

相对论非对称重离子碰撞中 小相对动量区域 2π 干涉学

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 用小相对动量区域 2π 干涉学分析方法研究了相对论非对称重离子碰撞中 π 介子的吸收存在时对 2π 干涉学分析所得 π 源参数的影响,得到了不考虑和考虑 π 的吸收情况下所得到的源的参数的解析关系. 与相对论非对称重离子碰撞 1.8A GeV Ar+Pb 的实验结果进行了对比.

关键词 相对论非对称重离子碰撞 2π 干涉学 π 介子吸收

1 引言

π 干涉学是强度干涉学在基本粒子碰撞和高能重离子碰撞物理中的应用^[1-9]. 通过全同 π 介子之间的玻色-爱因斯坦关联, π 干涉学可以用来获得碰撞区域所生成的 π 源的时空结构和相干程度、 π 源的膨胀、碰撞区域的核媒质相变以及有关的动力学信息^[1-9]. 在以往的 π 干涉学分析中,大多数研究假定 π 源的密度分布是对称的^[1-5,7-9],但实验上发现,在相对论非对称重离子碰撞中,由于 π 的吸收会造成 π 源的方位角分布不是各向同性的,考虑 π 的吸收所得到源空间参数大于不考虑 π 的吸收所得到的源空间参数^[6]. 从理论上确证这一关系便成了一个重要的课题.

用小相对动量区域 π 干涉学方法^[4,5,9],研究了 π 的吸收对由 2π 干涉学分析所得到的源的参数的影响,得到了不考虑和考虑 π 的吸收所得到的源的参数间的解析关系,与相对论非对称重离子碰撞 1.8A GeV Ar+Pb 的实验结果进行了对比. 由于 π 源寿命不是 π 干涉学的敏感参量,本文只讨论源的空间分布^[8].

2 对称 π 源的 2π 关联函数

设 π 源密度为 $\rho(r)$, 则 2π 关联函数为^[1-9]:

$$C(p_1, p_2) = \frac{P(p_1, p_2)}{p(p_1)p(p_2)} = 1 + \lambda |\bar{\rho}(q)|^2 \quad (1)$$

式中, $P(\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2)$ 代表 π 对具有动量 $\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2$ 时的几率, $P(\mathbf{p})$ 为单粒子分布几率, $\mathbf{q} = \mathbf{p}_1 - \mathbf{p}_2$; λ 为相干因子, 对混沌 π 源 λ 的值为 1, 对完全相干源 λ 的值为 0. $\bar{\rho}(\mathbf{q})$ 为 $\rho(\mathbf{r})$ 的傅里叶变换:

$$\bar{\rho}(\mathbf{q}) = \int \rho(\mathbf{r}) e^{i\mathbf{q}\cdot\mathbf{r}} d\mathbf{r}, \quad (2)$$

在不考虑 π 的吸收时, 可以假定 π 源密度具有球对称高斯分布 $\rho_s(\mathbf{r})^{[1-9]}$:

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

在此种分布下, R_s 为不考虑 π 的吸收时源的空间参数. 此时, 源的平均半径 $\langle r_s \rangle$ 和均方根半径 $\sqrt{\langle r_s^2 \rangle}$ 分别为:

$$\langle r_s \rangle = 2R_s/\sqrt{\pi}, \quad (4)$$

$$\sqrt{\langle r_s^2 \rangle} = \sqrt{6}R_s/2, \quad (5)$$

而 $\bar{\rho}_s(\mathbf{q})$ 为:

$$\bar{\rho}_s(\mathbf{q}) = \exp(-q^2 R_s^2/4), \quad (6)$$

把(6)式代入(1)式得不考虑 π 的吸收时的 2π 关联函数 $C_s(\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2)$ 为:

$$C_s(\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2) = 1 + \lambda_s \exp(-q^2 R_s^2/2), \quad (7)$$

λ_s 为不考虑 π 的吸收时的源相干因子. 在小相对动量区域, 准确至 q^2 项, $C_s(\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2)$ 为:

$$C_s(\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2) = 1 + \lambda_s - \frac{1}{2} \lambda_s q^2 R_s^2, \quad (8)$$

3 π 的吸收与小相对动量区域 2π 干涉学分析

所谓非对称重离子碰撞是指入射核所含的核子数与靶核所含的核子数不相等. 人们在相对论非对称重离子碰撞实验中发现^[6], 由于 π 的吸收, π 源密度分布是不对称的, 关于极角的分布为:

$$\frac{dN}{d\phi} = A[1 + \xi \cos(\phi - \phi_r)],$$

式中 A 为常数因子, ξ 为非对称系数, ϕ_r 为反应平面的极角. 因而在考虑了 π 的吸收后 π 源密度 $\rho_a(\mathbf{r})$ 为:

$$\rho_a(\mathbf{r}) = [1 + \xi \cos(\phi - \phi_r)] \exp(-r^2/R_a^2)/(\pi^{3/2} R_a^3), \quad (10)$$

R_a 为考虑 π 的吸收后源的空间参数. 对(10)式的分布, 其平均半径 $\langle r_a \rangle$ 和均方根半径 $\sqrt{\langle r_a^2 \rangle}$ 分别为

$$\langle r_a \rangle = 2R_a/\sqrt{\pi}, \quad (11)$$

$$\sqrt{\langle r_a^2 \rangle} = \sqrt{6}R_a/2, \quad (12)$$

为了得到在小相对动量区域对应分布 $\rho_a(\mathbf{r})$ 的关联函数 $C_a(\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2)$, 将(2)式中的 $e^{i\mathbf{q}\cdot\mathbf{r}}$ 作幂级数展开, 准确至 q^2 项有

$$e^{iq \cdot r} = 1 + iq \cdot r - \frac{(q \cdot r)^2}{2}, \quad (13)$$

将此式代入(2)式得

$$\tilde{\rho}_s(q) = 1 - \frac{1}{4} q^2 R_s^2 + i\xi \sqrt{\pi} q R_s \sin \theta_1 \cos(\varphi_1 - \varphi_r)/4, \quad (14)$$

式中 θ_1 和 φ_1 分别为 q 的极角和方位角. 将(14)式代入(1)式得在小相对动量区域, 考虑 3π 的吸收后的 2π 关联函数 $C_s(p_1, p_2)$ 为

$$C_s(p_1, p_2) = 1 + \lambda_s - \frac{1}{2} \lambda_s q^2 R_s^2 + \frac{\pi \lambda_s \xi^2}{16} q^2 R_s^2 \sin^2 \theta_1 \cos^2(\varphi_1 - \varphi_r), \quad (15)$$

由此看出 $C_s(p_1, p_2)$ 不仅与 q^2 有关, 而且与 θ_1, φ_1 和 φ_r 有关. 对 θ_1 和 φ_1 求平均得

$$C_s(p_1, p_2) = 1 + \lambda_s - \frac{1}{2} \lambda_s q^2 R_s^2 \left(1 - \frac{\pi}{24} \xi^2\right), \quad (16)$$

令(16)式与(8)式相等, 就得到不考虑和考虑 π 的吸收后所得到的 π 源参数的关系

$$\lambda_s = \lambda_a, \quad (17)$$

$$R_s = R_a \sqrt{1 - \frac{\pi}{24} \xi^2}, \quad (18)$$

对相对论非对称重离子中心碰撞 1.8 A GeV Ar + Pb, 有^[6,7] $\xi = 0.25 \pm 0.02$, $R_s = 5.53 \pm 0.38 \text{ fm}$, $R_a = 5.87 \pm 0.43 \text{ fm}$, 因而实验上

$$R_s/R_a = 0.94 \pm 0.09, \quad (19)$$

理论上由(18)式得

$$R_s/R = 0.996 \quad (20)$$

可见空间参数的理论关系与实验符合得很好.

4 结论

在相对论非对称重离子碰撞中, λ_s 与 λ_a 相等, R_s 大于 R_a , R_s 与 R_a 的差别随着 ξ 的增大而增大. π 的吸收对 2π 干涉学分析所得的空间参数有一定影响, 影响程度随着 ξ 的增大而增大.

参考文献(References)

- 1 Boal D H, Gelbke C K, Jennings B K. Rev. Mod. Phys., 1990, **62**(3):553
- 2 Gyulassy M, Kauffmann S K, Wilson L W. Phys. Rev., 1979, **C20**(6):2267
- 3 Zajc W A, Bistirlich J A, Bossingham R R et al. Phys. Rev., 1984, **C29**(6):2173
- 4 CHEN XiaoFan. High Energy Phys. and Nucl. Phys. (in Chinese), 1998, **22**(5):424
(陈小凡. 高能物理与核物理, 1998, **22**(5):424)
- 5 CHEN XiaoFan. High Energy Phys. and Nucl. Phys. (in Chinese), 1998, **22**(10):903
(陈小凡. 高能物理与核物理, 1998, **22**(10):903)
- 6 HUO Lei, ZHANG WeiNing, WANG Shan et al. High Energy Phys. and Nucl. Phys. (in Chinese), 1994, **18**(7):630
(霍雷, 张卫宁, 王山等. 高能物理与核物理, 1994, **18**(7):630)
- 7 Beavis D, Chu S Y, Fung S Y et al. Phys. Rev., 1986, **C34**:757

- 8 Beavis D, Chu S Y, Fung S Y et al. Phys. Rev. , 1983, **C28**(6):2561
- 9 CHEN XiaoFan, CHEN ZhiLai. High Energy Phys. and Nucl. Phys. (in Chinese), 1999, **23**(11):1097
(陈小凡, 陈志来. 高能物理与核物理, 1999, **23**(11):1097)

Two-Pion Interferometry at Small Relative Momentum in Relativistic Asymmetrical Heavy Ion Collisions

CHEN XiaoFan CHEN ZhiLai YANG XueDong LI ZhuPeng
(*Department of Physics, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China*)

Abstract The effect of the absorption of pion mesons in relativistic asymmetrical heavy-ion collisions on pion-source parameter is studied with two-pion interferometry at small relative momentum. The relations between the source parameters are obtained when the pion absorption is considered or not. Comparison with the experimental measurements of relativistic asymmetrical central heavy-ion collisions $1.8 A \text{ GeV Ar} + \text{Pb}$ is made.

Key words relativistic asymmetrical heavy-ion collisions, two-pion interferometry, absorption of pion mesons