

高能核-核碰撞中靶裂区非几何效应的分析*

石亚非 李葵发
(宜昌师专物理科,宜昌) (江汉石油学院基础部,沙市)

王正清
(宜昌师专物理科,宜昌)

摘 要

本文在分析 HELIOS 协作组所提供的 $^{16}\text{O}-\text{A}$ 碰撞的横能量分布实验数据的基础上,指出在靶裂区考虑非几何效应的必要性,并在几何模型的框架下,把非几何效应等效地用参与碰撞核子数的涨落来描述。

一、引 言

作为零级近似,高能核-核碰撞被看成是核子-核子碰撞加上核几何学。基于这种观点建立起来的模型(常称几何模型),能够成功地解释中心快度区的横能量(或多重数)分布^[1]。然而,把几何模型用到靶裂区时,理论与实验出现了明显的偏差^[2]。人们已经认识到,高能核-核碰撞中非几何效应的研究将越来越重要^[3]。文献[4]讨论了核内级联问题,利用非几何叠加的流体力学模型,满意地解释了快度分布对靶质量的依赖在靶裂区的行为,显示出级联效应在靶裂区的重要作用。

本文将在分析 HELIOS 协作组所提供的 $200\text{A GeV } ^{16}\text{O}-\text{A}$ 碰撞在 $-0.1 < \eta < 2.9$ 区域内的横能量分布实验数据^[5]的基础上,进一步指出在靶裂区考虑非几何效应的必要性,并试图在几何模型的框架下,把非几何效应——特别是级联效应和能量损失效应——等效地用参与碰撞核子数的涨落来描述,由此计算的结果与实验符合。

二、实验数据的分析

HELIOS 协作组提供的 $200\text{A GeV } ^{16}\text{O}-\text{W, Ag, Al}$ 碰撞在 $-0.1 < \eta < 2.9$ 区域内的横能量分布与 NA35 协作组给出的 $200\text{A GeV } ^{16}\text{O}-\text{Au, Ag, Cu, Al}$ 碰撞在中心快度区的横能量分布^[6]有一个显著的不同。在中心快度区, ^{16}O 与不同靶核碰撞所产生的末态

本文 1989 年 12 月 7 日收到。

* 湖北省教委科研经费资助课题。

粒子的横能量的最大值 E_T^{\max} 的比值,基本上与对心碰撞时各参与碰撞的核子数 $N = N_P + N_T$ (N_P 和 N_T 分别为射弹核和靶核中参与碰撞的核子数)的比值成比例(见表1)。这意味着 $E_T^{\max} \propto N$ 。这种关系实际上是中心快度区横能量分布的宽度主要由几何决定的反映^[7]。

表1 对不同靶核中心快度区的 E_T^{\max} 和对心碰撞的 N 的比值

	Al	Cu	Ag	Au
E_T^{\max}	1.0	1.3	1.4	1.7
N	1.0	1.3	1.5	1.8

然而,在 $-0.1 < \eta < 2.9$ 区域内,这种比例关系不再成立(见表2)。注意到该区域几乎覆盖了中心快度区的一半和靶裂区的90%左右,考虑到高能核碰撞的穿透性,如果粗略地认为靶裂区的贡献来源于靶核中参与碰撞的核子,中心区的贡献来自射弹核和靶核中所有参与碰撞的核子,则对 $-0.1 < \eta < 2.9$ 区域有贡献的有效参与碰撞的核子数目 $N_{\text{eqv}} \propto 0.5N + 0.9N_T$ 。由表2可以看出,各 N_{eqv} 的比值与各 E_T^{\max} 的比值也不成比例。实际对 $-0.1 < \eta < 2.9$ 区域有贡献的各有效参与碰撞核子数的比值,将介于各 N 和各 N_{eqv} 的比值之间,这个比值显然不与各 E_T^{\max} 的比值成比例。这表明,仅用纯几何方法计算出的参与碰撞的核子数,不能解释该区域内横能量分布的宽度。涉及到靶裂区时,必须认真考虑非几何因素。

表2 对不同靶核 $-0.1 < \eta < 2.9$ 区域内的 E_T^{\max} 、 N 和 N_{eqv} 的比值

	Al	Ag	W
E_T^{\max}	1.0	2.2	2.9
N_{eqv}	1.0	1.7	2.1
N	1.0	1.5	1.7

从上面的分析我们看出,中心快度区的非几何效应是弱的,因而能够较成功地应用几何模型;靶裂区的非几何效应是显著的,因而相应的理论模型必须考虑非几何效应的修正。

三、一种描述非几何效应的方法

靶裂区的非几何效应主要有级联效应和受伤核子效应等。有的作者曾提出用“有效剖面函数”(effective profile functions)代替由核内核子密度分布所决定的相应的剖面函数,通过核子-核子碰撞次数的涨落来描述级联效应和受伤核子效应的设想^[3]。文献[8]在把基于几何观点建立起来的多源模型^[2]用于全快度区时,实际上已从另一角度引入了对多次碰撞导致的能量损失这种非几何效应的修正,但没有将它作为一个专门的问题加以研究。我们认为,在几何模型的框架下,把级联效应和能量损失效应等效地用参与碰撞核子数的涨落,即级联效应引起有效参与碰撞核子数增加,能量损失效应使得有效参与

碰撞核子数减少, 来描述是可行的 (参加者模型本身已考虑了受伤核子效应)。下面我们在文献[8]的基础上, 利用多源模型具体说明这种方法。

按照多源模型, 对 200 A GeV 的核-核碰撞, 在固定碰撞参数的情况下, 各快度区或全快度区的横能量 E_T 的分布均可写成

$$P(E_T|\mu) = \frac{1}{\Gamma(\mu)} \left[\frac{2}{\langle E_T(pp) \rangle} \right]^\mu E_T^{\mu-1} \exp(-2E_T/\langle E_T(pp) \rangle), \quad (1)$$

其中 $\langle E_T(pp) \rangle$ 是入射能量为 200 GeV 的非衍 p-p 碰撞在相应快度区内的平均横能量, μ 是相应的能源数。最初的模型认为, 位于靶裂区的“火球”的数目由靶核中参与非衍碰撞的核子数决定, 而每个“火球”的物化能随机地来源于两个能源^[1], 这实际上是把核内核子的碰撞完全看成是自由核子的碰撞。考虑到每个靶核子在穿透射弹核时将与多个射弹核子相碰, 文献[8]改进了上述模型, 认为每个靶火球的物化能随机地来源于

$$\mu_T^{(1)} = 1 + \nu_p^\beta \quad (2)$$

个能源, 其中 ν_p 是固定碰撞参数下, 一个靶核子沿直线穿过射弹核时所遇到的非衍碰撞核子数, β 当时是考虑能量损失效应而引进的一个参量。然而, 由于靶核具有一定的厚度, 位于靶核内的不同处的核子在碰撞中所起的作用一般并不相同, 同时考虑到核内级联的因素, 因此更合理的假设是 μ_T 不仅应与射弹有关, 而且还应与靶核有关。 μ_T 与靶核的关联可以通过 β 来反映。

基于这种分析, 我们仍保留由核内核子的分布和非衍碰撞的几率决定靶火球数目的框架, 而把靶裂区的非几何效应等效地用每个靶火球的能源数的涨落来描述。具体地, 就是用参量 β 来描述。一般来说, 级联效应将导致横能量分布加宽, 能量损失效应则会使横能量分布变窄。在我们的模型中, 能源数越大, 横能量分布越宽, 能源数越小, 横能量分布越窄。这样, 通过 β 随靶核的增大或减小, 就能够唯象地分析高能核-核碰撞中的级联效应和能量损失效应。

四、计算结果及物理讨论

按照这种模型, 我们仿照文献[7]的方法, 用由(1)式所给曲线的右半部分与 200 A GeV 的 ¹⁶O-W, Ag, Al 碰撞实验所给出的横能量分布的尾部进行拟合, 定出中心碰撞下的有效能源数 μ_{eqv} (见表 3)。理论与实验的比较如图 1 所示。计算中我们取了

$$\langle E_T(pp) \rangle_{-0.1 < \eta < 2.9} = 1.67 \text{ GeV}^{1/2}.$$

注意到中心火球的能源数 $\mu_C = \nu_P + \nu_T$, 靶火球的数目为 ν_T , 其中 $\nu_P = \omega N_P$, $\nu_T = \omega N_T$ 分别是射弹核和靶核中参与非衍碰撞的核子数, 非衍碰撞几率 ω 与核的厚度

1) 这一取法基于 $\langle E_T(pp) \rangle \approx 3/2 \langle p_T \rangle \langle n(pp) \rangle$ 和在入射能量为 200 GeV 时由三火球模型^[1]得知的

$$\langle n(pp) \rangle_C = \langle n(pp) \rangle_T = \frac{1}{3} \langle n(pp) \rangle \quad \left(\alpha = \frac{1}{3} \right).$$

对 200 GeV, $\langle n(pp) \rangle \approx 8$, $\langle p_T \rangle \approx 0.3 \text{ GeV}/c$, 且在 $-0.1 < \eta < 2.9$ 内取 $\langle n(pp) \rangle_{-0.1 < \eta < 2.9} = 0.5 \langle n(pp) \rangle_C + 0.9 \langle n(pp) \rangle_T$, 从而有 $\langle E_T(pp) \rangle_{-0.1 < \eta < 2.9} = 1.67 \text{ GeV}$ 。

表3 对不同靶核的 μ_{eqv} , β 和各 β 的比值

	Al	Ag	W
μ_{eqv}	53.7	133.2	185.7
β	0.2	0.5	0.6
各 β 的比	1.0	2.5	3.0

有关,核越厚, w 越大,核越薄, w 越小, $0.75 \leq w \leq 1$ ^[8]. 我们取

$$\mu_{eqv} \approx 0.5\mu_C + 0.9\nu_T\mu_T^{(1)}, \quad (3)$$

并利用(2)式得出三种情况下的 β 值(见表3).

由表3可以看到:

1°. $\beta \approx 0$. 这表明核内核子的碰撞并不等效于自由核子的碰撞,因而不能把高能核-核碰撞完全归结成核子-核子碰撞的几何叠加,必须考虑非几何效应;

2°. 靶核越大, β 值越大. 直观地,靶核越大,参与碰撞的核子越多,所产生的粒子也越多,级联效应将越显著^[4],这使得 β 值增大;同时,靶核越大,射弹核子所穿透的靶核越厚,能量损失效应将越

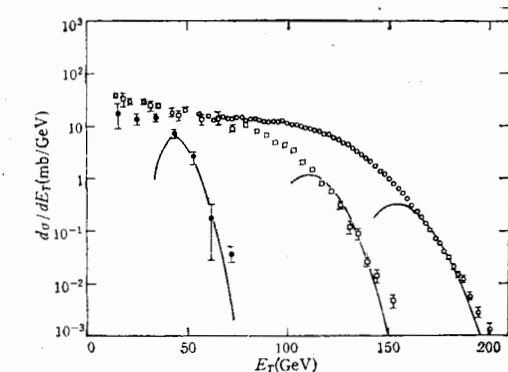


图1 以 μ_{eqv} 为参量的 Γ -分布[(1)式]与 200.4 GeV 的 ¹⁶O-W, Ag, Al 碰撞在 $-0.1 < \eta < 2.9$ 区域内的 E_T -分布的尾部的比较. 实验数据取自文献[5].

● W, □ Ag, △ Al

明显,它使得 β 值减小. 因此, β 随靶核而增大意味着靶裂区的级联效应随靶核的增大比能量损失效应更加显著,对于大的靶核,级联效应是一种更突出的非几何效应.

这些有意义的结论与从其他角度分析所得到的推断^[3]是一致的. 值得注意的是,三种不同靶核所对应的 β 值的比接近实验给出的各 E_T^{max} 之比(见表3和表2). 反映非几何效应的 β 与横能量分布的宽度之间是否存在更深刻的联系,有待于进一步探讨.

作者感谢华中师大刘连寿教授和庄鹏飞博士的有益讨论和帮助. 感谢江汉石油学院计算中心的支持.

参 考 文 献

- [1] 例如, Liu Lianshou, Meng Tachung, Pan Jicai and Peng Hongan, *Phys. Rev.*, D38(1988),3405.
- [2] 例如, I. Otterlund et al. (WA80 Collaboration), LUIP 8806(1988).
- [3] L. Van Hove, CERN-TH. 5069/88; M. Jacob, *Nucl. Phys.*, A(1989) 1.
- [4] Zhuang Pengfei, Liu Lianshou, *Z. Phys.* 待发表;庄鹏飞,刘连寿,高能物理与核物理,14(1990),240.
- [5] T. Akesson et al. (HEL IOS Collaboration), *Z. Phys.*, C38(1988), 383.
- [6] W. Heck et al. (NA35 Collaboration), *Z. Phys.*, C38 (1988), 19.
- [7] Li Kuifa, Liu Lianshou, Shi Yafei and Zhao Guishu, *Mod. Phys. Lett.*, A, 待发表.
- [8] Shi Yafei, Zhuang Pengfei and Liu Lianshou, *Phys. Rev.*, D 待发表;石亚非,庄鹏飞,刘连寿,高能物理与核物理,1(1990),56

ANALYSES OF NON-GEOMETRICAL EFFECTS FOR TARGET FRAGMENTATION REGION IN HIGH ENERGY NUCLEUS-NUCLEUS COLLISIONS

SHI YAFEI¹⁾ LI KUIFA²⁾ WANG ZHENGQING¹⁾

1) (Yichang Teachers College, Physics Department)

2) (Jiangnan Petroleum Institute, Basic Courses Department)

ABSTRACT

Based on the analyses of the transverse energy distributions data measured by the HELIOS collaboration group on ¹⁶O-A collisions experiments at 200 A GeV, the necessity of considering non-geometrical effects in target fragmentation is pointed out, and these effects are described equivalently by the fluctuation of the number of participating nucleons in the framework of geometrical model.

3)
见

碰
不
核
效

靶
的
使
子
越
比

三
几

院

15.

1.

能物