第 53 卷 第 4 期 2004 年 4 月
1000-3290/2004/53(04)/1020-03

物 理 学 报
ACTA PHYSICA SINICA

Vol.53, No.4, April, 2004
©2004 Chin. Phys. Soc.

带电多重数赝快度密度对碰撞对心度依赖关系研究*

姜志进

(上海理工大学理学院,上海 200093)

(2003 年 3 月 7 日收到;2003 年 6 月 23 日收到修改稿)

以核-核碰撞的独立源理论为基础,讨论了 $\sqrt{S_{NN}}=130$ GeV 的 Au + Au 碰撞中,中心快度区带电多重数赝快度密度 $\mathrm{d}n_{\mathrm{ch}}/\mathrm{d}\eta$ 对碰撞对心度的依赖关系.理论结果较好地反映了实验事实.

关键词:重离子碰撞,带电多重数,赝快度密度,碰撞对心度

PACC:2570

1. 引 言

在 RHIC 上实现的高能核-核碰撞实验,使在实验中获得高温高密度物质成为可能,为人们研究与夸克解禁闭及手征对称性恢复相关的相变问题提供了一个新机遇.

最近,核-核碰撞中的带电多重数赝快度密度 $\mathrm{d}n_{\mathrm{ch}}/\mathrm{d}\eta$ 对碰撞对心度的依赖关系引起了人们的很大兴趣[1—8].对该物理量的研究,有助于人们了解末态粒子的产生机制及碰撞的初始条件,如能量密度等问题.在 $\sqrt{S_{NN}}=130$ GeV 的 Au + Au 碰撞中,PHENIX 合作组给出了中心快度区的 $\mathrm{d}n_{\mathrm{ch}}/\mathrm{d}\eta$ 分布情况的测量结果.从他们的结果可以看出,每对碰撞核子的 $\mathrm{d}n_{\mathrm{ch}}/\mathrm{d}\eta$ 较相同能量下的 $\mathrm{p}\bar{\mathrm{p}}$ 过程平均大约高出 50%,且随着碰撞对心度的增加,其值变大,特别是在小的碰撞核子数区,其值增加得很快.

本文将以核-核碰撞的独立源理论为基础,讨论 $\mathrm{d}n_{\mathrm{ch}}/\mathrm{d}\eta$ 对碰撞对心度的依赖关系,解释 PHENIX 合作组所给出的实验事实.

2. 核-核碰撞中的带电多重数分布

核-核碰撞中的带电多重数分布已有很多理论描述,按独立源理论假设[9,10]:末态粒子是由那些在核-核相互穿透的过程中参与碰撞的核子(通常称为"参与者"[11,12])衰变产生的,且在这些参与者之间无相干作用,它们在衰变产生末态粒子的过程中彼此独立,且衰变强度及多重数分布相同.

基于上述假设,可得到一个参与者产生的多重数分布为[10]

$$f(z)=\frac{k^{k/2}}{\Gamma(k/2)}\frac{z^{k/2-1}}{\langle n\rangle_{\mathrm{h\text{-}h}}}\exp(-kz),\tag{1a}$$

其中 k 为一实验常数,变量

$$z=\frac{n}{\langle n\rangle_{\mathrm{h\text{-}h}}},\tag{1b}$$

式中 n 为多重数,$\langle n\rangle_{\mathrm{h\text{-}h}}$ 为强子-强子碰撞的平均多重数.

(1a)式是一 Γ 函数,该函数的一个显著特点是它的任意重卷积仍是一 Γ 函数.所以,若假设在核-核碰撞中共有 N_{part} 个核子参与碰撞,则其多重数分布应为 $f(z)$ 的 N_{part} 重卷积,其结果应为

$$P_{A\text{-}A}^{(n_{\mathrm{ch}},N_{\mathrm{part}})}=\frac{k^{kN_{\mathrm{part}}/2}}{\Gamma(kN_{\mathrm{part}}/2)}\frac{n_{\mathrm{ch}}^{(kN_{\mathrm{part}}/2)-1}}{\langle n_{\mathrm{ch}}^{\mathrm{h\text{-}h}}\rangle^{kN_{\mathrm{part}}/2}}\times\exp(-kn_{\mathrm{ch}}/\langle n_{\mathrm{ch}}^{\mathrm{h\text{-}h}}\rangle).\tag{2}$$

(2)式仅给出了一定 N_{part} 下的多重数分布,而 N_{part} 在每次碰撞事件中是不确定的,它可以在一定的范围内以一定的概率随机取值,实验上得到的多重数分布是对不同 N_{part} 碰撞事例的平均结果,所以若假设 N_{part} 的概率分布函数为 $W_{N_{\mathrm{part}}}$,则考虑到 N_{part} 的取值应满足条件 $N_{\mathrm{part}}\geqslant 2$,实际的多重数分布应为

* 上海市高等学校科学技术发展基金(批准号:5840)资助的课题.

$$P_{A\text{-}A}^{(n_{ch})} = \sum_{N_{part}\geqslant 2} W_{N_{part}} P_{A\text{-}A}^{(n_{ch},N_{part})} . \tag{3}$$

而平均带电多重数为

$$< n_{ch} > = \sum_{n_{ch}\geqslant 1} n_{ch} P_{A\text{-}A}^{(n_{ch})} . \tag{4}$$

由文献[10]的讨论知,$W_{N_{part}}$ 可取如下形式:

$$W_{N_{part}} = \begin{cases} \sum_{\alpha=1}^{N_{part}-1} W_{\alpha}^{(A_P)} W_{N_{part}-\alpha}^{(A_T)} & (\text{当 } N_{part} \leqslant A_P), \\ \sum_{\alpha=1}^{A_P} W_{\alpha}^{(A_P)} W_{N_{part}-\alpha}^{(A_T)} & (\text{当 } N_{part} > A_P), \end{cases} \tag{5}$$

其中 A_P 与 A_T 分别代表弹与靶核的质量数,α 和 $N_{part}-\alpha$ 分别为弹和靶核内的参与者数.

(5)式中的 $W_{\alpha}^{(A_P)}$ 和 $W_{N_{part}-\alpha}^{(A_T)}$ 分别为 α 和 $N_{part}-\alpha$ 的概率分布函数,二者可统一地表示为[13]

$$W_v^{(A)} = \frac{\sigma_v^{(A)}}{\sum_{\lambda}\sigma_{\lambda}^{(A)}}, \tag{6a}$$

其中

$$\sigma_v^{(A)} = \int d^2 b \frac{T^v(b)}{v!} \exp[-T(b)], \tag{6b}$$

$$T(b) = \sigma_{h\text{-}h}^{in} \int dz\, \rho(z,b), \tag{6c}$$

式中 $\sigma_{h\text{-}h}^{in}$ 为非弹性强子-强子碰撞截面,b 为碰撞参数,z 为入射核子在弹或靶核中所穿过的距离,$\rho(z,b)$为弹或靶核的核子数密度,作为近似,将其取作常数[14] $\rho_0 = 0.17/\text{fm}^3$.完成(6b)的积分得

$$\sigma_v^{(A)} = \frac{2\pi(v+1)R^2}{c^2}\left(1 - \exp(-c)\sum_{l=1}^{v+1}\frac{c^l}{l!}\right), \tag{7}$$

其中 $c = 2\sigma_{h\text{-}h}^{in}\rho_0 R$,$R$ 为弹或靶核的半径.

3. 赝快度密度对碰撞对心度的依赖关系

下面我们利用(3),(4)式来讨论核-核碰撞中的 $dn_{ch}/d\eta$ 对碰撞对心度的依赖关系.

(3)式中的 n_{ch} 是任意快度窗口中的多重数,对于 $\eta = 0$ 处的单位赝快度窗口中的 n_{ch},即 $\left.\frac{dn_{ch}}{d\eta}\right|_{\eta=0}$,由(3)式得到的数值计算结果如图 1(a)中的实线所示.图 1(a)还给出了相应的实验结果.由图可以看出,理论与实验符合得很好.

由(4)式得到的 $\left.\frac{dn_{ch}}{d\eta}\right|_{\eta=0}$ 对碰撞对心度的依赖关系如图 1(b)中的实线所示.图 1(b)同时给出了实验结果及由 EKRT[15,16] 和 HIJING[17] 两模型得到的理论结果.由图 1(b)可以看出,我们这里所得到的结果不但较好地反映了实验数据的变化趋势,而且量值上在统计误差范围内(图中阴影区域)亦与实验数据相符合.

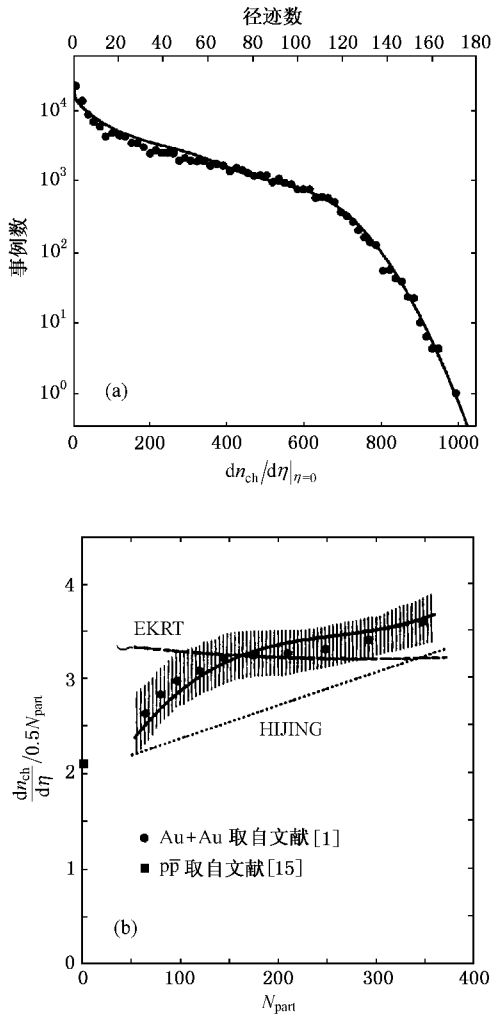

图 1　入射能量为 $\sqrt{S_{NN}} = 130$ GeV 的 Au + Au 碰撞中,中心快度区带电多重数分布(a)及 $\left.\frac{dn_{ch}}{d\eta}\right|_{\eta=0}$ 对碰撞对心度的依赖关系(b)

在计算中,实验常数取值如下[1,18]:

$$\sigma_{h\text{-}h}^{in} = 32.5 \text{ mb},$$

$$< \left.\frac{dn_{ch}}{d\eta}\right|_{\eta=0} > \Big|_{h\text{-}h} = 3.15,$$

$$k = 0.2.$$

4. 结　　论

独立源理论假定核-核碰撞中的参与者,即两核

中参与碰撞的核子构成末态粒子的生成源，且各源都以(1a)式的形式彼此独立地衰变成末态粒子．该模型的最大优点是数学处理上的简单与物理图像上的直观(相对于其他理论模型)．由上述讨论可以看出，该模型对实验数据的描述是令人满意的．在本文中，为了简单的缘故，我们将核子数密度取作常数，即 $\rho_0 = 0.17/\mathrm{fm}^3$，如果将它取成更真实的分布形式，如 Woods-Saxon 分布形式[19,20]，我们预期所得到的结果将会进一步改善．

[1] Adcox K, Adler S S, Ajitanand N N *et al* 2001 *Phys. Rev. Lett.* **86** 3500

[2] Milov A, Adcox K, Adler S S *et al* 2002 *Nucl. Phys.* A **698** 171c

[3] Back B B, Baker M D, Barton D S *et al* 2000 *Phys. Rev. Lett.* **85** 3100

[4] Katzy J M, Back B B, Baker M D *et al* 2002 *Nucl. Phys.* A **698** 555c

[5] Wuosmaa A H Back B B, Baker M D *et al* 2002 *Nucl. Phys.* A **698** 88c

[6] Kolb P F, Heinz U, Huovinen P *et al* 2001 *Nucl. Phys.* A **696** 197

[7] Bearden I G, Beavis D, Besliu C *et al* 2002 *Phys. Rev. Lett.* **88** 202301

[8] Wang X N, Gyulassy M 2001 *Phys. Rev. Lett.* **86** 3496

[9] Hüfner J, Liu B 1985 *Z. Phys.* C **27** 283

[10] Jiang Z J, Li J R 1989 *Il Nuovo Cimento* A **102** 771

[11] Liu F H 1998 *Chin. Phys.* **7** 321

[12] Andersson B, Garpman S, Gustafson G *et al* 1986 *Phys. Scr.* **34** 451

[13] Glauber R J, Mattiae G 1970 *Nucl. Phys.* B **21** 135

[14] Csernai L P, Kapusta J I 1984 *Phys. Rev.* D **29** 2664

[15] Alner G J 1986 *Z. Phys.* C **33** 1

[16] Eskola K J, Kajantie K, Ruuskanen P V *et al* 2000 *Nucl. Phys.* B **570** 379

[17] Eskola K J, Ruuskanen P V, Räsänen S S *et al* 2001 *Nucl. Phys.* A **696** 715

[18] Gyulassy M, Wang X N 1991 *Phys. Rev.* D **44** 3501

[19] Marzo C D, Palma D, Distante A *et al* 1982 *Phys. Rev.* D **26** 1019

[20] Chaudhuri A K 2002 *Phys. Rev. Lett.* **88** 232302

The study of centrality dependence of rapidity densities of charged-multiplicity *

Jiang Zhi-Jin

(*College of Science, Shanghai University of Science and Technology, Shanghai* 200093, *China*)

(Received 7 March 2003; revised manuscript received 23 June 2003)

Abstract

Based on the theory of independent source model, the charged-multiplicity distributions in heavy ion collisions are derived which are then used to analyze the centrality dependence of the charged-multiplicity pseudo-rapidity densities, $\mathrm{d}n_{\mathrm{ch}}/\mathrm{d}\eta$, in Au + Au collisions at $\sqrt{S_{NN}} = 130$ GeV in midrapidity region. The theoretical results agree well with experimental facts.

Keywords: heavy ion collision, charged-multiplicity, pseudo-rapidity densities, centrality

PACC: 2570

* Project supported by the Development Foundation of Science and Technology for Universities in Shanghai, China (Grant No. 5840).