Quark-Gluon Plasma

Conforme aquecemos a matéria, as particulas constituentes atingem energias tão altas que estados ligados começam a se quebrar. Eventualmente, encontramos átomos completamente ionizados, sem nenhum elétron orbitando o núcleo. Quando se aquece mais, os próprios núcleos começam a quebrar. Aquecendo-se ainda mais a matéria, os próprios constituintes dos núcleos, os chamados nucleons (prótons e nêutrons) também se quebram, e seus constituintes então começam a caminhar livremente. Estes constituintes são os chamados quarks e gluons. Daí o nome Plasma de quarks e gluons. Devido a uma propriedade da cromodinâmica quântica (teoria que descreve a interação forte), chamada liberdade assimtótica, não observamos quarks e gluons livres na natureza. Pois quaisquer partículas com saldo de cor (carga da interação forte) não nulo, em condições normais, logo combina-se a outra partícula de carga oposta e se neutraliza.
A temperatura necessária para formar este estado da matéria é da ordem de centenas de MeV ou 10^{12} K, cerca de 100 mil vezes a temperatura do centro do Sol, e a densidade é da ordem de 100 GeV fm^{-3}. Para atingir tais condições em laboratório, utiliza-se colisões de íons pesados, com número de massa de cerca de 200, normalmente chumbo. Esses núcleos chocam-se e se atravessam, deixando uma grande quantidade de energia na região central da colisão, essa energia então se expande (aproxmadamente adiabaticamente) e então ocorre a hadronização. Esses hádrons, por decaírem principalmente através da interação fraca, podem ser então observados nos detectores.

Rapidez

Rapidez é uma variável comumente usada em física de partículas experimental que descreve a velocidade das partículas no eixo da colisão. Ela tem a vantagem de ser aditiva sob transformações de Lorentz. Ela é definida através de:

$$E = m_T \sinh y \qquad p_L = m_T \cosh y$$

Onde m_T é a massa transversal, definida por:

$$m_T = \sqrt{m^2 + p_T{}^2}$$

A rapidez pode ser isolada através das duas primeiras equações e obtêm-se:

$$y = \ln\left(\frac{E + p_L}{m_T}\right)$$

Utilizando-se a relação de Einstein, essa equação também pode ser escrita como:

$$y = \frac{1}{2}\ln\frac{(E+p_L)^2}{m_T{}^2} = \frac{1}{2}\ln\frac{(E+p_L)^2}{(E^2 - p_L{}^2)} = \frac{1}{2}\ln\frac{E+p_L}{E-p_L}$$

Pseudo-Rapidez

Quando a massa da partícula é desprezível em relação à energia da mesma (caso comum em física de altas energias), podemos escrever:

$$y = \frac{1}{2}\ln\frac{p+p_L}{p-p_L} = \frac{1}{2}\ln\frac{1+\cos\theta}{1-\cos\theta} = \frac{1}{2}\ln\frac{2\cos^2(2\theta)}{2\sin^2(2\theta)} = \ln cotg\, 2\theta = \eta$$

A vantagem da pseudo-rapidez é que ela é um parâmetro puramente geométrico, facilmente mensurável no laboratório.

Geometria da colisão

Em geral, os núcleos de chumbo que colidem não vão colidir necessariamente centralmente, mas terão um parâmetro de impacto b, de maneira que nem todos os nucleons irão participar da colisão. Além disso, mesmo com parâmetro de impacto idêntico, não teremos necessariamente os mesmos resultados experimentais.

Devido à contração de Lorentz na direção longitudinal, os dois núcleos serão como dois discos chocando-se no referencial do centro de massa. O número de nucleons participantes pode então ser estimado considerando-se o volume atravessado pelo disco projétil no disco alvo.

Hidrodinâmica Relativística

Para descrever a evolução temporal do sistema, é necessário utilizar o formalismo da hidrodinâmica relativística, já que teremos condições da distribuição de energia central tais que:

- A temperatura e densidade não serão uniformes, teremos distribuições não isotrópicas de ambas;
- A energia média das partículas será tal que kT>>m;

Algumas quantidades devem ser definidas aqui:

$$u^{\mu}=\frac{d\,x^{\mu}}{d\,\tau}=\gamma(1,\vec{v}),\frac{d\,t}{d\,\tau}=\gamma=\frac{1}{\sqrt{1-\vec{v}^2}}$$

$$T_{\mu\nu}=p\eta_{\mu\nu}-(\epsilon+p)u_{\mu}u_{\nu}$$

A dinâmica dessas equações é descrita pela conservação do tensor de energia-momento:

$$\partial_{\mu}T_{\mu\nu}=0$$

Uma solução dessas equações pode ser obtida se fornecida uma equação de estado:

$$\epsilon=\epsilon(P)$$