

Projeto de Pesquisa

Título: Física Experimental de Altas Energias

Orientador:

Estudante:

Bolsa: Iniciação Científica

Vigência: A partir de 01/Jan/2008

Resumo

O projeto visa fornecer ao estudante as ferramentas e conceitos básicos envolvidos na Física de Altas Energias, com vistas a prepará-lo para o Doutorado Direto junto aos experimentos aos quais o grupo do SPRACE (Centro Regional de Análises de São Paulo) está associado (DZero do Fermilab e CMS do CERN).

Introdução

Este Projeto de Pesquisa tem por objetivo introduzir o estudante nas técnicas e conceitos fundamentais da Física de Altas Energias, tanto nos aspectos teóricos como experimentais. Através de um programa de estudos bem estruturado, visamos complementar a formação acadêmica do estudante, fornecendo um conhecimento básico da pesquisa atual na área e possibilitando sua participação ativa nos experimentos DZero do Fermilab e CMS do CERN.

Construídos para investigar as interações fundamentais da natureza e a estrutura íntima da matéria, os aceleradores de partículas desempenham papel central nesta área de pesquisa. Em particular o anel de colisão Tevatron do Fermilab, maior acelerador atualmente em operação, e o Large Hadron Collider do

CERN, que deverá começar a coletar dados no próximo ano, desempenham papel proeminente dentre as iniciativas internacionais nesta área.

O objetivo principal destes experimentos é investigar de forma ampla e exaustiva as interações fundamentais na escala de 1 TeV. Talvez o mais destacado item de sua agenda seja a busca do bóson de Higgs, ou de mecanismo equivalente responsável pela origem da massa das partículas elementares. No Modelo Padrão o mecanismo de Higgs é responsável pela quebra espontânea de simetria e, conseqüentemente, pela geração de massa dos bósons vetoriais intermediários das interações fracas e dos férmions constituintes da matéria (quarks e léptons). Remanescente deste mecanismo, o elusivo bóson de Higgs permanece sendo o maior desafio da Física Experimental de Altas Energias. Apesar de sua massa não ser prevista pelo modelo, há fortes indicações experimentais indiretas que apontam para valores que o tornam acessível a estes experimentos.

Há ainda um grande espectro de modelos teóricos que prevêm diferentes cenários que vão além daquele predito pelo Modelo Padrão e que devem ser investigados experimentalmente. Dentre eles, os modelos supersimétricos e aqueles que prevêm a existência de dimensões extras estão entres os mais promissores. Além de investigar uma nova física, estes experimentos deverão estar também empenhados em aprimorar as medidas existentes dos parâmetros do Modelo Padrão.

O experimento DZero foi concebido na primeira metade da década de 80, com a finalidade de estudar a física de vanguarda utilizando o espalhamento próton–antipróton a 2 TeV. A alta energia e a grande luminosidade ($2 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$) da presente fase de operação (Run II), que se iniciou no ano 2000, permitem ao Tevatron oferecer condições inigualáveis para a realização de experimentos em

Física de Altas Energias. Participam atualmente desta colaboração mais de 600 físicos pertencentes a 73 instituições de 18 países. Ao longo dos anos, os resultados obtidos por este experimento deram origem a mais de 300 teses de doutorado e 200 artigos publicados em revistas indexadas.

O Compact Muon Solenoid (CMS) é um dos experimentos do Large Hadron Collider (LHC) que vêm sendo implantados no CERN. O LHC foi construído no túnel utilizado durante a década de 90 pelo LEP e deverá começar operar a partir de 2008, colidindo prótons a uma energia de 14 TeV no centro de massa. A colaboração do CMS, da qual o grupo do SPRACE participa, conta atualmente com 182 instituições de 39 países. O detector do CMS possui grande cobertura angular e foi projetado de forma a identificar com precisão múons, fótons e elétrons, além de jatos hadrônicos, em uma ampla faixa de energia, permitindo identificar o bóson de Higgs e explorar as principais características de eventos de uma nova física, além daquela prevista pelo Modelo Padrão.

A quantidade sem precedentes de dados a ser produzida por estes experimentos deverá ser processada, compartilhada e analisada por milhares de pesquisadores ao redor do mundo. Para tornar isto possível, as colaborações científicas envolvidas nesses projetos viram-se obrigadas a criar uma nova forma de processamento computacional distribuído, representada pela arquitetura Grid.

O grupo do SPRACE participa ativamente dos experimentos DZero e CMS através da análises físicas dos dados produzidos, buscando sinais de uma nova física além do Modelo Padrão. O SPRACE também implantou e vem operando uma cluster de computadores que participa da estrutura de Grid do LHC. Este cluster tem reprocessado eventos para o DZero, além de fazer simulações de Monte Carlo para a colaboração CMS, operando como uma Tier 2 dentro da estrutura de Grid do LHC.

Plano de trabalho

Os principais tópicos a serem tratados neste projeto de iniciação científica serão:

- **Conceitos Fundamentais da Física de Altas Energias:** O aluno deverá inicialmente tomar contato com os diversos aspectos da Física de Altas Energias através da leitura e discussão de textos selecionados dentre o grande número de artigos de divulgação científica existentes [1]. Deverá também ser utilizado o livro “*The Charm of Strange Quarks: Mysteries and Revolutions of Particle Physics*” [2], que foi elaborado pelo *Contemporary Physics Education Project* [3], e as notas do curso de Introdução à Física de Altas Energias [4], preparado pelo grupo do SPRACE. Uma vez familiarizado com a nomenclatura e os conceitos fundamentais, o aluno deverá adquirir noções sobre o formalismo utilizado pela Física de Altas Energias (Teoria Campos, Teorias de Gauge, etc.). Serão estudados ainda os fundamentos da Relatividade Restrita, transformações de Lorentz, quadrivetores, álgebra tensorial, Mecânica Relativística, decaimento e colisão de partículas, seção de choque e espaço de fase. O texto principal a ser utilizado neste último tópico é o livro de Landau e Lifshitz [5]. Poderão servir como textos de apoio os livros de Frauenfelder e Henley, e Cahn e Goldhaber [6];
- **Detectores de Partículas:** Serão estudadas as principais características dos detectores de partículas utilizados em anéis de colisão. Será tomado como exemplo o próprio detector Compact Muon Solenoid (CMS) [7] onde examinaremos a infra-estrutura do detector e o magneto, o detector de *tracking*, os calorímetros eletromagnéticos e hadrônicos, os detectores frontais, o sistema de múons, além do *trigger*, sistema de aquisição de dados e a estrutura computacional associada. Como textos de apoio serão utilizados os livros clássicos de Knoll, Frühwirth *et al.* e Leo [8].
- **Programação para Física de Altas Energias:** Será dada uma atenção especial à formação do estudante em técnicas de programação utilizadas na área. Em particular deverá ser estudada a linguagem C++ através do livro *Accelerated C++: Practical Programming by Example* [9]. O estudante deverá

aprender a utilizar o ROOT [10], *framework* orientado ao objeto para análise de dados em Física da Altas Energias. Também deverá tomar contato com o *framework* de análise do CMS [11].

Cronograma de Execução

O cronograma previsto de execução é sintetizado na tabela abaixo:

Trimestres	1º	2º	3º	4º
Conceitos Fundamentais da Física de Altas Energias				
Detectores de Partículas				
Programação para Física de Altas Energias				

Método

Estão previstas reuniões semanais para discussão e apresentação de seminários sobre os assuntos estudados. Ao término deste programa de Iniciação Científica o aluno deverá estar preparado para iniciar um Doutorado Direto em Física de Altas Energias.

Referências

- [1] D. Cline, C. Rubbia, and S. van der Meer, "*The Search for Intermediate Vector Bósons*", Scientific American (March 1982) p. 48; D. Cline, "*Low Energy Ways to Observe High Energy Phenomena*", Scientific American (September 1994); F.E. Close and P.R. Page, "*Glueballs*", Scientific American (November 1998) p. 52; J.W. Cronin, S.P. Swordy and T.K. Gaisser, "*Cosmic Rays at the Energy Frontier*", Scientific American (January 1997) p. 44; M.J. Duff, "*The Theory Formerly Known as Strings*", Scientific American (February 1998) p. 64.; H. Georgi, "*A Unified Theory of Elementary Particles and Forces*", Scientific American (April 1981) p. 48; C. Grab, H. Breuker, H. Drevermann, and A.A. Rademaker, "*Tracking and Imaging of Elementary Particles*", Scientific American (August 1991) p. 42; H. Harari, "*The Structure of Quarks and Leptons*", Scientific American (April 1983) p. 56; R.C. Howis and H. Kragh, "*P.A.M. Dirac and the Beauty of Physics*", Scientific American (May 1993) p. 62; M. Kaku, "*Into the Eleventh Dimension*", New Scientist (January 18, 1997) p. 32; A.M. Litke and A.S. Schwarz, "*The Silicon Microchip Detector*", Scientific American (February, 1994) p. 56; C. Quigg, "*Elementary Particles and Forces*", Scientific American (April 1985) p. 84; "*Top-ology*", Physics Today (May 1997) p. 20; H.R. Quinn and M.S. Witherell, "*The Asymmetry Between Matter and Antimatter*", Scientific American (October 1998) p. 76; C. Sutton, "*Subatomic Forces*", New Scientist (February 11, 1989) p. 1; "*Four Fundamental Forces*", New Scientist (November 19, 1988) p. 1; "*The Secret Life of the Neutrino*", New Scientist (January 14, 1988) p. 53; M. Veltman, "*The Higgs Bóson*", Scientific American (November 1986) p. 76; S. Weinberg, "*The Discovery of Subatomic Particles*", Scientific American (1983) p. 206; "*A Unified Physics by 2050?*", Scientific American (December 1999); D.H. Weingarten, "*Computing Quarks*", Scientific American (February 1996) p. 116; E. Witten, "*Duality, Spacetime and Quantum Mechanics*", Physics Today (May 1997) p. 28; "*Reflections on the Fate of Spacetime*", Physics Today (April 1996) p. 24.

- [2] R. M. Barnett, H. Muehry e H. R. Quinn, “*The Charm of Strange Quarks: Mysteries and Revolutions of Particle Physics*” (American Institute of Physics, 2002).
- [3] *Contemporary Physics Education Project*, <http://www.cpepweb.org/>.
- [4] “Introdução à Física de Altas Energias”, São Paulo Regional Analysis Center, <http://www.sprace.org.br/novaes/IntHEP/>.
- [5] L. D. Landau e E. M. Lifshitz, “*The Classical Theory of Fields*”, Fourth Revised English Edition, (Pergamon Press, 1975).
- [6] H. Frauenfelder e E. M. Henley, “*Subatomic Physics*”, Second Edition, Prentice Hall (1991); R. N. Cahn e G. Goldhaber, “*The Experimental Foundations of Particle Physics*”, Cambridge University Press (1989).
- [7] CMS Collaboration, *The CMS detector at the CERN LHC*, to be submitted for publication, <http://cmsdoc.cern.ch/cms/Publications/detpaper/draft9Nov.pdf>.
- [8] G. F. Knoll, “*Radiation Detection and Measurement*”, Third Edition (John Wiley & Sons, 2000); R. Frühwirth, M. Regler, R. K. Bock, H. Grote, D. Notz, “*Data Analysis Techniques for High-Energy Physics*”, Second Edition, (Cambridge University Press, 2000); W. R. Leo, “*Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments*”, Second Revised Edition, (Springer-Verlag, 1994).
- [9] Andrew Koenig, Barbara E. Moo, “*Accelerated C++: Practical Programming by Example*” (Addison-Wesley, 2000).
- [10] ROOT: An Object Oriented Data Analysis Framework, <http://root.cern.ch/>.
- [11] CMSSW Documentation, http://cms-service-sdtweb.web.cern.ch/cms-service-sdtweb/doxygen/CMSSW_1_8_0_pre1/doc/html/index.html;
CMS Offline WorkBook, <https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/CMS/WorkBook>