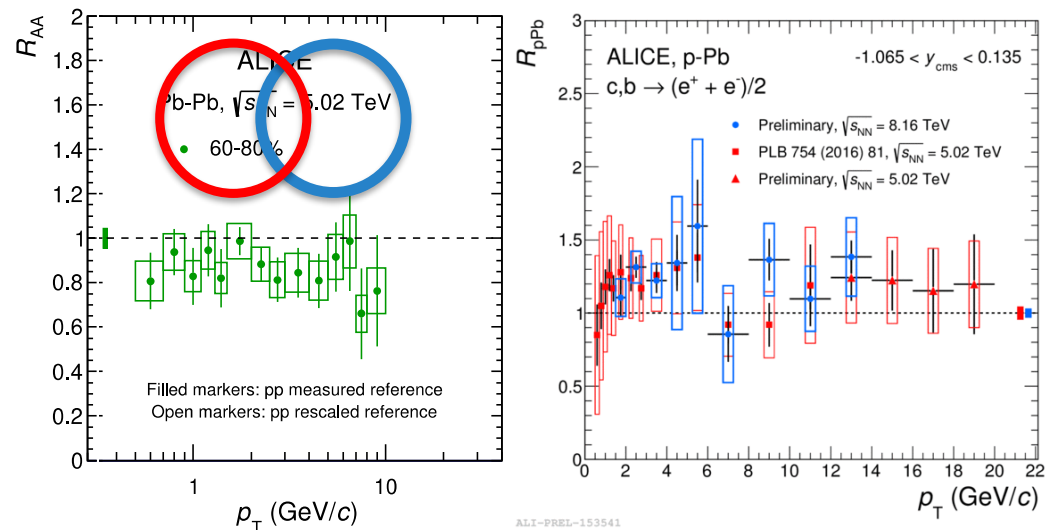
## Heavy Flavor Hadrons

$$R_{AA} = \frac{d^2 N^{AA} / dp_T d\eta}{\langle N_{coll} \rangle d^2 N^{pp} / dp_T d\eta}$$

$$\langle N_{coll} \rangle = \langle T_{AA} \rangle \cdot \sigma_{pp}^{INEL}$$

PLB 804 (2020) 135377

- Elétrons oriundos do decaimento de quarks pesados em função da centralidade
- **Clara supressão em colisões Pb-Pb mais centrais!**
- Consistente com a unidade em colisões p-Pb

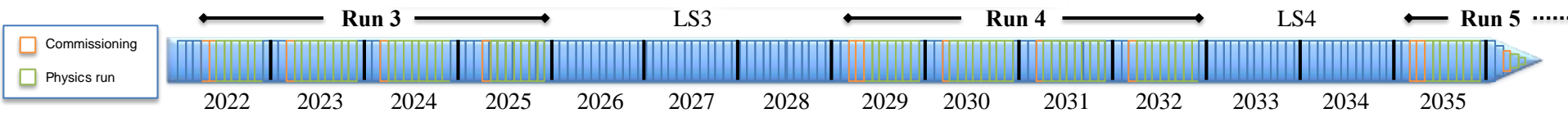


## O que é necessário para se avançar no entendimento do QGP?

- Medidas mais precisas da produção de partículas, principalmente hádrons pesados (mais estatística)
- Medidas mais diferenciais de jatos
  - Como sub-estruturas de jatos
- Para isso, precisamos de mais estatística e precisão nos dados (resolução em momento)



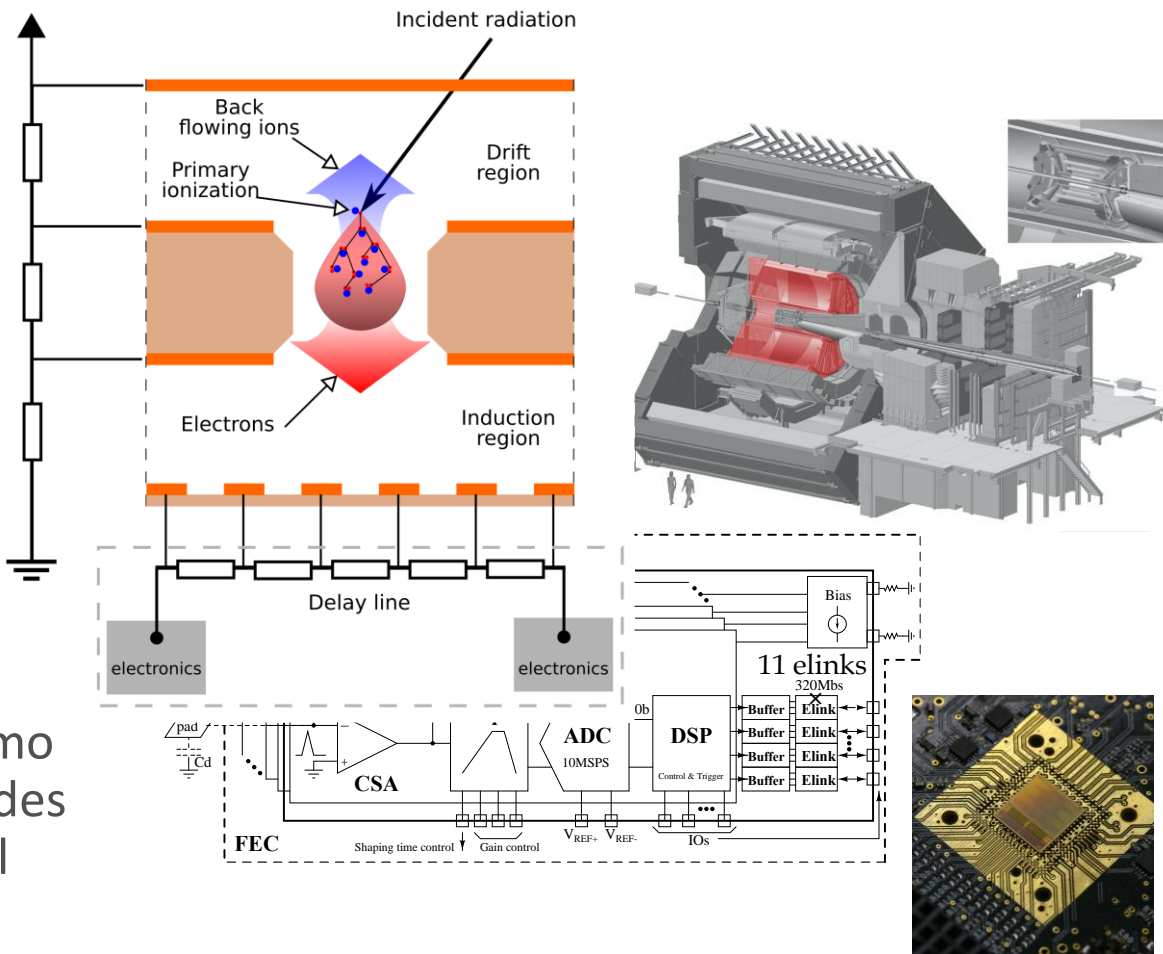
# ALICE Upgrade para o Run 3 e 4



- Estratégia : aumentar de 1 kHz para 50kHz a taxa de medida de colisões Pb-Pb nos Run 3 e Run4 do LHC
- A fim de atingir esse objetivo foi preciso:
  - Um novo de detetor de vértice (*Inner Tracking System*)
  - Leituras mais rápidas e contínuas de sinal do *Time Projection Chamber (TPC)* e *Muon Chamber (MCH)*
  - Inclusão de um *Muon Forward Detector (MFT)*
  - Novo calorímetro frontal (FoCal) para a medida de fótons de alta rapidez

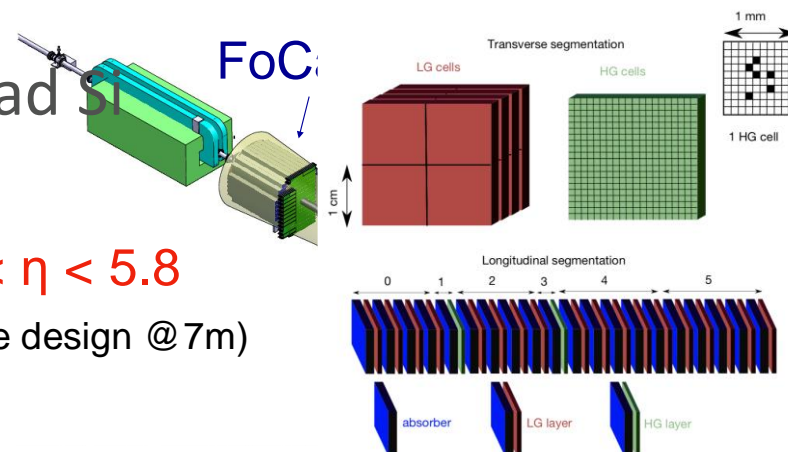
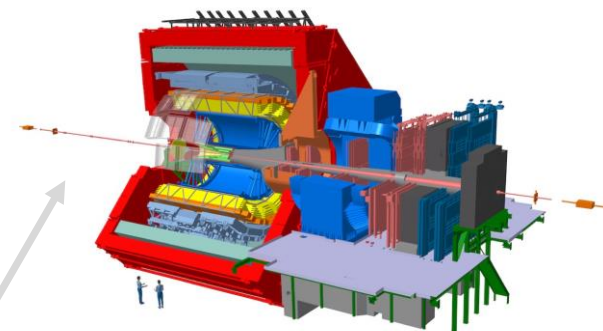
# ALICE Upgrade para o Run 3 e 4

- *Time Projection Chamber (TPC)*
- Nova eletrônica:
  - **SAMPA chip**
    - Um ASIC com 32 canais de entrada feito em tecnologia CMOS 130 nm
    - Combina no mesmo chip funcionalidades analógica e digital
    - Leitura contínua

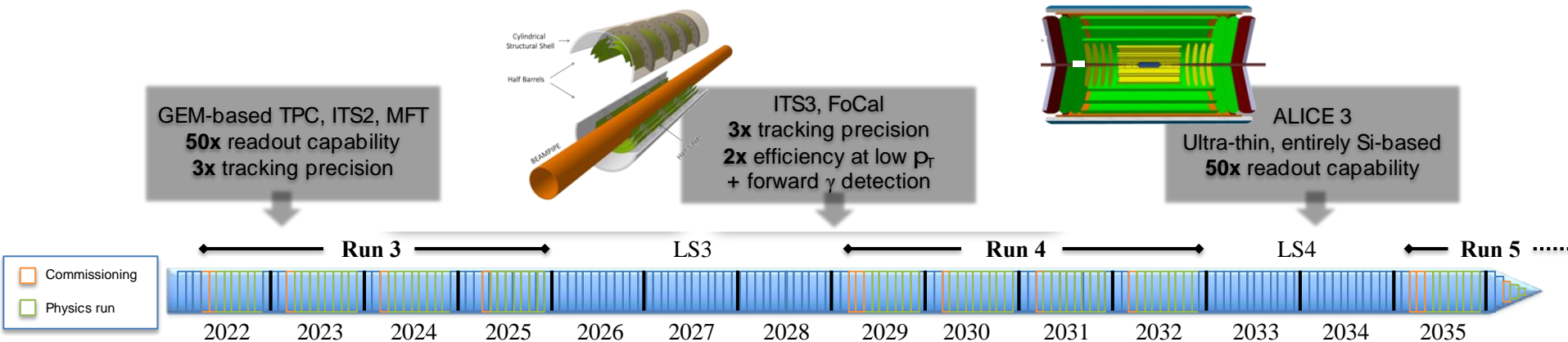


# ALICE Upgrade for Run 4

- Explore the small-x parton structure of nucleons and nuclei
- Electromagnetic calorimeter
  - Tungsten
  - Silicon Pixel (2 layers)
  - Silicon Pad (18 layers)
- Contribute to electronics of Pad 5 layers
- Contribute to simulations  $3.4 < \eta < 5.8$   
(baseline design @ 7m)
- First common project of all Brazilian groups in ALICE!



# Run 5 e além: ALICE 3



- *Next-generation heavy-ion programme at the LHC*
  - Entre outros objetivos, permitir medidas muito mais precisas e com muito mais estatística de hádrons de heavy flavor (hádrons multicharmosos, quarkonia e hádrons exóticos)
  - Foco na região de baixo  $p_T$  e excelente identificação de vértices
- Detetor com praticamente apenas sensores de Si
  - Excelente oportunidade tecnológica, principalmente para **sensores de Si ultra-rápidos**



# Considerações Finais

- Dinâmica do WG-1
  - Plataforma Teams
    - Convites serão enviados a todos
    - Estrutura será apresentada na primeira reunião do WG-1
  - Reuniões quinzenais (data a combinar)
    - Atualizações das Análises de Dados
    - Atualizações dos Detector Upgrades
    - Discussão sobre artigos do ALICE
    - Convidados

