

相对论重离子碰撞中 π 对相对动量分布

陈小凡 陈志来 杨学栋 李助鹏

(哈尔滨工业大学应用物理系 哈尔滨 150001)

摘要 在 π 源动量分布的高斯分布下,给出了相对论重离子碰撞中非关联 π 对和关联 π 对的相对动量分布. 用关联 π 对的相对动量分布得到球形高斯分布 π 源参数与椭球形高斯分布 π 源参数的解析关系,与相对论重离子中心碰撞 1.8A GeV Ar + Pb 的实验结果进行了对比. 当 π 源温度更高时,应当用 $p_1(\mathbf{p}) = N \cdot \exp(-\sqrt{m^2 + p^2}/T)$ 进行计算.

关键词 2π 玻色——爱因斯坦关联 相对动量分布 相对论重离子碰撞

1 引言

目前,强度干涉学已成为探测相对论粒子碰撞和重粒子碰撞所生成的高温高密度核物质时空结构及其特性的有效方法^[1-14].

本文在 π 源动量分布的高斯分布下对相对论重离子碰撞 π 对的相对动量分布进行了研究,并用关联 π 对的相对动量分布对球形高斯 π 源参数和椭球形高斯分布 π 源参数之间的解析关系,与相对论重离子中心碰撞的实验结果进行了对比. 在相对论重离子碰撞中,由于 π 源不是 π 干涉学的敏感参量,本文只讨论源空间分布^[11,12]. 当 π 源温度更高时,应用 $p_1(\mathbf{p}) = N \cdot \exp(-\sqrt{m^2 + p^2}/T)$ 计算.

2 非关联 π 对的相对动量分布

在相对论重离子碰撞中,所谓非关联 π 对是指 π 对中每个 π 介子来自不同的事件. 本文研究非关联 π 对中的 π 介子来自不同单 π 事件. 此时 π 对动量分别为 \mathbf{p}_1 和 \mathbf{p}_2 的几率为

$$p_{2\pi}(\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2) = p_1(\mathbf{p}_1)p_1(\mathbf{p}_2), \quad (1)$$

式中假设 $p_1(\mathbf{p})$ 为

$$p_1(\mathbf{p}) = [\exp(-p^2/2mT)] / (2\pi mT)^{3/2}, \quad (2)$$

为了得到相对动量 $\mathbf{q} = \mathbf{p}_1 - \mathbf{p}_2$ 的分布,将 $\mathbf{p}_2 = \mathbf{p}_1 + \mathbf{q}$ 及(2)式代入(1)式中,并对 \mathbf{p}_1 积分得非关联 π 对的相对动量分布 $p_{2u}(\mathbf{q})$ 为

$$p_{2u}(\mathbf{q}) = [\exp(-q^2/4\pi mT)]/(4\pi mT)^{3/2} \quad (3)$$

3 关联 π 对的相对动量分布

关联 π 对指的是来自同一事件的 π 对. 本文研究关联 π 对中的每一个 π 介子来自同一 2π 事件时关联 π 对的相对动量分布.

由 2π 关联函数的定义^[6-10,14]

$$C_2(\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2) = p_{2c}(\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2)/\{[p_1(\mathbf{p}_1)][p_1(\mathbf{p}_2)]\}, \quad (4)$$

得
$$p_{2c}(\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2) = C_2(\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2)p_1(\mathbf{p}_1)p_2(\mathbf{p}_2), \quad (5)$$

而
$$C_2(\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2) = 1 + \lambda |\bar{\rho}(\mathbf{q})|^2 \quad (6)$$

式中
$$\bar{\rho}(\mathbf{q}) = \int \rho(\mathbf{r})e^{i\mathbf{q}\cdot\mathbf{r}} d\mathbf{r}, \quad (7)$$

对椭球形 π 源高斯分布, $\rho(\mathbf{r})$ 为

$$\rho_c(\mathbf{r}) = \left[\exp\left(-\frac{x^2}{R_1^2} - \frac{y^2}{R_2^2} - \frac{z^2}{R_3^2}\right) \right] / (\pi^{3/2} R_1 R_2 R_3), \quad (8)$$

式中 R_1, R_2 和 R_3 为椭球形 π 源空间参数, λ 为 2π 关联因子. 此时 $C_2(\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2)$ 为

$$C_2(\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2) = 1 + \lambda_c \exp\{[-(q_x^2 R_1^2 - q_y^2 R_2^2 - q_z^2 R_3^2)]/2\},$$

将 $\mathbf{p}_2 = \mathbf{q} + \mathbf{p}_1$ 及(9)式代入(5)式并对 \mathbf{p}_1 积分得关联 π 对的相对动量分布 $p_{2c}(\mathbf{q})$ 为

$$p_{2c}(\mathbf{q}) = \{1 + \lambda_c \exp[-(q_x^2 R_1^2/2 - q_y^2 R_2^2/2 - q_z^2 R_3^2/2)]\} \cdot [\exp(-q^2/4mT)/(4\pi mT)^{3/2}],$$

由分布(10)式可求 $\langle q_x^2 \rangle, \langle q_y^2 \rangle, \langle q_z^2 \rangle$ 为:

$$\langle q_x^2 \rangle_c = 2mTA \left[1 + \frac{\lambda_c}{(a_1 a_2 a_3)^{1/2} a_1} \right], \quad (11)$$

$$\langle q_y^2 \rangle_c = 2mTA \left[1 + \frac{\lambda_c}{(a_1 a_2 a_3)^{1/2} a_2} \right], \quad (12)$$

$$\langle q_z^2 \rangle_c = 2mTA \left[1 + \frac{\lambda_c}{(a_1 a_2 a_3)^{1/2} a_3} \right], \quad (13)$$

$$\langle q^2 \rangle_c = 2mTA \left[3 + \frac{\lambda_c}{(a_1 a_2 a_3)^{1/2}} \left(\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} + \frac{1}{a_3} \right) \right], \quad (14)$$

式中

$$A = \left[1 + \frac{\lambda_c}{(a_1 a_2 a_3)^{1/2}} \right]^{-1}$$

其中
$$a_1 = 1 + 2mTR_1^2, \quad (16)$$

$$a_2 = 1 + 2mTR_2^2, \quad (17)$$

$$a_3 = 1 + 2mTR_3^2, \quad (18)$$

(10)式表明关联 π 对的相对动量分布 $p_{2c}(\mathbf{q})$ 不是各向同性的。

对球形 π 源密度高斯分布 $\rho_s(\mathbf{r})$

$$\rho_s(\mathbf{r}) = [\exp(-r^2/R_s^2)] / (\pi^{3/2} R_s^3), \quad (19)$$

在(10)式中取 $R_1 = R_2 = R_3 = R_s$ 就得到球形 π 源高斯分布下关联 π 对的相对动量分布为

$$p_{2s}(\mathbf{q}) = \{1 + \lambda_s \exp(-q^2 R_s^2/2)\} \cdot [\exp(-q^2/4mT)] / (4\pi mT)^{3/2}. \quad (20)$$

用(20)式可求得球形 π 源密度高斯分布下相对动量的 $\langle q_s^2 \rangle$ 为

$$\langle q_s^2 \rangle = 6mTB \left(1 + \frac{\lambda_s}{a_s^{3/2}}\right), \quad (21)$$

式中

$$B = \left[1 + \frac{\lambda_s}{a_s^{3/2}}\right]^{-1}, \quad (22)$$

$$a_s = 1 + 2mTR_s^2, \quad (23)$$

用小相对动量区域 2π 干涉学分析方法可得

$$\lambda_s = \lambda_s, \quad (24)$$

由于(24)式,在以下的表达式中记 $\lambda = \lambda_s = \lambda_s$.

4 椭球形 π 源空间参数与球形 π 源空间参数的关系

对一个给定的相对论重离子碰撞, $\langle q^2 \rangle$ 是确定的. 令(21)式与(14)式相等得

$$L_1(R_1, R_2, R_3) = L_2(R_s), \quad (25)$$

式中

$$L_1(R_1, R_2, R_3) = A \left[3 + \frac{\lambda}{(a_1 a_2 a_3)^{1/2}} \left(\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} + \frac{1}{a_3}\right)\right], \quad (26)$$

$$L_2(R_s) = 3B \left(1 + \frac{\lambda}{a_s^{3/2}}\right), \quad (27)$$

(25)式即为椭球形空间参数与球形 π 源空间参数的关系. 对相对论重离子中心碰撞 1.8 A GeV Ar + Pb^[12,13], $\lambda = 0.99 \pm \begin{matrix} 0.01 \\ 0.24 \end{matrix}$, $R_1 = R_2 = 516 \pm 0.50\text{fm}$, $R_3 = 5.67 \pm 0.54\text{fm}$, $R_s = 5.53 \pm 0.38\text{fm}$, 理论上 $L_1(R_1, R_2, R_3)/L_2(R_s) = 1$, 实验上 $L_1(R_1, R_2, R_3)/L_2(R_s) = 1.00 \pm 0.08$, 可见理论结果与实验结果符合得很好.

5 结论

公式(3)和(10)表明,在 π 源动量的高斯分布下,可以用 π 对相对动量分布来得到 π 源温度 T . 对一个给定的实验, π 对相对动量分布的统计样本数远远大于单粒子动量分布的统计样本数,预计用 π 对相对动量分布会得到更精确的 π 源温度. 当 π 源的温度更高时,应用 $p_1(\mathbf{p}) = A \exp[-(m^2 + p^2)^{1/2}/T]$ 进行分析.

参考文献 (References)

- 1 Weiner R M. Phys. Rep., 2000, **327**:249
- 2 Wiedemann U A, Heinz U. Phys. Rep., 1999, **319**:145
- 3 Boal D H, Gelbke C K, Jennings B K. Rev. Mod. Phys., 1990, **62**:553
- 4 Gyulassy M, Kauffman S K, Bossingham R R et al. Phys. Rev., 1979, **20**:2267
- 5 Zajc W A, Bistirlich J A, Bossingham R R et al. Phys. Rev., 1984, C29:2173
- 6 CHEN Xiao-Fan. High Energy Phys. and Nucl. Phys., 1998, **22**: 424 (in Chinese)
(陈小凡. 高能物理与核物理, 1998, **22**:424)
- 7 CHEN Xiao-Fan. High Energy Phys. and Nucl. Phys., 1998, **22**:903 (in Chinese)
(陈小凡. 高能物理与核物理, 1998, **22**:903)
- 8 CHEN Xiao-Fan, CHEN Zhi-Lai. High Energy Phys. and Nucl. Phys., 1999, **23**:1097 (in Chinese)
(陈小凡, 陈志来. 高能物理与核物理, 1999, **23**:1097)
- 9 CHEN Xiao-Fan, CHEN Zhi-Lai, YANG Xue-Dong et al. High Energy Phys. and Nucl. Phys., 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)
- 10 Lednicky R, Lyuboshitz V, Mikhailov K et al. Phys. Rev., 2000, **C60**:034901
- 11 Beavis D, CHU S Y, FUNG S Y et al. Phys. Rev., 1983, **C28**:2561
- 12 Beavis D, CHU S Y, FUNG S Y et al. Phys. Rev., 1986, **C34**:757
- 13 LIU Y M, Beavis D, CHU S Y et al. Phys. Rev., 1986, **C34**:1667
- 14 CHEN Xiao-Fan, CHEN Zhi-Lai, YANG Xue-Dong et al. High Energy Phys. and Nucl. Phys., 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)

**Distributions of Relative Momentum of Pion Pairs in
Relativistic Heavy Ion Collisions**

CHEN Xiao-Fan CHEN Zhi-Lai YANG Xue-Dong LI Zhu-Peng

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

Abstract The distributions of the relative momentum of correlated and uncorrelated pion pairs are given. The relations between the parameters of elliptical and spherical pion sources are obtained by using the distribution of the relative momentum of correlated pion pairs, and comparison is made with the experimental result of central relativistic heavy ion collisions 1.8A GeV Ar + Pb. For higher temperature, the distribution of single-pion momentum $p_1(\mathbf{p}) = N \cdot \exp(-\sqrt{m^2 + p^2}/T)$ should be used to obtain the results.

Key words two-pion Bose-Einstein correlation distribution of relative momentum, relativistic heavy ion collisions