

超相对论重离子碰撞中小相对动量 区域 2π 干涉学

陈小凡 杨学栋 陈志来 韩玲 王庆东

(哈尔滨工业大学应用物理系 哈尔滨 150001)

摘要 用小相对动量区域 π 干涉学方法给出了超相对论重离子碰撞中两种模型下 π 源参数的关系, 并与 200A GeV O + Au 碰撞的实验结果进行了对比.

关键词 超相对论重离子碰撞 2π 干涉学 π 源参数

1 引言

强度干涉学已被广泛用于研究粒子-粒子和核-核碰撞所产生的高温高密度核媒质的时空结构和特性^[1-14]. π 干涉学是强度干涉学的一个分支, 可以用来得到 π 源的空间和寿命参数. 在超相对论重离子碰撞的 2π 干涉学分析中, 有两种模型可以用来得到 π 源的空间和寿命参数, 它们是高斯模型和 inside-outside 级联动力学的赝热模型^[3,4].

本文用小相对动量区域 π 干涉学方法^[10-14] 研究了超相对论重离子碰撞中两种模型下 2π 干涉学分析所给出的 π 源参数的关系, 并与超相对论重离子碰撞 200A GeV O + Au 的实验结果进行了对比.

2 高斯模型下的 2π 关联函数

在 2π 干涉学中, 2π 关联函数的定义为^[3-14]

$$C(\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2) = \frac{\langle |J(\mathbf{p}_1)|^2 |J(\mathbf{p}_2)|^2 \rangle}{\langle |J(\mathbf{p}_1)|^2 \rangle \langle |J(\mathbf{p}_2)|^2 \rangle}, \quad (1)$$

式中 $J(\mathbf{p})$ 为产生 π 介子的流. 当 π 介子发射所处的时空点同其动量没有关联时, 2π 关联函数为^[5-14]

$$C(\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2) = 1 + \lambda |\bar{\rho}(\mathbf{q}, q_0)|^2, \quad (2)$$

式中 λ 为 2π 关联因子, $\mathbf{q} = \mathbf{p}_2 - \mathbf{p}_1$, $q_0 = E_2 - E_1$, E 为 π 介子的能量, $\bar{\rho}(\mathbf{q}, q_0)$ 为 π 源密度分布 $\rho(\mathbf{r}, t)$ 的傅里叶变换

$$\bar{\rho}(\mathbf{q}, q_0) = \int \rho(\mathbf{r}, t) e^{i(\mathbf{q} \cdot \mathbf{r} - q_0 t)} d\mathbf{r} dt, \quad (3)$$

对 π 源的高斯模型, π 源密度分布 $\rho(\mathbf{r}, t)$ 为

$$\rho(\mathbf{r}, t) = \frac{\exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{R_{g1}^2} - \frac{z^2}{R_{g1}^2} - \frac{t^2}{\tau_g^2}\right)}{\pi^2 R_{g1}^2 R_{g1} \tau_g}, \quad (4)$$

式中 τ_g 为高斯模型下 π 源的寿命参数, R_{g1} 和 R_{g1} 分别为同一模型下 π 源的横向和纵向空间参数. 此时 $\bar{\rho}(\mathbf{q}, q_0)$ 为

$$\bar{\rho}(\mathbf{q}, q_0) = \exp\left(-\frac{q_i^2 R_{g1}^2 + q_l^2 R_{g1}^2}{4} - \frac{q_0^2 \tau_g^2}{4}\right), \quad (5)$$

式中 q_i 和 q_l 分别为 π 对的横向和纵向相对动量. 因而高斯模型下的 2π 关联函数 $C_g(\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2)$ 为

$$C_g(\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2) = 1 + \lambda_g \exp\left(-\frac{q_i^2 R_{g1}^2 + q_l^2 R_{g1}^2}{2} - \frac{q_0^2 \tau_g^2}{2}\right), \quad (6)$$

在小相对动量区域, $C_g(\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2)$ 为

$$C_g(\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2) = 1 + \lambda_g - \lambda_g \left[\frac{q_i^2 (R_{g1}^2 + a(T) \tau_g^2) + q_l^2 (R_{g1}^2 + a(T) \tau_g^2)}{2} \right], \quad (7)$$

式中 $a(T)$ 为

$$a(T) = \frac{mT}{m^2 + 3mT}, \quad (8)$$

m 为 π 介子质量, T 为 π 源温度.

3 inside-outside 级联动力学赭热模型下的 2π 关联函数

inside-outside 级联动力学赭热模型是一种描述超相对论重离子碰撞中 π 介子产生的模型^[3]. 在这一模型中, π 介子发射所处的时空点同其纵向快度 y 发生很强的关联, 其 π 源密度分布为

$$D(\mathbf{r}, t; y) = \delta(t - \tau_i \cosh y) \cdot \delta(z - \tau_i \sinh y) \cdot \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{R_i^2}\right) \left(\frac{1}{\pi R_i^2}\right), \quad (9)$$

式中 τ_i 为 inside-outside 级联动力学赭热模型下 π 源的寿命参数, R_i 为同一模型下 π 源的横向空间参数, 此时 2π 关联函数为^[3,4]

$$C_i(\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2) = 1 + \lambda_i \frac{|K_0(\sqrt{u_{12}})|^2 \cdot \exp\left(-\frac{q_i^2 R_i^2}{2}\right)}{K_0\left(\frac{m_{11}}{T}\right) K_0\left(\frac{m_{21}}{T}\right)}, \quad (10)$$

式中

$$u_{12} = 2m_{11}m_{21} \left(\frac{1}{4T^2} + \tau_i^2 \right) \cosh \Delta y + (m_{11}^2 + m_{21}^2) \left(\frac{1}{4T^2} - \tau_i^2 \right) + \left(\frac{i\tau_i}{T} \right) (m_{11}^2 - m_{21}^2), \quad (11)$$

$$m_i = (p_i^2 + m^2)^{1/2}, \quad (12)$$

$$\Delta y = y_2 - y_1, \quad (13)$$

$$K_0(z) = \int dt \cdot \exp(-z \cos ht), \quad (14)$$

在小相对动量区域, 2π 关联函数 $C_i(\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2)$ 为

$$C_i(\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2) = 1 + \lambda_i - \frac{1}{2} \lambda_i [q_i^2(A + R_i^2) + q_i^2 B], \quad (15)$$

式中

$$A = 2 \left(\frac{1}{4T^2} + \tau_i^2 \right) \cdot \left[\frac{(mT)^2 K_1(x_0)}{x_0(2mT + m^2)(3mT + m^2) K_0(x_0)} \right] - \left(\frac{K_1(x_0)}{K_0(x_0)} \right)^2 \cdot \left(\frac{\tau_i}{Tx_0} \right)^2 (2mT), \quad (16)$$

$$B = 2 \left(\frac{1}{4T^2} + \tau_i^2 \right) \frac{2mT + m^2}{E^2 x_0}, \quad (17)$$

$$x_0 = \frac{(2mT + m^2)^{1/2}}{T}, \quad (18)$$

$$E = (3mT + m^2)^{1/2}, \quad (19)$$

$$K_1(z) = \int dt \cdot \cos ht \cdot \exp(-z \cosh t). \quad (20)$$

令(15)式与(7)式相等就得到超相对论重离子碰撞中高斯模型和 inside-outside 级联动力学的赝热模型下 2π 干涉学分析所给出的 π 源参数的关系

$$\lambda_g = \lambda_i, \quad (21)$$

$$R_{g^i} = [R_i^2 + A - a(T)\tau_g^2]^{1/2}, \quad (22)$$

$$R_{g^l} = [B - a(T)\tau_g^2]^{1/2}. \quad (23)$$

对超相对论重离子碰撞 200A GeV O + Au 实验^[4], $T = 130\text{MeV}$, $R_{g^i} = 4.1 \pm 0.4\text{fm}$, $R_{g^l} = 3.1_{-0.3}^{+0.7}\text{fm}$, $R_i = 3.6 \pm 0.3\text{fm}$, $\tau_i = 2.9 \pm 0.7\text{fm}$, 因而实验上有

$$\frac{R_{g^i}}{R_i} = 1.14 \pm 0.15, \quad \frac{R_{g^l}}{R_i} = 0.86 \pm 0.11. \quad (24)$$

理论上由(22)和(23)式有

$$\frac{R_{g^i}}{R_i} = 1.03, \quad \frac{R_{g^l}}{R_i} = 0.88. \quad (25)$$

可见在实验误差范围内理论结果与实验结果符合得很好, 这说明我们所采用的分析方法是正确的.

4 结论

对同一 π 源, 超相对论重离子碰撞中用高斯模型和 inside-outside 级联动力学的赝热两种模型进行 2π 干涉学分析所给出的 π 源参数存在一定的关系, 这些关系如(21)–(23)式所示.

参考文献 (References)

- 1 Satz H. Phys. Rep., 1982, **88**:349
- 2 Bjorken J D. Phys. Rev., 1983, **D27**:140
- 3 Kolehmainen K, Gyulassy M. Phys. Lett., 1986, **B180**:203
- 4 Bamberger A, Bangert D, Bartke J (NA35 Collab.). Phys. Lett., 1988, **B203**:321
- 5 Weiner R M. Phys. Rep., 2000, **327**:249
- 6 Wiedemann U A, Heinz U. Phys. Rep., 1999, **319**:145
- 7 Boal D H, Gelbke C K, Jennings B K. Rev. Mod. Phys., 1990, **62**:553
- 8 Gyulassy M, Kauffman S K, Wilson L W. Phys. Rev., 1979, **C20**:2267
- 9 Zajc W A, Bistirlich J A, Bossingham R R et al. Phys. Rev., 1984, **C29**:2173
- 10 CHEN Xiao-Fan. HEP & NP, 1998, **22**:424 (in Chinese)
(陈小凡. 高能物理与核物理, 1998, **22**:424)
- 11 CHEN Xiao-Fan. HEP & NP, 1998, **22**:903 (in Chinese)
(陈小凡. 高能物理与核物理, 1998, **22**:903)
- 12 CHEN Xiao-Fan, CHEN Zhi-Lai. HEP & NP, 1999, **23**:1097 (in Chinese)
(陈小凡, 陈志来. 高能物理与核物理, 1999, **23**:1097)
- 13 CHEN Xiao-Fan, CHEN Zhi-Lai, YANG Xue-Dong et al. HEP & NP, 2000, **24**:524 (in Chinese)
(陈小凡, 陈志来, 杨学栋等. 高能物理与核物理, 2000, **24**:524)
- 14 CHEN Xiao-Fan, CHEN Zhi-Lai, YANG Xue-Dong et al. HEP & NP, 2001, **25**:149 (in Chinese)
(陈小凡, 陈志来, 杨学栋等. 高能物理与核物理, 2001, **25**:149)

**Two-Pion Interferometry at Small Relative Momentum
in Ultrarelativistic Heavy Ion Collisions**

CHEN Xiao-Fan YANG Xue-Dong CHEN Zhi-Lai HAN Ling WANG Qing-Dong

(Department of Physics, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract The relations between the pion source parameters in two models in ultrarelativistic heavy ion collisions are given using pion interferometry at small relative momentum. And comparisons are made with the experimental results of 200A GeV O + Au collisions.

Key words ultrarelativistic heavy ion collisions, two-pion interferometry, pion source parameter