

Estudo de subestrutura de jatos de quarks pesados em colisões de íons pesados

Fabio de Moraes Canedo
7994642

Orientador:

Prof. Marcelo Gameiro Munhoz
Instituto de Física da Universidade de São Paulo
Março de 2018 a Novembro de 2018

30 de novembro de 2018

1 Resumo do Projeto

1.1 Introdução

Em colisões entre íons pesados(íons de chumbo ou ouro) a uma energia da ordem de 100GeV no sistema de referência do centro de massa, é possível obter um novo estado da matéria, chamado de Plasma de Quarks e Gluons, onde estas partículas deixam de estar confinadas em hadrons, introduzindo novos graus de liberdade no sistema. A temperatura necessária para formar este estado da matéria é da ordem de 200MeV [1] ou 10^{12}K , e a densidade de energia excede o valor típico hadrônico de $1\text{GeV}/fm^3$. As propriedades deste estado da matéria podem ser estudadas analisando os produtos dessa colisão após o resfriamento da matéria. Através do espectro de p_T das partículas, por exemplo, obtém-se informações sobre a entropia e a temperatura do plasma, através da multiplicidade das partículas produzidas[1]. Em geral, essas propriedades referentes à expansão hidrodinâmica do plasma estarão associadas ao espectro na faixa de $p_T \approx 0 - 2\text{GeV}/c$. Na faixa $p_T > 2\text{GeV}/c$, observa-se os efeitos de fenômenos de *hard scattering*. Esses fenômenos são resultado da formação de partículas de alta energia que atravessam o plasma aquecido, depositando energia neste. Na sua saída, devido às propriedades[2] da QCD¹, essas partículas se fragmentam criando os chamados jatos ou *jets*. Esses jatos sofrem efeitos estruturais por conta da interação dos partons iniciais[3–7] com o plasma.

Nos instantes iniciais das colisões entre íons pesados, quarks pesados podem ser gerados. Quarks pesados, como o *bottom*, podem ser utilizados como ponta de prova para o estudo do Plasma de Quarks e Gluons devido à sua interação com este em seu caminho para fora da região de interação[8, 9]. Eles interagem com o meio de duas formas, através da radiação induzida, ou *gluonsstrahlung*, e através de reações colisionais. Embora estes mesmos efeitos ocorram para quarks leves, a massa dos quarks pesados limita a sua perda de energia e também sua velocidade², o que permite que ele “colete” mais informações sobre o QGP, uma vez que, tendo menor velocidade, o quark passa muito mais tempo dentro do plasma[9].

1.2 Objetivo

O objetivo deste trabalho é investigar como diferentes modelos tratam os efeitos da expansão do meio formado em colisões entre íons pesados relativísticos na estrutura de jatos formados pela fragmentação de quarks pesados.

¹QCD ou *Quantum Chromodynamics* é a teoria que descreve as interações fortes.

²Especialmente no limite $E \approx m$

Diversos modelos serão investigados e, após uma avaliação dos mesmos, pretendemos implementar em um ou mais modelos uma descrição mais detalhada desse meio, considerando-se flutuações evento por evento e eventualmente, outras características do meio, como sua viscosidade. Posteriormente, observaremos a distância angular entre os centros dos subjatos e a fração energética compartilhada entre ambos. Certos modelos [9, 10] preveem que o meio deve interferir em processos de perda de energia.

1.3 Métodos

Para a realização desse trabalho utilizaremos geradores de eventos, que são essencialmente simuladores de colisões hadrônicas, para verificar os efeitos esperados do meio hidrodinâmico em expansão na fragmentação de quarks pesados, que podem ser observados através do estudo da subestrutura de jatos. Os programas que serão investigados são:

- v-USPhydro[11–14], modelo relativístico de fluxo hidrodinâmico(2+1) com viscosidade;
- JEWEL[15, 16], constitui um gerador de eventos com modelos específicos de *Jet Quenching*;
- PYTHIA[17], que constitui em um gerador de colisões próton-próton;
- MUSIC[18];
- HYDJET[19], constitui um gerador de colisões hadrônicas combinado com um algoritmo de simulação hidrodinâmica;

2 Realizações

Até o momento, as atividades realizadas na duração do mestrado incluem:

- A obtenção de créditos para a conclusão do Mestrado;
 - Mecânica Quântica I;
 - Fenomenologia de Íons Pesados I;
 - Fenomenologia de Íons Pesados II;
 - Mecânica Estatística;
- Estudos introdutórios a respeito de colisões de íons pesados, auxiliados pelas disciplinas de Fenomenologia de Íons pesados;

- Estudo de processos de fragmentação de quarks pesados;
- Seleção de modelo a ser utilizado e modificado para a simulação de processos de quarks pesados;
- Estudos realizados sobre algoritmos de reconstrução de jatos, assim como estudo de variáveis de subestrutura de jatos;
- Familiarização com o modelo JEWEL, a ser utilizado nas simulações de jatos pesados;

3 Cronograma

Abaixo, segue o cronograma planejado para a realização do trabalho:

1º semestre de 2019	Simulação de eventos com os modelos e geradores estudados previamente Início da análise dos dados verificando a sensibilidade dos observáveis dos jatos às propriedades hidrodinâmicas do QGP
2º semestre de 2019	Finalização da análise dos dados simulados Redação da dissertação

Referências

- [1] J. Letessier and J. Rafelski, *Hadrons and Quark-Gluon Plasma*, May 2002. [Online]. Available: [/core/books/hadrons-and-quarkgluon-plasma/552D050DB6E3D922271E2D3F3F5354C0](#)
- [2] P. Skands, “Introduction to QCD,” *arXiv:1207.2389 [hep-ph, physics:hep-th]*, pp. 341–420, Nov. 2013. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1207.2389>
- [3] I. P. Lokhtin and A. M. Snigirev, “Angular structure of energy losses of hard jet in dense QCD-matter,” *Physics Letters B*, vol. 440, no. 1-2, pp. 163–169, Nov. 1998. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/hep-ph/9805292>
- [4] S. A. Bass, C. Gale, A. Majumder, C. Nonaka, G.-Y. Qin, T. Renk, and J. Ruppert, “Systematic Comparison of Jet Energy-Loss Schemes in a realistic hydrodynamic medium,” *Physical Review C*, vol. 79, no. 2, Feb. 2009. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/0808.0908>

- [5] M. Connors, C. Nattrass, R. Reed, and S. Salur, “Review of Jet Measurements in Heavy Ion Collisions,” *arXiv:1705.01974 [nucl-ex]*, May 2017. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1705.01974>
- [6] C. Nattrass, “Jet quenching: an iconic result revisited,” *arXiv:1801.09131 [nucl-ex]*, Jan. 2018. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1801.09131>
- [7] D. d’Enterria, “Jet quenching in QCD matter: from RHIC to LHC,” *Nuclear Physics A*, vol. 827, no. 1-4, pp. 356c–364c, Aug. 2009. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/0902.2488>
- [8] H. T. Li and I. Vitev, “Inverting the mass hierarchy of jet quenching effects with prompt b -jet substructure,” *arXiv:1801.00008 [hep-ex, physics:hep-ph]*, Dec. 2017. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1801.00008>
- [9] T. Renk, “Jet quenching and heavy quarks,” *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 509, p. 012022, May 2014. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1309.3059>
- [10] K. Zapp, G. Ingelman, J. Rathsman, J. Stachel, and U. A. Wiedemann, “A Monte Carlo Model for ‘Jet Quenching’,” *The European Physical Journal C*, vol. 60, no. 4, pp. 617–632, Apr. 2009, arXiv: 0804.3568. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/0804.3568>
- [11] “Jacquelyn Noronha-Hostler | v-USPhydro.” [Online]. Available: <http://jakinoronhahostler.wixsite.com/jmnh/v-usphydro>
- [12] J. Noronha-Hostler, B. Betz, J. Noronha, and M. Gyulassy, “Event-by-event hydrodynamics + jet energy loss: A solution to the $R_{AA} \otimes v_2$ puzzle,” *Physical Review Letters*, vol. 116, no. 25, Jun. 2016, arXiv: 1602.03788. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1602.03788>
- [13] J. Noronha-Hostler, J. Noronha, and F. Grassi, “Bulk viscosity-driven suppression of shear viscosity effects on the flow harmonics at energies available at the BNL Relativistic Heavy Ion Collider,” *Physical Review C*, vol. 90, no. 3, p. 034907, Sep. 2014. [Online]. Available: <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevC.90.034907>
- [14] J. Noronha-Hostler, J. Noronha, and M. Gyulassy, “Sensitivity of flow harmonics to subnucleon scale fluctuations in heavy ion collisions,” *Phys.Rev.*, vol. C93, p. 024909, Feb. 2016.

- [15] *JEWEL – Hepforge*. [Online]. Available: <https://jewel.hepforge.org/>
- [16] K. C. Zapp, “JEWEL 2.0.0 - Directions for Use,” *The European Physical Journal C*, vol. 74, no. 2, Feb. 2014, arXiv: 1311.0048. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1311.0048>
- [17] *PYTHIA*. [Online]. Available: <http://home.thep.lu.se/~torbjorn/Pythia.html>
- [18] *MUSIC*. [Online]. Available: <http://www.physics.mcgill.ca/music/>
- [19] I. P. Lokhtin, L. V. Malinina, S. V. Petrushanko, A. M. Snigirev, I. Arsene, and K. Tywoniuk, “HYDJET++ heavy ion event generator and its applications for RHIC and LHC,” *Journal of High Energy Physics*, vol. 2009, no. 09, pp. 023–023, Sep. 2009. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/0903.0525>