

Projeto Temático
2020/04867-2
Primeiro Encontro Geral
Working Group - 1

Marcelo Gameiro Munhoz

Instituto de Física

Universidade de São Paulo



Objetivos do *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

Dinâmica do WG-1

- Plataforma Teams
 - No momento, 23 inscritos
 - Canais foram criados para acompanhar cada objetivo do projeto no contexto do WG-1 ou atividades relacionadas
 - Os canais podem corresponder a:
 - análises de dados do ALICE
 - desenvolvimento de instrumentação para o upgrade do ALICE
 - estudos fenomenológicos da força forte
 - atividades como shifts ou revisão de artigos



Dinâmica do WG-1

- Canais do WG-1 na plataforma Teams
 - Análises de Jatos de Quarks Pesados
 - Análises de Hipernúcleos
 - FoCal: Simulações
 - FoCal: Testes de Eletrônica
 - TPC: Estudos de Degradação
 - ALICE 3: *Timing layer*
 - Fenomenologia de Jatos em colisões de IPR
 - Propriedades Quânticas do QGP
 - Shifts do ALICE
 - Revisão de artigos do ALICE



Dinâmica do WG-1

- Em cada canal, há:
 - Os objetivos (Notas)
 - Lista das análises relacionadas (Notas)
 - Slides das reuniões periódicas (Arquivos)
 - Atas dessas reuniões (Notas)
 - Tarefas de médio prazo (Tarefas)
 - Sínteses periódicas a cada 6 meses (Arquivos)
 - Novas Ideias (Notas)
 - Bibliografia (Notas)



Dinâmica do WG-1

- Reuniões periódicas
 - Quintas-feiras às 16h, quinzenalmente
 - Formato híbrido
 - Atualizações das Análises de Dados
 - Atualizações dos Detector Upgrades
 - Discussão sobre artigos do ALICE
 - Convidados

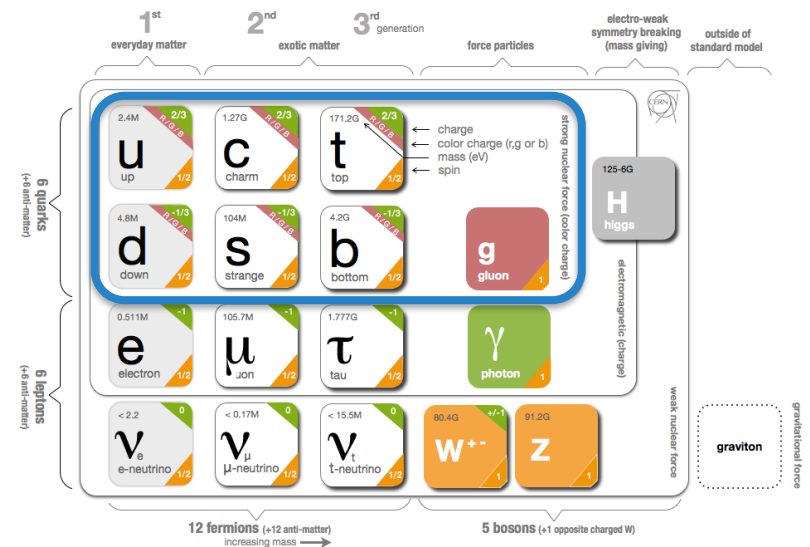


Back-up



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 pela *gluons*
- A QCD tem duas características únicas muito importantes:
 - Liberdade Assintótica
 - Confinamento



Liberdade Assintótica e Confinamento

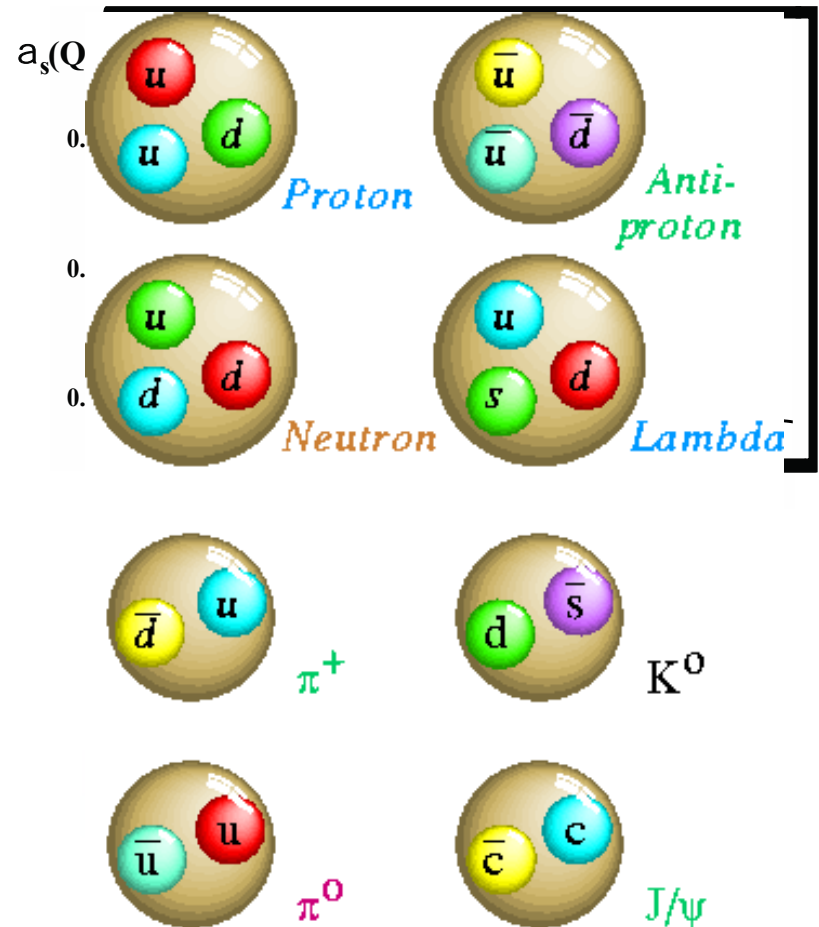
PDG Review on QCD (2019)

- 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

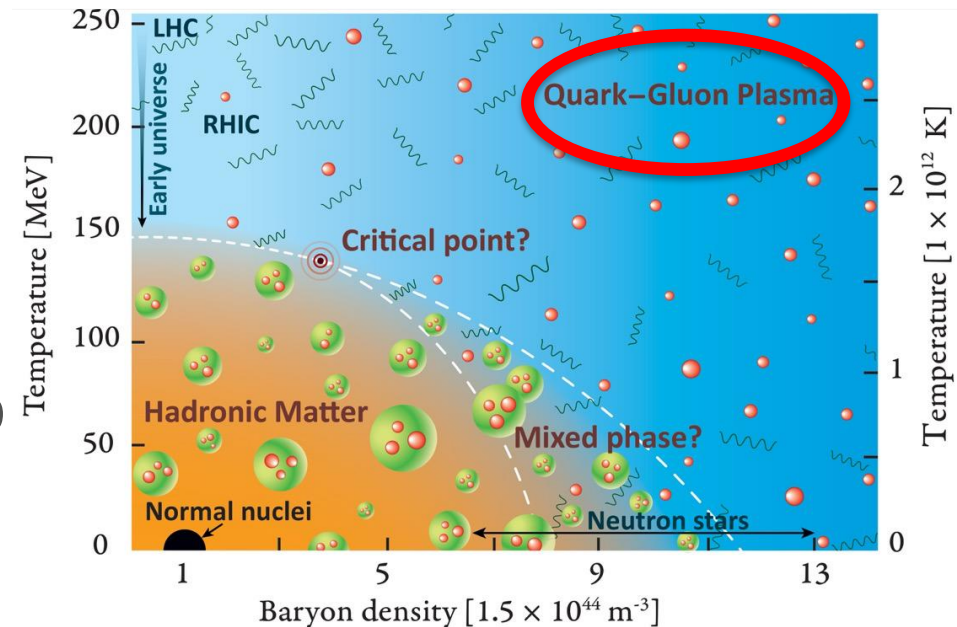


Alguns dos problemas em aberto da QCD

- 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)

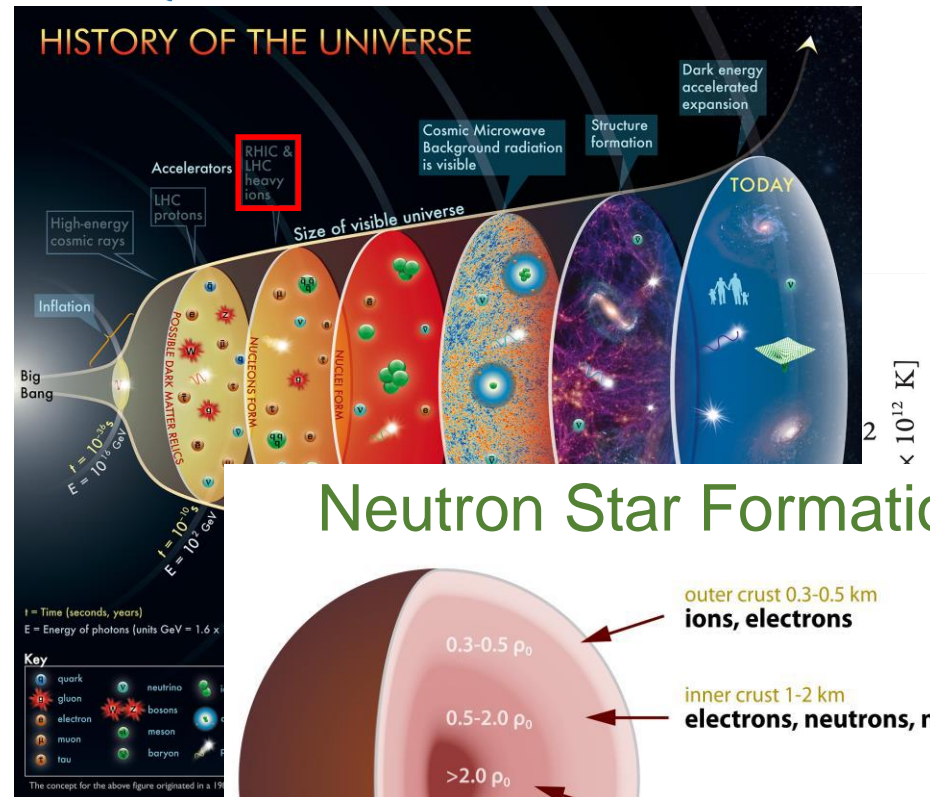
- *“It is the simplest form of complex matter that we know of, ..., most directly connected to the fundamental laws that govern all matter in the universe.”*

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

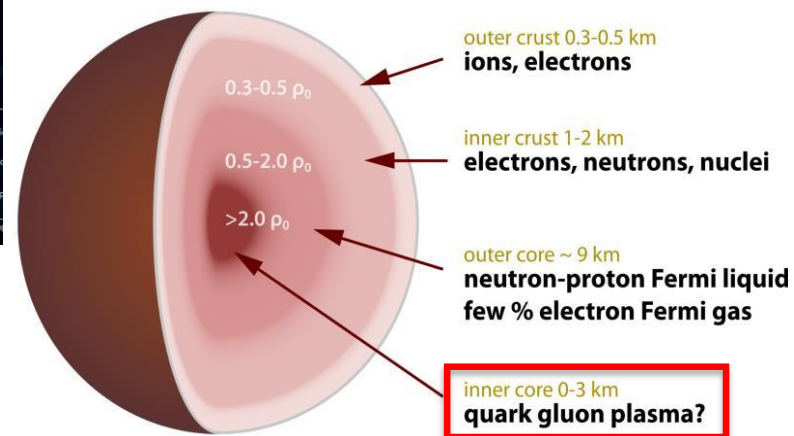


Por que estudar o QGP?

- 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



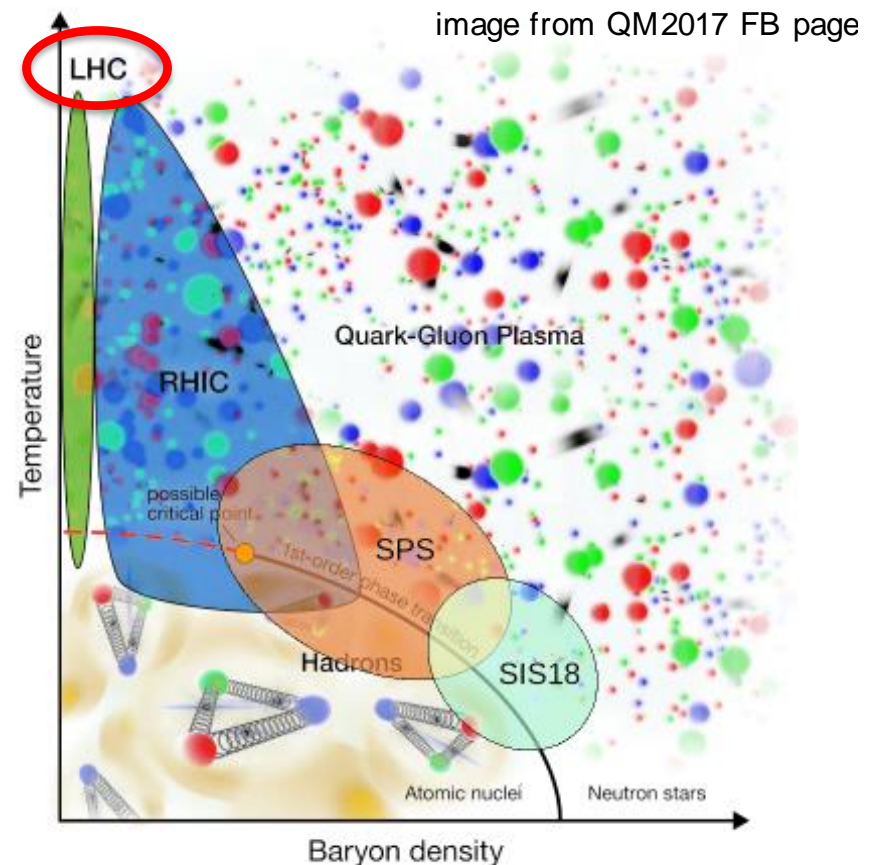
O que podemos aprender sobre o QGP?

- 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”?

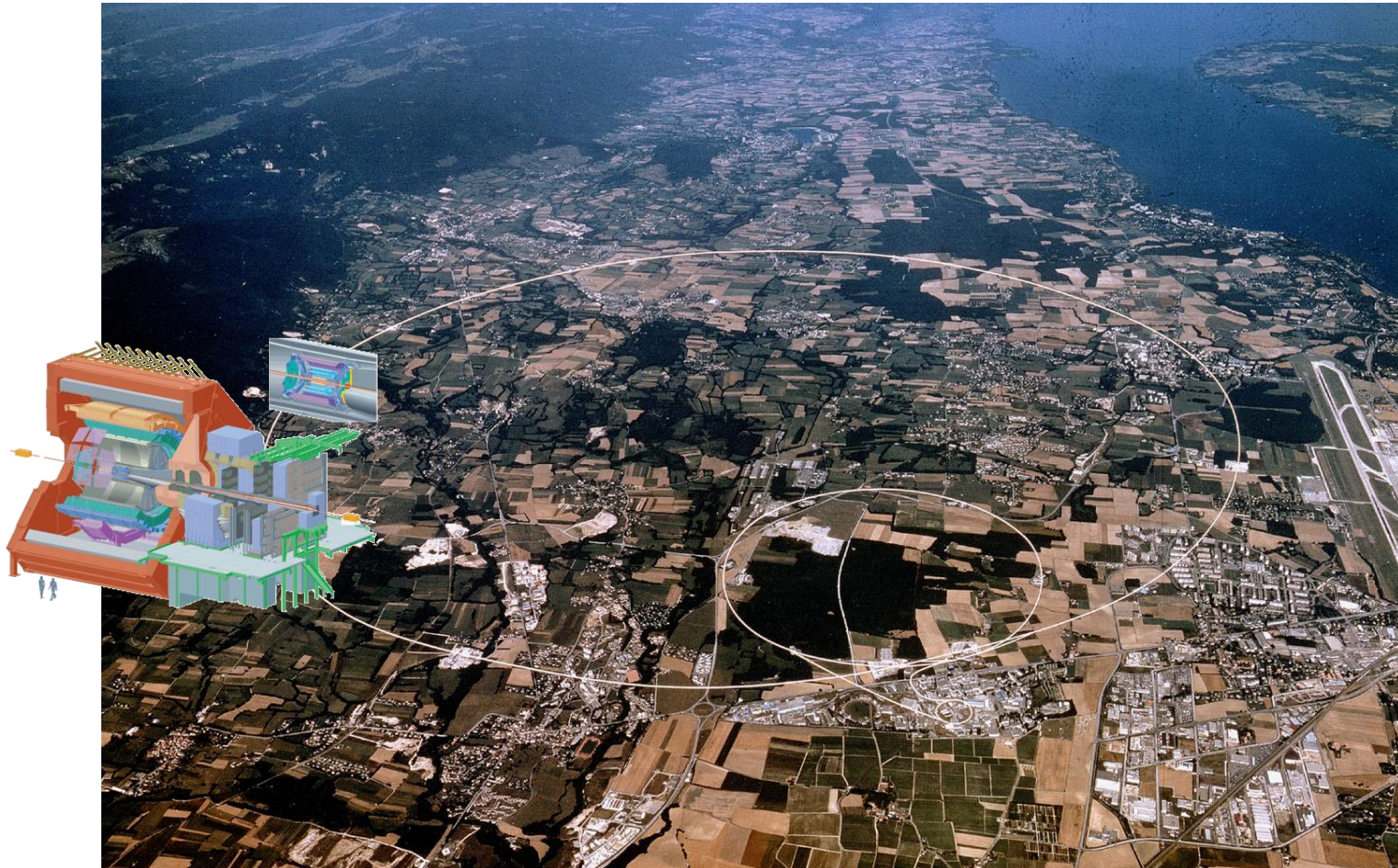


Como estudar o QGP experimentalmente?

- **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

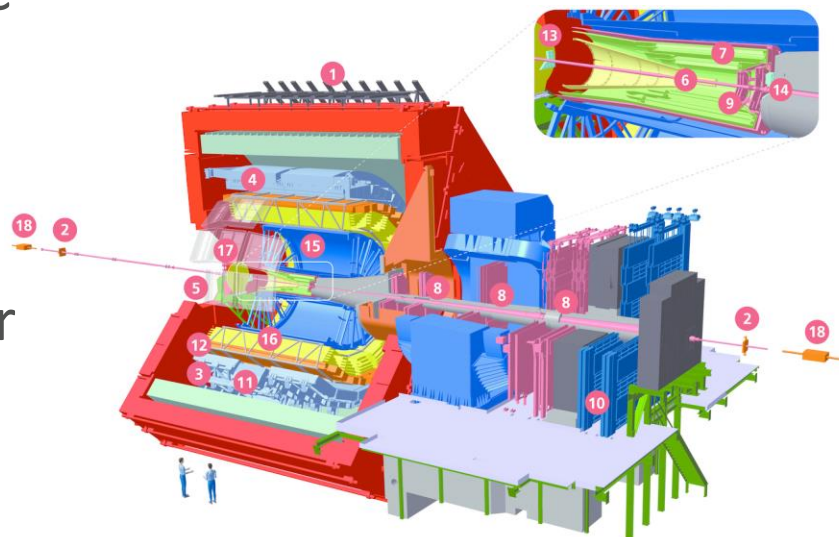




ALICE

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

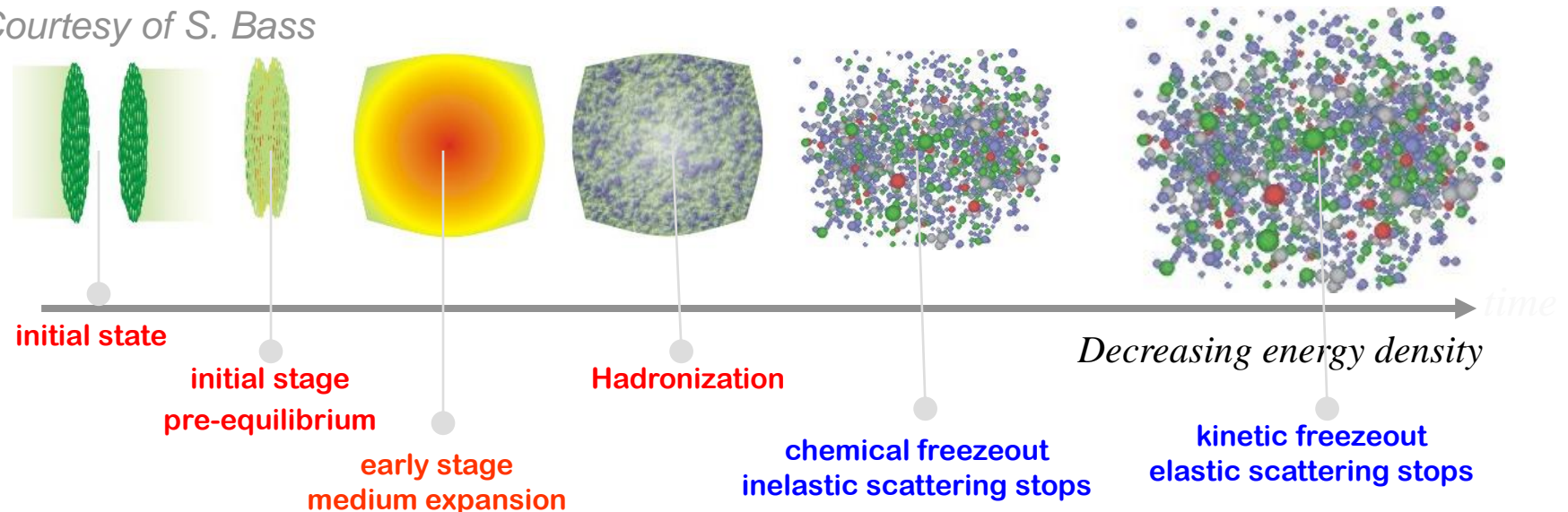
- Current personnel:
 - 4 Institutes
 - 10 faculty researchers + 1 postdoc (1.75% of ALICE)
 - 12 PhD thesis defended + 8 PhD active students (1.5% of ALICE)



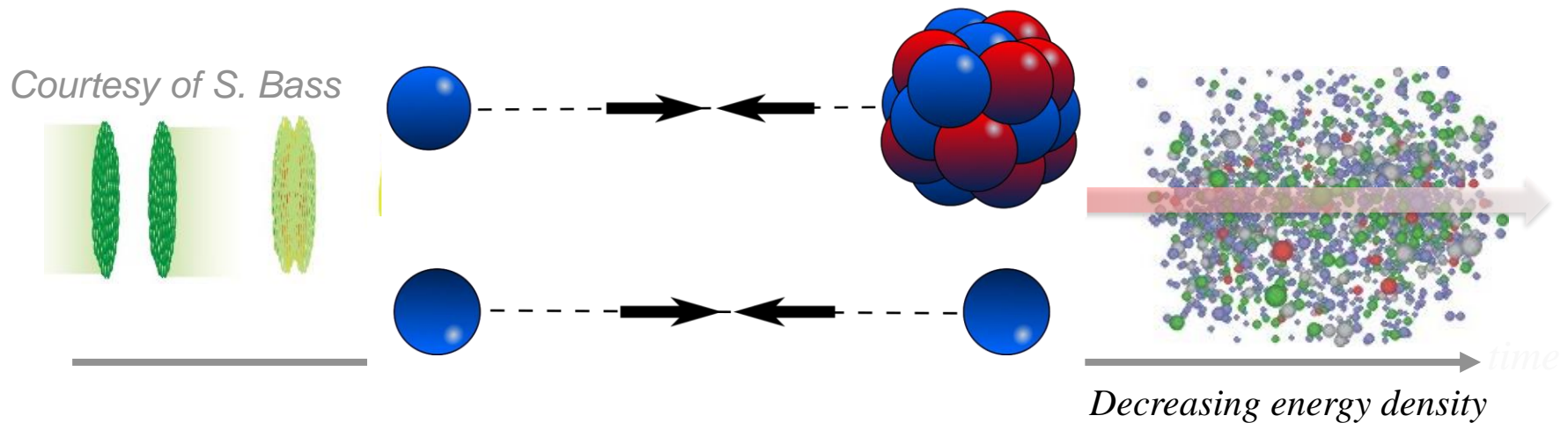
Metodologia

- **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?

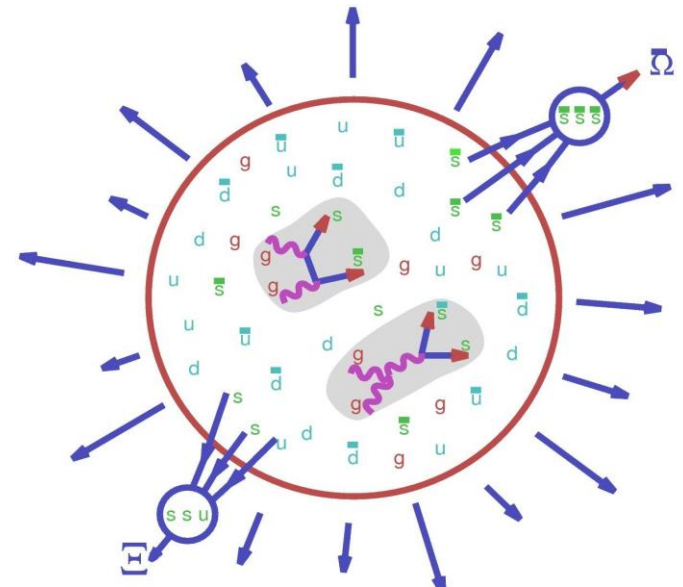


- Caracterização macroscópica (comprimentos de onda longos) do QGP
 - Observáveis globais (*bulk*) do estado de *freeze-out*
- Caracterização microscópica (comprimentos de onda curtos ou quase-partículas) do QGP
 - Pontas de prova de alta energia (*Hard Probes*)
- Em ambos os casos, é essencial a comparação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

Strangeness Enhancement

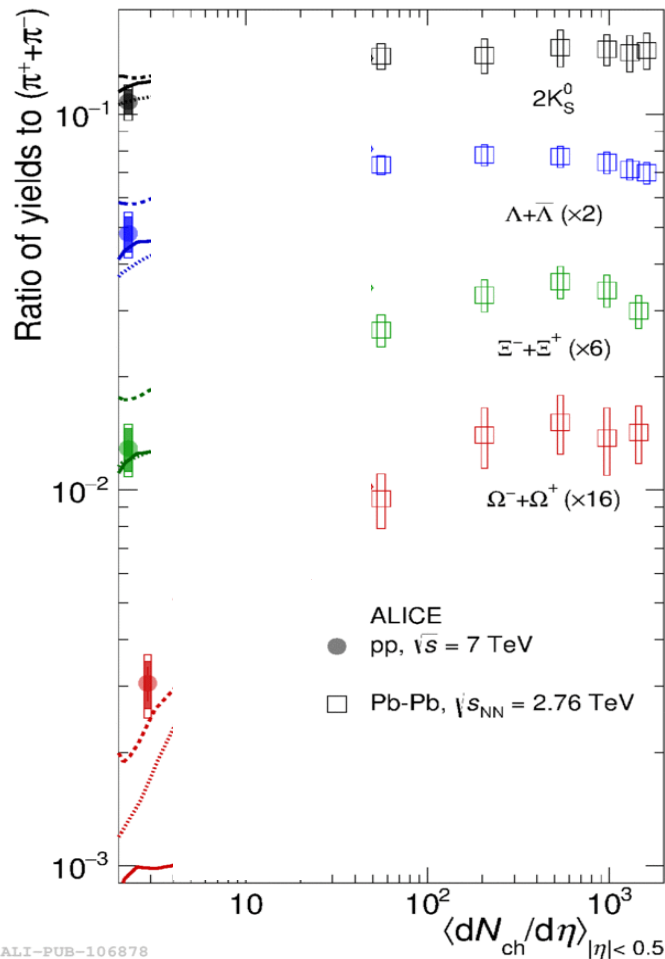
- Direct production of strange hadrons via color string breaking is suppressed
 - multistrange is even more suppressed
- Hadron reaction from single strange to multistrange is slow and kinetically disfavored
- **QGP scenario brings enhanced production of strange hadrons**

J. Rafelski e B. Müller, PRL48, 1982



Strangeness Enhancement

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



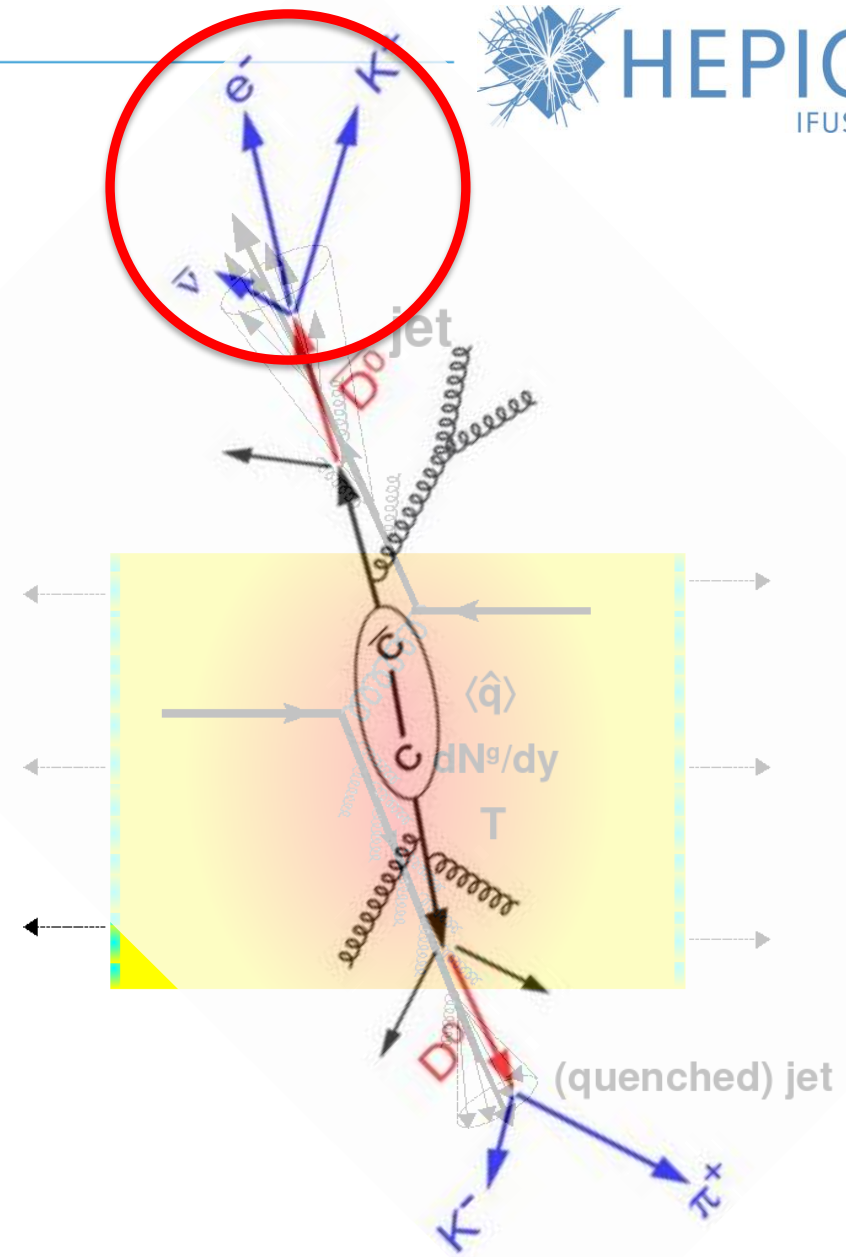
ALI-PUB-106878

- 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

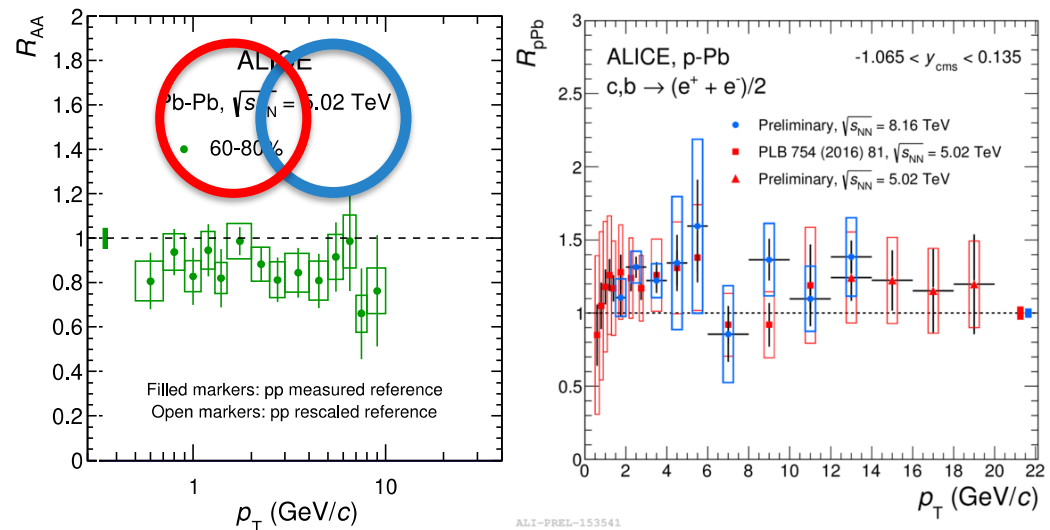
Heavy Flavor Hadrons

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

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

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

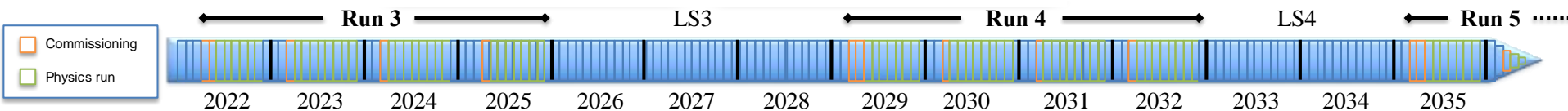


O que é necessário para se avançar no entendimento do QGP?

- 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)



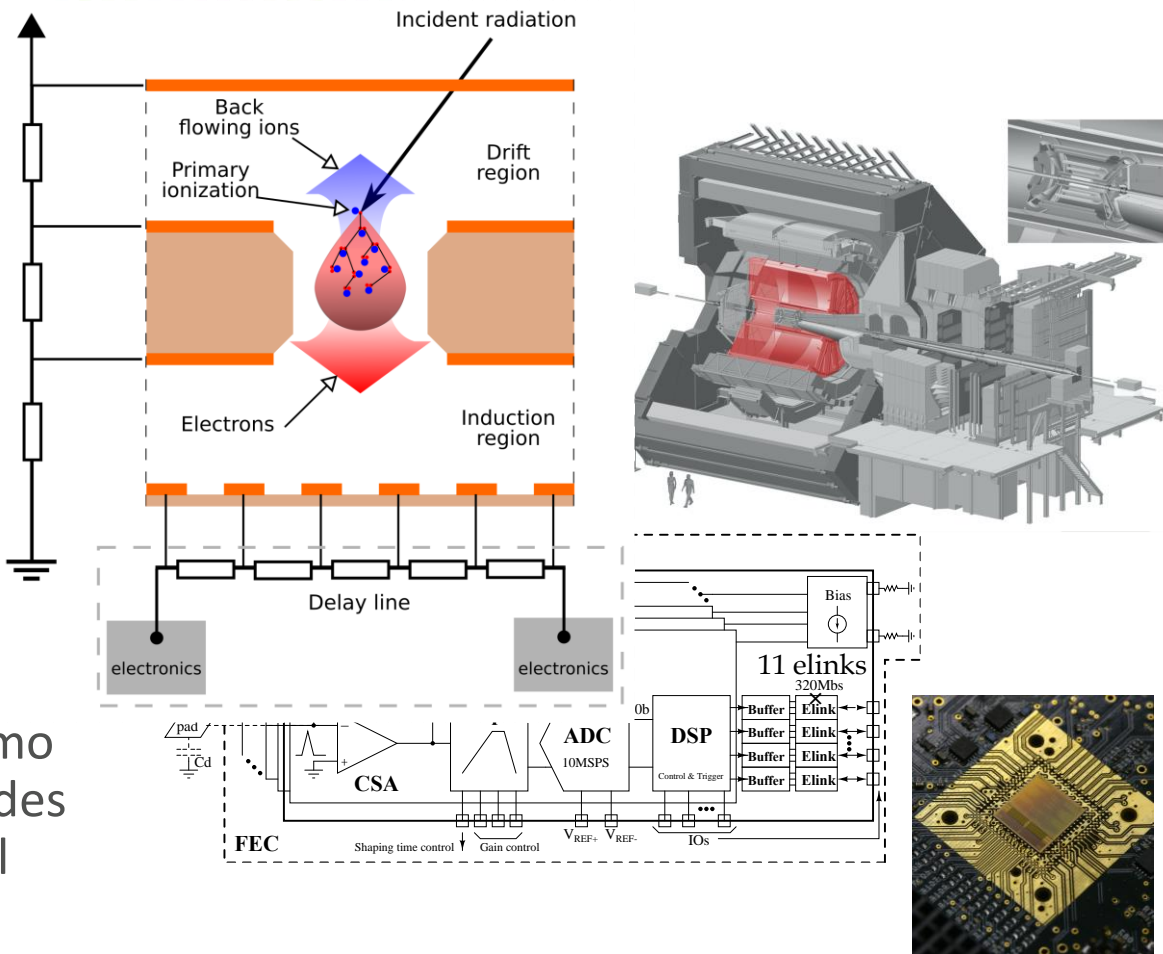
ALICE Upgrade para o Run 3 e 4



- 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

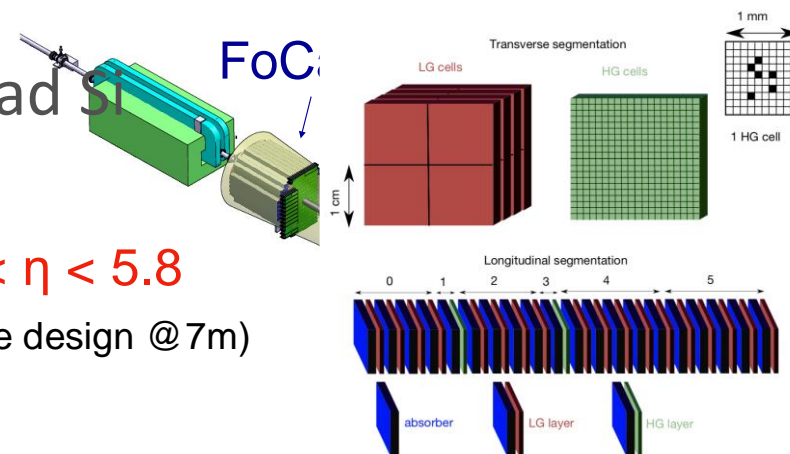
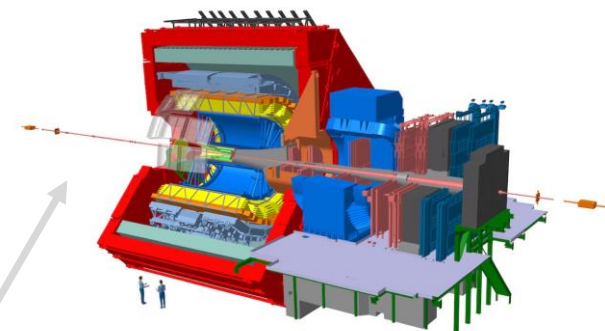
ALICE Upgrade para o Run 3 e 4

- *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

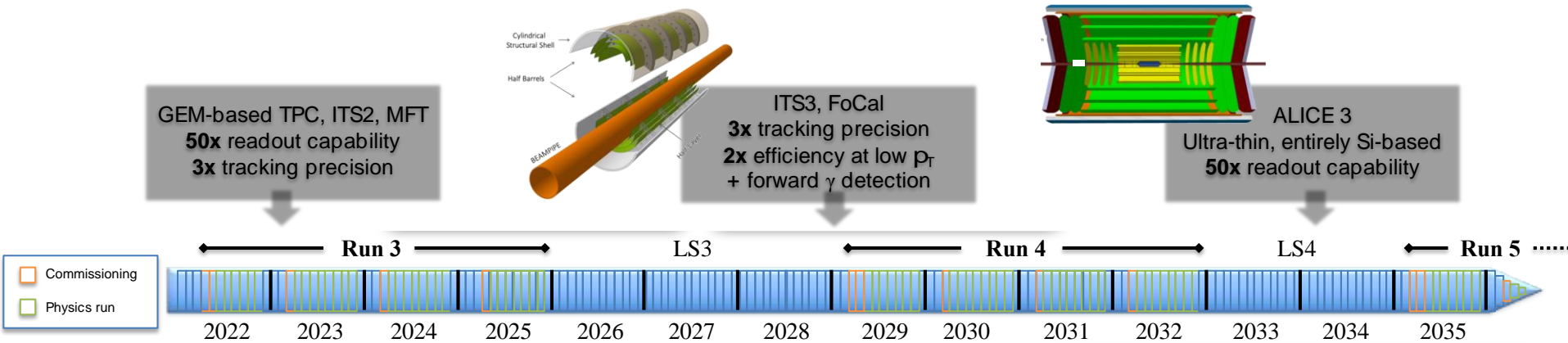


ALICE Upgrade for Run 4

- 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**