

Simulações da interação de partículas de alta energia em detectores

Sem identificação, de acordo com o edital

Jun 2022

Resumo

Este projeto tem por objetivo a simulação da interação de partículas carregadas com alta energia, originadas em colisões de eventos em aceleradores, usando a ferramenta de simulação GEANT4. Essas simulações terão o objetivo primeiro de fornecer as ionizações ocorridas como resultado das interações das partículas de interesse com o material do detector. Essas simulações estão inseridas no contexto do *upgrade* do experimento ALICE como um sistema adicional a um novo detector, o FoCal.

1 Introduction

O LHC [6] é o acelerador que produz as mais energéticas colisões entre íons pesados da atualidade. As colisões entre íons pesados relativísticos e ultra-relativísticos são o estado da arte da pesquisa experimental das interações fortes e sua teoria de fundo, a cromodinâmica quântica, ou QCD [1]. Algumas das questões em aberto na QCD, e que essas colisões procuram elucidar, se estendem desde a distribuição de pártons nos núcleos atômicos (nPDF) [2], passando por fenômenos de saturação de glúons nos núcleos alvo formando um estado conhecido como *Color Glass Condensate* (CGC) [3] e chegando na formação do estado de desconfinamento de quarks e glúons, conhecido como plasma de quarks e glúons (QGP na sigla em inglês) [4]. Um “sub-produto” interessante dessas colisões tem sido a produção de anti-matéria nuclear (anti-núcleos leves) e matéria hipernuclear, com núcleos e anti-núcleos atômicos formados por um ou mais nucleons contendo ao menos um quark estranho [5].

Este projeto está contextualizado na área de física nuclear relativística através da participação na colaboração internacional ALICE (*A Large Ion Collider Experiment*), que é dentre os principais experimentos do LHC, aquele dedicado essencialmente à pesquisa das colisões entre íons pesados relativísticos [7][8].

1.1 O experimento ALICE

O experimento ALICE é um detector para física de íons pesados relativísticos. Ele é composto de diversos subsistemas, cada um deles especializado em medir um determinado tipo de partícula ou características específicas de cada colisão. Nele há detectores de trajetórias, de energia, tempo de voo, emissão de radiação Cherenkov, radiação de transição, entre outros. Uma vista esquemática da atual configuração do detector pode ser vista na figura 2.

1.1.1 O FoCal

Futuramente um novo subsistema será adicionado ao experimento ALICE, o FoCal (*Forward Calorimeter*) [9] a se situar na região dianteira de rapidez - conforme figura 2(a) - será construído com o intuito de medir fótons diretos e é

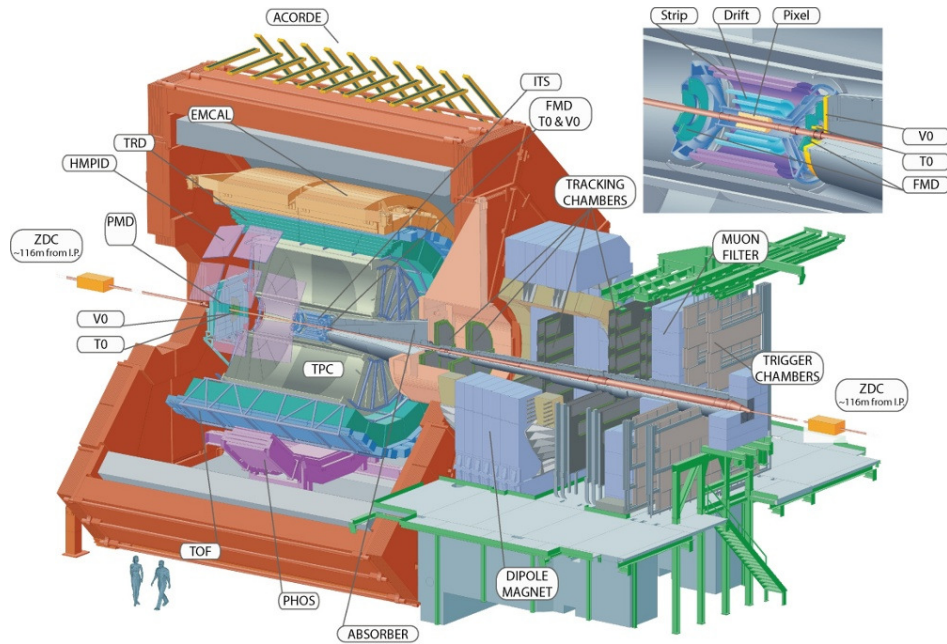


Figura 1: Vista esquemática do experimento ALICE.

neste detector que este projeto tem seu interesse no âmbito do experimento ALICE.

Como mostra a figura 2(b), o FoCal é composto, a partir do ponto de interação (colisões) de um calorímetro eletromagnético de alta granularidade, seguido de um calorímetro hadrônico. O objetivo principal do calorímetro hadrônico é o de identificar os chuveiros de origem hadrônica para que possam ser rejeitados para não contaminar o sinal de fótons, que por produzirem apenas chuveiros eletromagnéticos, tem esses chuveiros completamente contidos na primeira parte do FoCal.

1.1.2 Os Atuais Calorímetros do Experimento ALICE

Os calorímetros eletromagnéticos do ALICE (EMCal e DCal) [10, 11] são calorímetros de amostragem, divididos em células $6 \times 6 \text{ cm}^2$ de face e uma profundidade de 21 comprimentos de radiação (X_0), projetadas para manter o mesmo valor de pseudo-rapidez ao longo de seu comprimento e agrupadas em 11 supermódulos (SM) no EMCal e 6 SM no DCal, com cobertura em pseudo-rapidez de $|\eta| < 0,7$ e em azimute de 80° a 180° para o EMCal e de 260° a 320° para o DCal. Essas características geométricas garantem uma boa granularidade do detector, garantindo resolução espacial de $\Delta\eta \times \Delta\phi = 0,014 \times 0,014$ em radianos.

O conjunto EMCal+DCal é capaz de reconstruir chuveiros eletromagnéticos com eficiência próxima a 100% e com resolução em energia de $\sim 12\%/\sqrt{E} \oplus 1,7\%$ [10], o que significa dizer que o EMCal é especialmente eficiente na detecção de fótons e elétrons/pósitrons. Apesar disso o detector também é sensível a passagem de quaisquer partículas carregadas, em especial hádrons que constituem sua principal fonte de fundo. A resolução espacial dos calorímetros no entanto permite mapear com boa precisão o formato do chuveiro originado pelas partículas incidentes, permitindo assim discriminar os chuveiros eletromagnéticos dos hadrônicos.

Além disso, a configuração geométrica dos dois calorímetros permite uma limitada cobertura em oposição

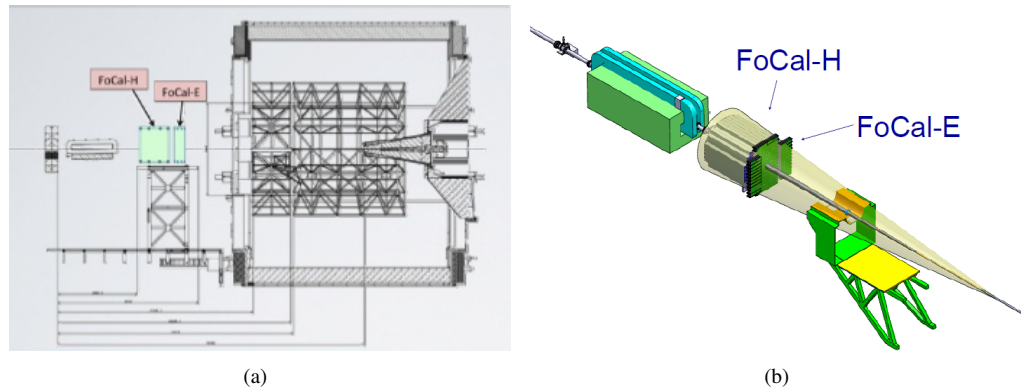


Figura 2: (a) Vista esquemática do FoCal em relação experimento ALICE . (b) Vista esquemática do FoCal e suas partes principais.

azimutal¹ de 60° , permitindo medidas de coincidência azimutal entre jatos, conhecidas como *di-jets*.

2 Objetivos e Resultados Esperados

Os objetivos específicos deste projeto de pesquisa são:

- Desenvolvimento e consolidação de habilidades computacionais de programação², e de uso sistema operacional linux
- Aprendizagem do uso da ferramenta de simulação GEANT4 [12]
- Aprendizagem de uso básico do programa de análise ROOT [13]
- Simulação do desenvolvimento de chuveiros eletromagnéticos em modelo simplificado análogo ao dos detectores descritos na seção 1.1.2
- Análise da leitura dos chuveiros para interpretar resolução em energia e formato dos chuveiros

3 Metodologia

Este projeto de IC será baseado no uso das ferramentas computacionais GEANT4 [12] e o sistema de análise ROOT.

O procedimento, consistirá em estudar a linguagem C++, e as ferramentas GEANT4 e ROOT. Uma vez adquirido o conhecimento necessário de programação e da ferramenta de simulação, o primeiro passo é modelar a geometria das células dos calorímetros. Depois da modelagem pronta, as primeiras simulações de teste, para verificar se há inconsistências e validar os modelos, são realizadas.

Em seguida, submete-se as simulações em larga escala no cluster de computação de alta performance, titânio[14], para obter simulações com grande número de eventos (da ordem de milhões).

¹Back-to-Back em ϕ

²em especial C++

4 Cronograma

Este projeto propõe o seguinte cronograma para o cumprimento de seus objetivos:

Primeiro Semestre do Projeto (2° de 2022):

- Aprendizagem da linguagem C++ [15]
- Aprendizagem do uso das ferramentas GEANT4 e ROOT
- Definição da geometria das células de calorímetro na linguagem do GEANT4
- Definição das características de operação (quantidade de camadas de chumbo e cintilador, número de torres)

Segundo Semestre do Projeto (1° de 2023):

- Teste inicial da simulação com todos os componentes em pequena escala (em *laptop*)
- Submissão em larga escala das simulações nos HPC da UFABC
- Análise dos resultados obtidos da simulação em larga escala

Referências

- [1] Ultrarelativistic Heavy-Ion Collisions, Ramona Vogt, Elsevier Science; 1 edition (August 6, 2007), ISBN-10: 0444521968
- [2] Sarkar, S. et al., The Physics of the Quark Gluon Plasma, Introductory Lectures Series: Lecture Notes in Physics, Vol. 785 Springer, 2010.
- [3] Larry McLerran - The Color Glass Condensate and Small x Physics: 4 Lectures - Lect.Notes Phys.583:291-334,2002, arXiv:hep-ph/0104285
- [4] J. Zimányi - Evolution of the concept of Quark Matter: the Ianus face of the heavy ion collisions - Nucl. Phys. A, 774:25-34, 2006
- [5] The ALICE Collaboration - $^3_\Lambda\text{H}$ and $^3_\Lambda\bar{\text{H}}$ production in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV - Phys. Lett. B 754 (2016) 360-372
- [6] T. M. Taylor - The LHC: a new hadron collider for experimental physics - Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., A 461, 1-3 (2001) 5-9.
- [7] The ALICE Collaboration - ALICE Physics Performance Report - 2004 J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. 30 1517
- [8] ALICE Physics Performance Report II -2006 J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. 32 1295 cap. 5.1.3
- [9] M. R. Cosentino (for the ALICE FoCal Collaboration), Probing Nuclear PDF and Gluon Saturation At The LHC with Forward Direct Photons - PoS(INPC2016)327
- [10] Rene Bellwied, for the ALICE EMCal Collaboration, arXiv:physics.ins-det/1008.0413
- [11] J. Allen et al, ALICE DCal: An Addendum to the EMCal Technical Design Report Di-Jet and Hadron-Jet correlation measurements in ALICE - CERN Document Server, <https://cds.cern.ch/record/1272952?ln=en>

- [12] J.Allison *et al*, Recent developments in Geant4 - Nucl.Instrum.Meth. A835 (2016) 186-225
- [13] R. Brun, F. Rademakers - The ROOT System Home Page - <http://root.cern.ch/drupal/>
- [14] Computação Científica (UFABC), <http://propes.ufabc.edu.br/divisoas/cc>
- [15] Bjarne Stroustrup - The C++ Programming Language (4th Edition), Addison-Wesley ISBN 978-0321563842. May 2013.