

A EXPANSÃO HIDRODINÂMICA DO PLASMA DE QUARKS E GLÚONS *

Autor: Matheus Leidens - (matheus_leidens@hotmail.com)
Orientador: Cristiano B. Mariotto – (cristianomariotto@furg.br)

INTRODUÇÃO

A hidrodinâmica relativística [1] é fundamental na compreensão de colisões núcleo - núcleo relativísticas (nos colisionadores *Relativistic Heavy Ion Collider* (RHIC) e LHC). A sua utilização em física de altas energias foi sugerida por Landau, muito antes do desenvolvimento da Cromodinâmica Quântica (QCD), a teoria das interações fortes. Colisões de altas energias produzem muitos hádrons de diferentes tipos indo em todas as direções. Com o desenvolvimento do modelo de pártons e da QCD, a descrição hidrodinâmica foi abandonada. Só nos últimos anos, com o advento de experiências de colisões de íons pesados no *RHIC*, o interesse na hidrodinâmica relativística foi reavivado. Vários fenômenos foram observados, que sugeriram que a matéria produzida nestas colisões tem um comportamento coletivo, como num fluido.

A hidrodinâmica relativística é interessante, por ser simples e geral. É simples porque a informação sobre o sistema é codificado em suas propriedades termodinâmicas (sua equação de estado). É geral, no sentido em que se baseia em apenas em um (forte) pressuposto: equilíbrio termodinâmico local. Nenhuma suposição é feita sobre a natureza das partículas e campos, suas interações, e da natureza clássica/quântica dos fenômenos envolvidos. O objetivo deste trabalho é apresentar uma introdução da hidrodinâmica relativística e a sua aplicação em colisões de íons pesados, onde parece ser possível produzir um fluido relativístico denominado Plasma de Quarks e Glúons (QGP) [2,3].

METODOLOGIA

Na descrição da hidrodinâmica relativística da evolução da matéria, não consideramos partículas individuais, mas sim o fluxo de partículas num elemento de volume. Usamos as equações da hidrodinâmica, como a da conservação do número bariônico e a da conservação de energia-momento, sendo o fluxo de energia-momento descrito em termos do quadri vetor velocidade de escoamento.

Na termodinâmica usual [4] temos um sistema em equilíbrio termodinâmico *global*, onde pressão, temperatura e potencial químico são constantes em todo o volume, além de o sistema estar globalmente em repouso (momento total nulo). A condição de equilíbrio termodinâmico *local* é de que o livre caminho médio de uma partícula entre duas colisões é muito menor do que todas as dimensões características do sistema. A colisão gera milhares de partículas num pequeno volume, e estas partículas interagem. Se estas interações são suficientemente fortes, o sistema pode atingir um estado de equilíbrio termodinâmico local, que expande após ser produzido. As equações de fluidos obtidas sob o pressuposto de equilíbrio termodinâmico local são chamadas de equações

* Apoio: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPQ.

de fluidos perfeitos. Sendo equações diferenciais parciais de primeira ordem, a sua solução é univocamente determinada pelas condições iniciais especificadas, juntamente com uma equação de estado.

O fluido eventualmente se transforma num sistema de partículas livres que atingem o detector. Neste trabalho, mostramos algumas propriedades da distribuição de momento de partículas emitidas pelo fluido. Portanto se a hidrodinâmica ideal vale na maior parte da expansão, pode-se assumir que a fases tardias da expansão não alteram as características essenciais das distribuições de momento, assim a distribuição de momento das partículas atingindo os detectores é essencialmente a das partículas do fluido, ao final da expansão hidrodinâmica. Com isso, podemos descrever a evolução hidrodinâmica de uma colisão de íons pesados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As soluções das equações da hidrodinâmica são funções da entropia, temperatura e densidade de energia. A densidade de energia e pressão diminui mais rapidamente do que a entropia com a expansão do fluido. Considerando uma porção do fluido entre duas linhas de fluxo, a entropia total neste elemento do fluido em expansão é constante do movimento, enquanto que a energia interna não é conservada. A parte que falta da energia interna é convertida em energia do fluxo longitudinal das células do fluido adjacentes através da pressão exercida durante a expansão de volume.

Utilizando os observáveis como distribuição de partículas no estado final e conectando estes com as soluções da hidrodinâmica, estimamos a densidade de energia inicial do sistema termalizado, que é da ordem de alguns GeV/fm^3 .

CONCLUSÕES

Observando o estado final medido nos detectores, podemos estimar a densidade de energia inicial do sistema termalizado. A hidrodinâmica não prediz as condições iniciais, ou seja, o tempo inicial (onde a termalização local é alcançada), e a distribuição espacial da temperatura e do potencial bariquímico. Esses parâmetros são usualmente ajustados para descrever os observáveis finais. A abordagem mais fundamental seria calcular as condições iniciais a partir de teorias microscópicas sem assumir o equilíbrio térmico. Se **QPG** for um fluido não-ideal, deve-se considerar efeitos dissipativos de viscosidade, condutividade térmica, e usar a equação de Navier-Stokes relativística. Para uma descrição mais realista, devemos também considerar as transições de fase QCD e o efeito da expansão transversal do plasma.

REFERÊNCIAS

- [1] E.M. Lifshitz, L.D.Landau, “Fluid Mechanics”, 2 ed., Butterworth-Heinemann, 1987.
- [2] J. Letessier, J. Rafelski, “Hadrons and Quark-Gluon Plasma”, Cambridge, 2002.
- [3] Ollitrault, Y. Jean, European Journal of Physics **29** (2008) 275.
- [4] Herbert B. Callen, “Thermodynamics and an Introduction to Thermostatistics”, 2º ed., John Wiley e Sons.