

# 相对论性核-核碰撞中奇异夸克 压低的约化\*

台 安

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

萨 本 豪

(中国原子能科学研究院 北京 102413)

**摘要** 用含 s 夸克压低约化机制的事件产生器 LUCIAE 研究了相对论性核-核碰撞中奇异增强现象. LUCIAE 结果和相应的 NA35 实验数据符合得较好. 结果还表明:s 夸克压低约化在奇异产生物理中的作用要大于再散射.

**关键词** 奇异产生增强 奇异夸克压低的约化 有效弦张量

## 1 引言

相对论性核-核碰撞中奇异产生相对于同能量核子-核子碰撞增强的现象<sup>[1-4]</sup>早被预言为判断核碰撞中是否有夸克-胶子等离子体(QGP)形成的一种信号<sup>[5]</sup>. 和其它信号一样 QGP 也不是它的唯一解释,也有可能**在强子机制内通过(弦-弦)集体相互作用或再散射等来解释**<sup>[6-8]</sup>.

近年来我们在国际通用的强子-强子(hh)碰撞事件产生器 FRITIOF 的基础上发展了描写相对论性核-核碰撞的模型和相应的事件产生器 LUCIAE, 系统地研究了奇异增强现象<sup>[6,9-10]</sup>. 这些研究表明:要全面解释当前有关奇异产生最完整的 NA35 数据,除了原 LUCIAE 中已包括的(弦-弦)集体相互作用(激发弦发射胶子时)和再散射外,尚须考虑相对论性核-核碰撞中 s 夸克压低相对于同能量核子-核子碰撞的约化现象. 但在文献[9, 10]中我们只是作了简单的改变有关模型参量的尝试,未给出 s 夸克压低的机制,即 s 夸克压低因子如何随碰撞系统能量、中心度和质量的变化等.

前不久在文献[11]中我们已在作为 FRITIOF(LUCIAE)基础的唯象弦理论框架内半经验地建立了相对论性核-核碰撞中 s 夸克压低约化机制,并将其包括到 LUCIAE 中,还在解释 hh 碰撞和  $e^+e^-$  湮没过程中 s 夸克压低因子随能量变化取得成功. 本文进而用它来分

1997-07-08收稿

\*中国博士后科学基金资助

析相对论性核-核碰撞中奇异产生的数据(NA35), 并与过去的结果作比较.

## 2 奇异夸克压低约化机制

在 FRITIOF 中强子被描写为弦(夸克-反夸克或双夸克-夸克弦). 在 hh 碰撞中弦被激发, 激发的弦要发射胶子. 它又被描写为弦上隆起的纽结, 成了多胶子弦(multigluon string). 显然 hh 碰撞的能量越高, 弦激发得越厉害, 发射胶子的横动量  $K_{\perp}$  越大, 弦上的纽结越多. 描写弦的特征量是有效弦张量  $\kappa$ , 它定义为单位长度弦具有的能量.

LUCIAE 在 FRITIOF 基础上又考虑了弦发射胶子时的(弦-弦)集体相互作用, 它加强了胶子的发射. 这些都由 LUCIAE 中所含的爆竹模型(firecracker 模型)描写<sup>[12]</sup>, 因而相应的胶子又称爆竹胶子. 显然核-核碰撞系统的中心度越高、质量越大, 爆竹胶子越硬( $K_{\perp}$  越大)数目也越多.

所以说在原来的 LUCIAE 中其实已隐含了弦上胶子的数目及其硬度随核-核碰撞系统能量、中心度和质量之增而增的物理因素.

在 LUCIAE(FRITIOF) 中多胶子弦最后按 LUND 弦碎裂模型<sup>[13,14]</sup> 转化为末态强子. 该模型告知: 由一根质量为  $\sqrt{s}$  的  $q\bar{q}$  单纯弦(Pure String) 碎裂得到的末态强子多重数为

$$\bar{n}_p \propto \ln\left(\frac{s}{s_0}\right), \quad (1)$$

这儿  $\sqrt{s_0}$  具有典型强子质量的量级. 而由一根具有  $(n-2)$  个胶子的多胶子弦碎裂得到的多重数为

$$\bar{n}_M \propto \ln\left(\frac{s}{s_0}\right) + \sum_{j=2}^{n-1} \ln\left(\frac{K_{\perp j}^2}{s_0}\right) \quad (2)$$

且有  $K_{\perp j}^2 > s_0$ . 多胶子弦与单纯弦的差别自然可用

$$\xi = \frac{\sum_{j=2}^{n-1} \ln\left(\frac{K_{\perp j}^2}{s_0}\right)}{\ln\left(\frac{s}{s_0}\right) + \sum_{j=2}^{n-1} \ln\left(\frac{K_{\perp j}^2}{s_0}\right)} \quad (3)$$

来量度( $\xi < 1$ ). 我们的经验表明: 代之以

$$\xi = \frac{\ln\left(\frac{K_{\perp \max}^2}{s_0}\right)}{\ln\left(\frac{s}{s_0}\right) + \sum_{j=2}^{n-1} \ln\left(\frac{K_{\perp j}^2}{s_0}\right)} \quad (4)$$

更好, 式中  $K_{\perp \max}$  是最硬胶子的横动量.

我们还通过与  $e^+e^-$  湮没、hh 碰撞和核-核碰撞实验的比较找到了单纯弦的有效弦张

量  $\kappa_0$  与多胶子弦的有效弦张量  $\kappa_{\text{eff}}$  间的经验关系

$$\kappa_{\text{eff}} = \kappa_0 (1 - \xi)^{-\alpha}, \quad (5)$$

$\alpha = 3.5$ ,  $\sqrt{s_0} = 0.8$ . 式(5)表明:多胶子弦的有效弦张量大于单纯弦.

由 LUND 弦碎裂模型又知:

质量为  $m$  横动量为  $p_t$  的  $q\bar{q}$  对从弦的色场中产生的几率为

$$\exp\left(\frac{-\pi m^2}{\kappa_{\text{eff}}}\right) \exp\left(\frac{-\pi p_t^2}{\kappa_{\text{eff}}}\right). \quad (6)$$

倘若弦 1 的有效弦张量为  $\kappa_{\text{eff}1}$ 、s 夸克压低因子为  $\lambda_1$ , 而弦 2 的相应量为  $\kappa_{\text{eff}2}$  和  $\lambda_2$ ; 那么由 s 夸克压低因子  $\lambda$  的定义: 在弦的色场中产生 s 夸克对几率与产生 u 或 d 夸克对几率之比 (亦即在弦色场中产生 s 夸克对相对于产生 u 或 d 夸克对的压低) 可知

$$\lambda_i = \frac{\exp\left(\frac{-\pi m_s^2}{\kappa_{\text{eff}i}}\right)}{\exp\left(\frac{-\pi m_u^2}{\kappa_{\text{eff}i}}\right)} \quad (i = 1, 2), \quad (7)$$

进而可得

$$\frac{\ln(\lambda_2)}{\ln(\lambda_1)} = \frac{\kappa_{\text{eff}1}}{\kappa_{\text{eff}2}}, \quad (8)$$

最后得到

$$\lambda_2 = \lambda_1^{\kappa_{\text{eff}1}/\kappa_{\text{eff}2}}, \quad (9)$$

因  $\lambda < 1$ , 故式(9)表明:有效弦张量越大, s 夸克压低因子越大 (s 夸克压低得越不厉害).

作为 LUCIAE 事件产生器一个构成部分的 JETSET 子程序中, 与 s 夸克压低或有效弦张量有关的物理参数除  $\lambda$  外尚有: Parj(3) 和 Parj(1) (这是程序中用的名字). Parj(3) 是弦色场中产生奇异双夸克对的几率与产生奇异夸克对几率之比 (亦即在弦色场中产生奇异双夸克对相对于产生奇异夸克对的额外压低), 它与有效弦张量及 s 夸克压低都有关. Parj(1) 是色场中产生双夸克对的几率与产生夸克对几率之比. 显然和  $\lambda$  一样 Parj(1) (Parj(3)) 与有效弦张量间也有类似式(9)的关系式. LUCIAE 包括上述奇异夸克压低约化机制就是通过  $\lambda$ 、Parj(3) 和 Parj(1) 等物理参数体现的.

### 3 与 NA35 实验数据的比较

用含有奇异夸克压低约化机制的 LUCIAE 计算 200A GeV 最小偏畸 (minimum bias) 质子-核碰撞和硫-核中心碰撞发现:  $\lambda$  值随碰撞系统能量之增而缓增, 由 p + S 时的 0.22 增至 S + S 时的 0.28, 此后  $\lambda$  值的增加渐趋饱和, 如表 1 所示. 此结果与文献[9]的结果: 为符合 200A GeV 的 NA35 数据, 对于 p + p 和 p + A  $\lambda$  约需为 0.2 而 S + A 约需为 0.3, 相一致. 重复计算文献[9]中的快度和横动量等分布的结果也与文献[9]的结果相近, 不另给出.

本文另就文献[15]发表的 S + S 中心和边缘碰撞以及同位旋标量 NN 碰撞中负电粒子和参加者质子的快度和横动量分布的 NA35 数据作了计算. LUCIAE 结果及其与相应

表1 在200A GeV/c最小偏畸p+A和S+核中心碰撞中三个JETSET参数的平均值

	p+S	p+Ag	S+S	S+Ag	S+Pb
	min.bias	min.bias	central	central	central
PARJ(1)	0.0654	0.0725	0.107	0.109	0.109
PARJ(2)	0.220	0.231	0.282	0.284	0.284
PARJ(3)	0.323	0.328	0.380	0.381	0.381

NA35 数据的比较给在图 1 和 2 及表 2 中, 由这些结果可见: 除靶碎裂区参加者质子快度分布的 LUCIAE 结果低于数据外, LUCIAE 结果与 NA35 数据符合得相当好. 参加者质子靶碎裂区快度分布符合不够好的原因是 FRITIOF 中没考虑靶傍观者核子的碎裂.

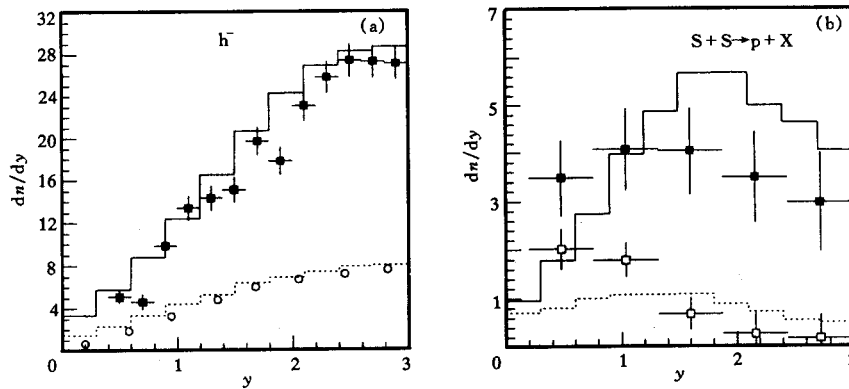


图 1 负电粒子(a)及参加者质子(b)的快度分布

■和□分别是 S+S 中心和边缘碰撞的实验数据; ○是 N+N 最小偏畸事件的实验数据; 直方图是 LUCIAE 的结果. 为了方便比较, N+N 最小偏畸事件的数据及对应的 LUCIAE 结果被扩大了 10 倍.

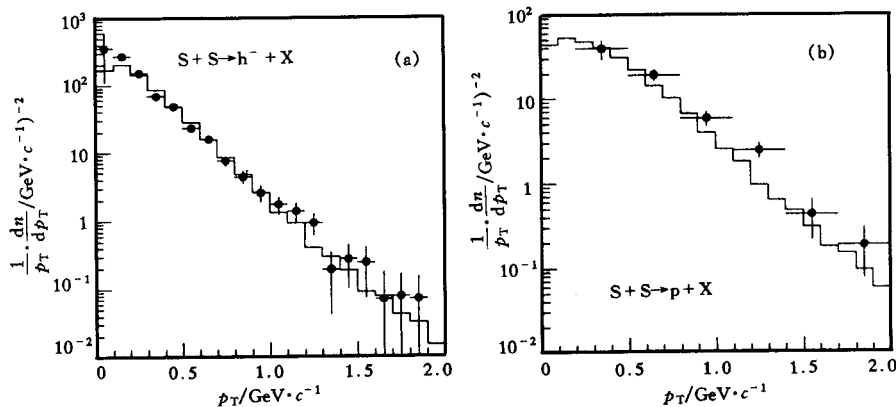


图 2 负电粒子(a)及参加者质子(b)的横动量分布

●是实验数据; 直方图是 LUCIAE 的结果.

表2 在200A GeV/c S+S中心碰撞和边缘碰撞中负电子子和参加者质子的平均多重数和参加者质子的平均快度移动

	$N_{h-}$	$N_p$	$\Delta y$
S+S central			
Data	$46.8 \pm 2.5$	$12.8 \pm 1.4$	$1.58 \pm 0.15$
LUCIAE	54.2	12.1	1.89
S+S periph.			
Data	$9.8 \pm 1.0$	$3.1 \pm 0.8$	$1.0 \pm 0.15$
LUCIAE	9.5	2.6	1.5

## 4 讨 论

在文献[10]中已经指出:再散射和s夸克压低是LUCIAE用以研究相对论性核-核碰撞中奇异增强取得成功的两个主要因素,相对说来s夸克压低因素往往又显得更重要些.本文的一系列计算都重申了这一点.譬如对于 $\bar{\Lambda}$ 粒子产生说来,再散射的贡献为逆反应和 $\bar{\Lambda}N$ 湮没所局限,因此即便所用的奇异产生截面增加一倍, $\bar{\Lambda}$ 产额只增5%.相反地,若s夸克压低因子由0.3增至0.6, $\bar{\Lambda}$ 产额则约增加3.4倍.

本文以及文献[6,9,10]的结果似乎都表明:相对论性核-核碰撞中奇异增强现象在强子机制内通过(弦-弦)集体相互作用、再散射和s夸克压低约化机制能得到解释.本文相对于文献[6,9,10]虽又前进了一步,半经验地给出了s夸克压低约化机制;但研究工作还有待于再深化.

首先s夸克压低约化随碰撞系统中心度和质量之增而增的事实尚须更充分地反映, $\lambda$ 值增加趋向饱和尚嫌过快些.其次还要在唯象弦模型内对s夸克压低约化机制作解析的推导.最后还要求从微观第一性原理出发来推导s夸克压低约化机制.第二步已经相当之困难更何况第三步!但愿在科学发展的‘长河’中,将来有人能解决这些问题.

## 参 考 文 献

- [1] Abatzis S et al. WA85 Colla. Phys. Lett., 1990, **B244**:127
- [2] Bartke J et al. NA35 Colla. Z. Phys., 1990, **C48**: 191; Alber T et al. NA35 Colla. Z. Phys., 1994, **C64**: 195; Phys. Lett., 1996, **B366**:56
- [3] Andersen E et al., NA36 Colla. Nucl. Phys., 1995, **A590**: 291c; Phys. Lett., 1993, **B316**:603
- [4] Nagamiya S. Nucl. Phys., 1992, **A544**:5c
- [5] Rafelski J, Hagedorn R. Statistical Mechanics of Quarks and Hadrons. North Holland, Amsterdam; Ed. H. Satz, 1981
- [6] Sa Benhao, Wang Zhongqi, Zhang Xiaoze et al. Phys. Rev., 1993, **C48**:2995; Sa Benhao, Tai An, Lu Zhongdao. Phys. Rev., 1995, **C52**:2069; Andersson B, Tai An, Sa Benhao. Z. Phys., 1996, **C70**:499
- [7] Werner K. Phys. Rep., 1993, **232**:87
- [8] Sorge H. Phys. Rev., 1995, **C52**: 3291; Z. Phys., 1995, **C67**:479
- [9] Sa Benhao, Tai An. Phys. Rev., 1997, **C55**:2010
- [10] Sa Benhao, Tai An. Phys. Lett., 1997, **B399**:29

- [11] Tai An, Sa Benhao. *Phys. Lett.*, 1997, **B409**:393  
[12] Sa Benhao, Tai An. *Comp. Phys. Comm.*, 1995, **90**:121  
[13] Andersson B, Gustafson G, Ingelman G et al. *Phys. Rep.*, 1983, **97**:31  
[14] Andersson B, Gustafson G, Nilsson-Almqvist B. *Nucl. Phys.*, 1987, **B281**:289  
[15] Bächler J et al.. NA35 Colla. *Phys. Rev. Lett.*, 1994,**72**:1419

## Reduction of Strange Quark Suppression in Relativistic Nucleus-Nucleus Collisions \*

Tai An

(*Institute of High Energy Physics, CAS Beijing 100039*)

Sa Benhao

(*China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413*)

**Abstract** We use the event generator LUCIAE with the mechanism of reduction of strange quark suppression to investigate the strangeness enhancement in relativistic nucleus-nucleus collisions. The results of LUCIAE reproduce the corresponding NA35 data quite well and explain very well that the reduction of strange quark suppression plays more important role than the rescattering of final state hadrons in the production of strange particles.

**Key words** strangeness enhancement, reduction of strange quark suppression, effective string tension.