

# 高能轻子-核碰撞中簇射粒子的研究

刘福虎

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

孙汉城

(中国原子能科学研究院, 北京 102413)

1992年12月1日收到

## 摘 要

在高能轻子-核碰撞中, 基于二源发射图象描述了簇射粒子多重数和赙快度分布, 计算结果与 3—210GeV 的中微子-核乳胶碰撞的实验数据符合。

**关键词** 轻子-核碰撞, 中微子-核乳胶碰撞, 多重数分布, 赙快度分布。

## 1 引 言

从参加碰撞的客体种类看, 高能碰撞主要有六种类型: 轻子-轻子、轻子-强子、轻子-核、强子-强子、强子-核及核-核碰撞。到目前为止, 研究得较少的是轻子-核碰撞, 特别是在高能多重产生领域, 实验和理论两方面的工作都较少。

利用高能轻子特别是中性轻子与原子核的碰撞研究多重产生问题有其独特的优越性: 一方面, 末态带电粒子中没有领头粒子的影响, 只有产生粒子和靶粒子, 实验测量方便; 另一方面, 轻子可作为类点粒子看待, 作用机制简单, 理论分析容易。

本文利用美国费米实验室 E531 实验获得的 3—210GeV 的中微子与核乳胶碰撞的实验数据<sup>[1]</sup>, 研究高能轻子-核碰撞中的簇射粒子多重数与赙快度分布问题。

## 2 多重数分布

高能碰撞中产生的次级相对论性单电荷粒子称为簇射粒子, 末态簇射粒子的数目称为簇射粒子多重数, 记为  $n_s$ 。

作为一种近似考虑, 认为轻子是类点粒子。在中性轻子-核碰撞中, 入射轻子与靶核中与之相对的核子发生碰撞。根据强子-强子碰撞的三火球模型<sup>[2]</sup>, 由于作为射弹的轻子是类点粒子, 而靶核子被认为是有内部结构的客体, 在去掉射弹火球后, 就只剩下中心火球和靶火球, 分别称之为中心发射源和靶发射源。从发射源的个数看, 高能轻子-核碰撞同高能轻子-核子碰撞一样, 其簇射粒子是两源发射的。

高能轻子-核碰撞的簇射粒子平均多重数记为  $\langle n_s \rangle$ , 设中心发射源和靶发射源的平均多重数占总平均多重数的比分别为  $\alpha$  和  $1-\alpha$ , 则中心发射源发射的簇射粒子多重数的平均值为  $\langle n_1 \rangle = \alpha \langle n_s \rangle$ , 靶发射源发射的簇射粒子多重数的平均值为  $\langle n_2 \rangle = (1-\alpha) \langle n_s \rangle$ . 仿照三火球模型<sup>[2]</sup>中一个火球产生的次级粒子多重数分布<sup>[3]</sup>的导出, 可得出高能轻子-核碰撞中,  $n_1$  的分布为

$$P_1(n_1) = \frac{4n_1}{\alpha^2 \langle n_s \rangle^2} \exp\left(-\frac{2n_1}{\alpha \langle n_s \rangle}\right), \quad (1)$$

$n_2$  的分布为

$$P_2(n_2) = \frac{4n_2}{(1-\alpha)^2 \langle n_s \rangle^2} \exp\left(-\frac{2n_2}{(1-\alpha) \langle n_s \rangle}\right), \quad (2)$$

$n_s$  的分布是  $n_1$  和  $n_2$  分布的卷积

$$P_s(n_s) = \int_0^{n_s} P_1(n_1) P_2(n_s - n_1) dn_1. \quad (3)$$

上面的参数  $\alpha$  表征了中心发射源的平均大小, 它可由符合实验数据确定.

核乳胶是由 H、C、N、O、S、Br、Ag 和 I 八种成分组成的混合靶, 除了 S 和 I 含量极少可以忽略外, 剩下的六种核可分为三类: 超轻核 H、轻核 CNO 和重核 AgBr. 实验<sup>[4]</sup>已测出 3—210GeV 中微子与核乳胶中的 H、CNO 和 AgBr 碰撞的几率分别是 0.227、0.503 和 0.270, 相应的  $\langle n_s \rangle$  值分别是 4.94、5.81 和 6.67. 根据这些  $\langle n_s \rangle$  值, 对三类靶核分别用式 (3) 计算  $P_s(n_s)$ , 再根据碰撞几率把它们加起来, 就得到中微子与核乳胶碰撞的簇射粒子多重数分布.

图 1 是 3—210GeV 的中微子与核乳胶碰撞的簇射粒子多重数分布, 直方图是实验结果, 取自文献 [1], 虚线是根据式 (3) 符合实验画出的, 同时考虑了相应三类靶核的  $\langle n_s \rangle$  值和碰撞几率, 计算时取  $\alpha = 0.5$ . 由  $\alpha = 0.5$  可从式 (3) 进一步得到

$$P_s(n_s) = \frac{1}{6} \left(\frac{4}{\langle n_s \rangle}\right)^4 n_s^3 \exp\left(-\frac{4n_s}{\langle n_s \rangle}\right). \quad (4)$$

从图 1 可以看出, 基于二源发射的簇射粒子多重数分布的计算结果与实验结果相符合.

### 3 赝快度分布

在上一节已分析过, 高能轻子-核碰撞中的簇射粒子是二源发射的. 如果假设每个源在发射簇射粒子时, 都不受到其它源的干扰, 且在发射源静止系, 簇射粒子是各向同性发

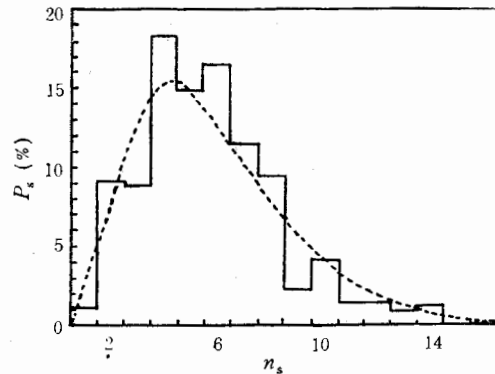


图 1 3—210GeV 中微子-核乳胶碰撞的簇射粒子多重数分布

射的,则可得出赝快度的分布规律.

设  $\theta$  和  $\theta^*$  分别表示某个粒子在实验室系和相应发射源静止系中的发射角,在这两个坐标系中的赝快度  $\eta$  和  $\eta^*$  可分别表示为

$$\eta = -\ln \operatorname{tg} \theta / 2 \quad (5)$$

和

$$\eta^* = -\ln \operatorname{tg} \theta^* / 2. \quad (6)$$

$\eta$  和  $\eta^*$  的关系为

$$\eta^* \approx \eta - \eta_i = \eta + \ln [\gamma_i (1 - \beta_i)], \quad (7)$$

式中  $\gamma_i$  和  $\beta_i$  分别是第  $i$  个发射源相对实验室系的洛仑兹因子和速度.

在发射源静止系,各向同性发射粒子的角分布为

$$f_i(\theta^*) = \frac{1}{2} \sin \theta^*. \quad (8)$$

由(6)和(7)两式得

$$\theta^* = 2 \operatorname{arctg} e^{-(\eta - \eta_i)} = h(\eta). \quad (9)$$

这样,在实验室系测得的第  $i$  个源发射出的粒子的赝快度分布为

$$\begin{aligned} f_i(\eta) &= \left| \frac{d\theta^*}{d\eta} \right| f_i[h(\eta)] \\ &= \frac{2e^{-2(\eta - \eta_i)}}{[e^{-2(\eta - \eta_i)} + 1]^2} = \frac{1}{2\operatorname{ch}^2(\eta - \eta_i)}. \end{aligned} \quad (10)$$

从图1已知,可以认为中心发射源和靶发射源的贡献相等,这样可得出归一化的总赝快度分布为

$$\begin{aligned} f(\eta) &= \frac{1}{2} f_1(\eta) + \frac{1}{2} f_2(\eta) \\ &= \frac{1}{4} \left[ \frac{1}{\operatorname{ch}^2(\eta - \eta_1)} + \frac{1}{\operatorname{ch}^2(\eta - \eta_2)} \right]. \end{aligned} \quad (11)$$

实验上,常用  $\rho(\eta)$  表示赝快度密度分布,  $\rho(\eta)$  的定义为

$$\rho(\eta) = \frac{1}{N_{ev}} \frac{dn_s}{d\eta}, \quad (12)$$

式中  $N_{ev}$  是事例数,  $\rho(\eta)$  和  $f(\eta)$  的关系为

$$\rho(\eta) = \langle n_s \rangle f(\eta), \quad (13)$$

由此得到赝快度密度的分布为

$$\rho(\eta) = \frac{\langle n_s \rangle}{4} \left[ \frac{1}{\operatorname{ch}^2(\eta - \eta_1)} + \frac{1}{\operatorname{ch}^2(\eta - \eta_2)} \right]. \quad (14)$$

根据实验测定的赝快度分布,用式(14)进行拟合,  $\langle n_s \rangle$  是实验测量值,  $\eta_1$  和  $\eta_2$  可根据实验数据确定. 如果不是用赝快度  $\eta_i$ , 而是用快度  $y_i$ , 则  $y_i$  可由能、动量守恒确定<sup>[4,5]</sup>. 一般来说,快度的绝对值比赝快度的绝对值小,由能、动量守恒确定的  $y_i$  值小于  $\eta_i$  值. 本文为简单起见,用式(14)拟合实验数据,通过  $\chi^2$  检验确定  $\eta_i$  值.

图2是 3—210GeV 的中微子与核乳胶碰撞的簇射粒子赝快度分布,直方图是实验

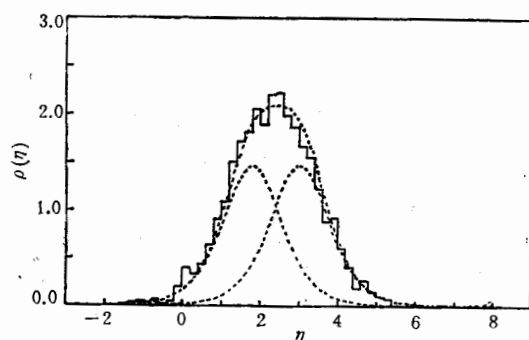


图 2 3—210GeV 中微子-核乳胶碰撞的簇射粒子赝快度分布

结果,原始数据取自文献[1],虚线是根据式(14)画出的,取  $\eta_1 = 3.05$ ,  $\eta_2 = 1.85$ ,图中同时画出了两个源各自的贡献及二者贡献之和。

从图 2 知道,高能轻子-核碰撞的簇射粒子赝快度分布可用二源发射机制描述。

#### 4 小 结

通过以上分析表明,高能轻子-核碰撞中的簇射粒子多重数  $n_s$  和赝快度  $\eta$  的分布均可用二源发射机制描述。在两个源的贡献相等时,  $n_s$  和  $\eta$  的分布分别由式(4)和(14)给出。这两个式子给出的结果与 3—210GeV 的中微子与核乳胶碰撞的实验数据相符合。

感谢赵维勤教授的有益讨论。

#### 参 考 文 献

- [1] 孙君芬,刘福虎,山西师范大学学报(自然科学版), 1(1986)43.
- [2] Liu Lianshou, Meng Tachung, *Phys. Rev.*, **D27**(1983) 2640.
- [3] Chou Kuangchao, Liu Lianshou, Meng Tachung, *Phys. Rev.*, **D28**(1983), 1080.
- [4] 石亚非,庄鹏飞,刘连寿,高能物理与核物理, 14(1990)56.
- [5] 朱允伦,赵维勤,高崇寿,高能物理与核物理, 15(1991)606.

## On the Shower Particles in High Energy Lepton-Nucleus Collisions

Liu Fuhu

*(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica, Beijing 100039)*

Sun Hancheng

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

Received on December 1, 1992

### Abstract

Based on the picture of two-source emission, the multiplicity and pseudorapidity distribution of shower particles are described in high energy lepton-nucleus collisions. The calculated results are in agreement with the experimental data of neutrino-emulsion collisions in the energy range from 3 up to 210 GeV.

**Key Words** Lepton-nucleus collision, Neutrino-emulsion collision, Multiplicity distribution, Pseudorapidity distribution.