

高能中微子与核乳胶碰撞中的多粒子产生

刘福虎

孙君芬

(山西师范大学物理系 山西临汾 041004) (湖南教育学院 长沙 410012)

摘要 介绍了高能中微子与核乳胶碰撞中的多粒子产生, 给出并讨论了簇射粒子和重电离粒子的多重数分布及簇射粒子的展快度分布.

关键词 中微子核乳胶碰撞 多粒子产生 多重数分布 展快度分布

1 引言

在碰撞研究中, 一个重要的实验现象是碰撞中有大量次级粒子产生^[1], 称为多粒子产生. 对多粒子产生现象的研究多年来一直是引人注目的课题之一.

利用高能轻子特别是中性轻子与核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. 但由于中性轻子仅参与弱相互作用, 它们与物质作用的截面非常小, 实验观测很困难, 这就使得在实验上研究高能中性轻子与核的碰撞问题远不如研究高能强子与核的碰撞问题那么多. 高能中性轻子与核碰撞会产生什么结果? 它同强子与核碰撞的结果有什么异同? 这些问题都有待实验来回答.

2 实验简介

E531实验利用混合谱仪, 借助外界粒子探测器确定由高能质子与BeO作用产生的 π 、K介子衰变而来的中微子与核乳胶发生相互作用的位置. 根据实验测得的次级相对论性粒子的能量, 考虑到一定量的补充修正后, 可得到入射中微子射线的能谱, 具体分布范围为3~210GeV、最可几能量为20GeV和平均值为43.5GeV^[2].

实验上, 根据次级带电粒子在核乳胶中所留径迹的颗粒密度, 将次级粒子分为两类: 簇射粒子和重电离粒子. 簇射粒子又叫相对论性单电荷粒子, 指速度 $\beta \geq 0.7$ 的单电荷粒子, 主要是 π 介子和一些快质子; 重电离粒子又叫靶碎片, 由靶核蒸发和级联碰撞两种过程产生, 速度 $\beta < 0.7$. 簇射粒子所留径迹的颗粒密度小于或等于1.4倍极小电离径迹的颗粒密度, 而重电离粒子所留径迹的颗粒密度大于1.4倍极小电离径迹的颗粒密度, 这是在实验上判断簇射粒子和重电离粒子的依据.

一个事例的簇射粒子数目和重电离粒子数目分别称为簇射粒子多重数和重电离粒子多重数, 并分别记为 N_s 和 N_h . 根据 N_h 的大小, 可判断入射中微子与核乳胶中的哪一类核发生了碰撞. 一般认为, $N_h = 0$ 的事例是与H核发生碰撞, $1 \leq N_h \leq 6$ 的事例是与C、N或O核发生碰撞, $N_h > 6$ 的事例是与Ag或Br核发生碰撞. 这种根据 N_h 的大小确定靶核种类的方法是非常粗糙的. 事实上, 在靶核一定时, N_h 的大小也是碰撞参数的一种量度. 在 $N_h = 0$ 的事例中, 也有少部分是中微子与C、N、O或Ag、Br发生了边缘碰撞, 但由于受实验技术的限制, 一般难于区分.

在获得的原始数据中, 测出了 N_s 和 N_h 及全部簇射粒子发射角的事例有325个, 本文对这些事例作了分析; 另有27个事例, 因只测出了其中部分簇射粒子的发射角, 而未作分析. 表1列出了分析的数据样本概况, 包括事

例类型、靶核、事例数、簇射粒子总数和重电离粒子总数.

表1 数据样本概况

事例类型	靶核	事例数	簇射粒子总数	重电离粒子总数
$N_h \geq 0$	Em	325	1790	1455
$N_h = 0$	H	79	372	0
$1 \leq N_h \leq 6$	C, N, O	164	900	483
$N_h > 6$	Ag, Br	82	518	972

3 实验结果

3.1 多重数

$$\text{令 } N_c = N_s + N_h \quad (1)$$

称 N_c 为复合多重数或带电粒子多重数, 它是一个反应过程末态的带电粒子总数. 以下为书写方便, 将角标 s, h 和 c 均用 i 表示.

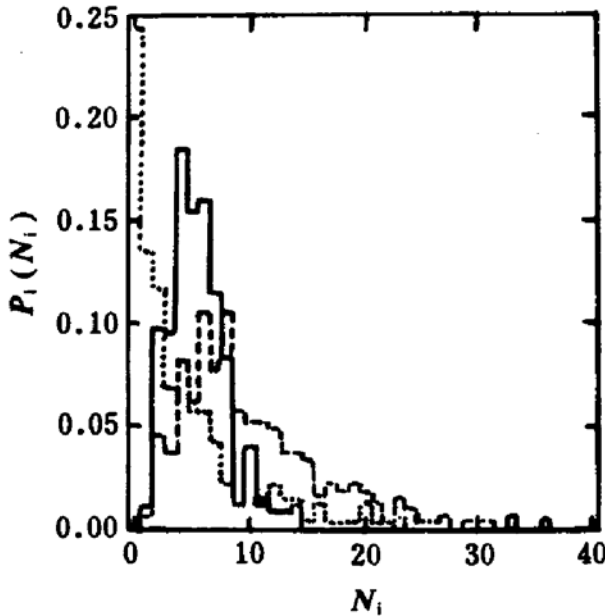


图1 多重数分布

设多重数为 N_i 的事例有 $n(N_i)$ 个, 则总的事例数可表示为

$$N = \sum_{N_i} n(N_i) \quad (2)$$

几率分布函数为

$$P_i(N_i) = \frac{n(N_i)}{N} \quad (3)$$

$P_i(N_i)$ 满足归一化条件

$$\sum_{N_i} P_i(N_i) = 1 \quad (4)$$

而平均多重数为

$$\langle N_i \rangle = \sum_{N_i} N_i P_i(N_i) \quad (5)$$

图1是3~210GeV 中微子与核乳胶碰撞的簇射粒子多重数(实线直方图)、重电离粒子多重数(点线直方图)和复合多重数(虚线直方图)的几率分布. 可以看出: 簇射粒子多重数有一个最可几值, 比最可几值大的事例多于比最可几值小的事例; 重电离粒子多重数低的事例出现的几率大, 反之出现的几率小, 整个分布曲线是单调下降的; 复合多重数也有一个最可几值, 比最可几值大的事例多于比最可几值小的事例. 相应簇射粒子多重数、重电离粒子多重数和复合多重数的平均值分别是 $\langle N_s \rangle = 5.51 \pm 0.14$ 、 $\langle N_h \rangle = 4.48 \pm 0.29$ 和 $\langle N_c \rangle = 9.99 \pm 0.35$.

实验结果^[3,4]表明, 相近能区的 π 介子和质子与核乳胶碰撞的 N_s 分布和 N_h 分布也有与中微子相应分布类似的特点, 但 N_s 的最可几值和 $\langle N_s \rangle$ 及 $\langle N_h \rangle$ 值都随入射粒子质量的增大而增大.

定义散度

$$D_i = \sqrt{\langle N_i^2 \rangle - \langle N_i \rangle^2} \quad (6)$$

应用上式, 可对一定范围内多重数分布的弥散程度进行研究. 针对核乳胶中的三种主要成份 H, C, N, O, Ag, Br, 计算了相应的多重数平均值 $\langle N_i \rangle$ 及散度 D_i , 且列于表2中. 可以看出, 随着靶核质量的增大, $\langle N_i \rangle$ 和 D_i 随之增大.

为显示清楚起见, 表2中的数据也在图2中给出. 相应簇射粒子多重数、重电离粒子多重数和复合多重数的数据点分别用黑点、三角和方块表示. 可以看出, 不同质量靶核和不同种类多重数相应的数据点落在了一条直线上, 这条直线的方程可表示为

$$D_i = 0.26 \langle N_i \rangle + 1.09 \quad (7)$$

在拟合时, 扣除了靶核 H 相应的点 ($\langle N_h \rangle$, D_h), 即点 (0, 0) 的贡献. 如果考虑点 (0, 0) 的贡献, 这条直线的斜率和截矩分别变为 0.37 和 0.40.

表2 不同质量靶核和不同种类多重数相应的 $\langle N_i \rangle$ 和 D_i 值

参数	H	C、N、O	Ag、Br
$\langle N_s \rangle$	4.71 ± 0.28	5.49 ± 0.19	6.32 ± 0.30
D_s	2.46 ± 0.53	2.40 ± 0.43	2.71 ± 0.70
$\langle N_h \rangle$	0.00 ± 0.00	2.95 ± 0.13	11.85 ± 0.54
D_h	0.00 ± 0.00	1.72 ± 0.23	4.85 ± 1.32
$\langle N_c \rangle$	4.71 ± 0.28	8.43 ± 0.23	18.17 ± 0.63
D_c	2.46 ± 0.53	2.99 ± 0.66	5.63 ± 2.02

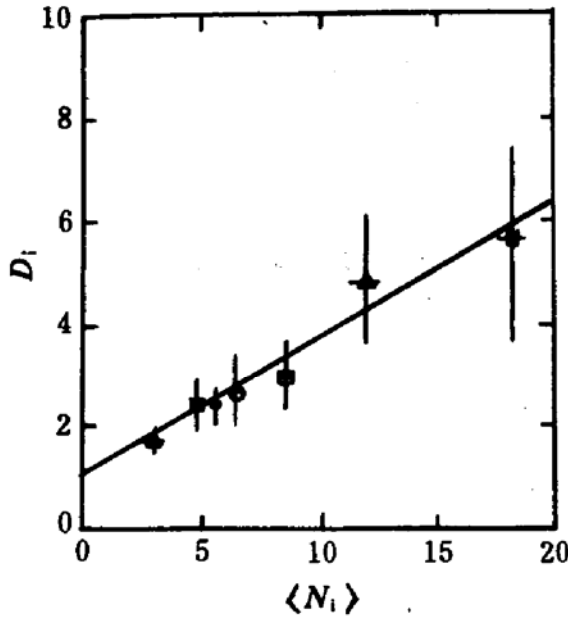


图2 多重数平均值 $\langle N_i \rangle$ 与散度 D_i 之间的关联

实验结果^[3]表明, 相近能区的 π 介子和质子与核乳胶碰撞的簇射粒子多重数平均值 $\langle N_s \rangle$ 与散度 D_s 之间也成线性关联, 但直线的斜率比中微子与核乳胶碰撞相应的值大一些. 至于研究 $\langle N_h \rangle$ 与 D_h 关联和 $\langle N_c \rangle$ 与 D_c 关联, 以及二者和 $\langle N_s \rangle$ 与 D_s 关联之间的异同的工作, 文献中尚未见到报道.

3.2 赙快度

赙快度 η 的定义为

$$\eta = -\text{Intg}(\theta/2) \quad (8)$$

式中, θ 是簇射粒子的发射角. 赙快度密度 $\rho(\eta)$ 的定义为

$$\rho(\eta) = \frac{1}{N} \frac{dN_s}{d\eta}$$

$\rho(\eta)$ 满足的归一化条件是

$$\int \rho(\eta) d\eta = \langle N_s \rangle \quad (10)$$

图3是3~210GeV 中微子与核乳胶碰撞的簇射粒子赙快度分布, 图中纵轴用 $\rho(\eta)$ 标度.

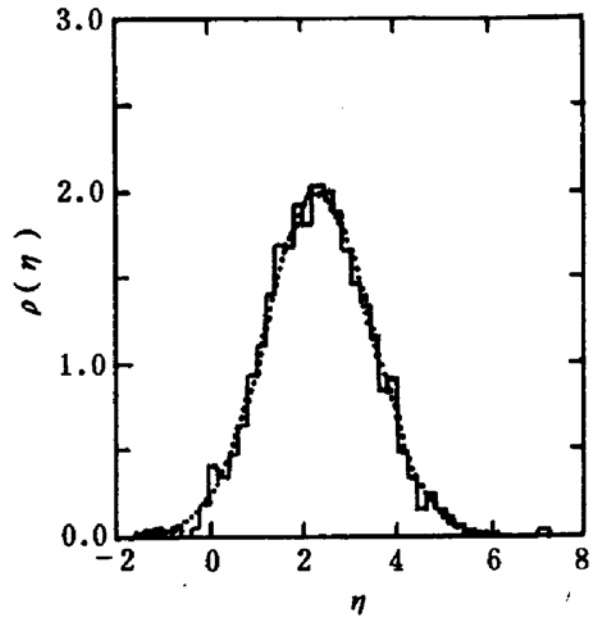


图3 簇射粒子赙快度分布

可以看出, 赙快度分布的峰值在 $\eta = 2.3$ 处, 分布曲线近似左右对称. 经检验, 赙快度分布符合高斯型, 取平均值为 2.3, 宽度为 1.1 时, 得到的高斯分布曲线见图中的点线.

实验结果^[1]表明, 相近能区的 π 介子和质子与核乳胶碰撞的簇射粒子赙快度分布也有类似的特点, 即近似符合高斯型. 近年来得到的高能核核碰撞的赙快度分布^[5]也近似符合高斯型.

为了研究高能中微子与不同靶核碰撞的簇射粒子赙快度分布, 图4中给出了核乳胶中的不同成份 H、C、N、O 和 Ag、Br 相应的结果, 分别见图中的实线、点线和虚线直方图. 可以看出, H 和 C、N、O 两类轻靶核相应的赙快度分布基本重合, 重核 Ag、Br 相应的赙快度分布在高 η 端与 H 和 C、N、O 相应的结果基本重合, 但在低 η 端(靶碎裂区)却出现明显的偏离.

造成重靶相应赙快度分布向靶碎裂区扩展的原因是: 虽然高能中微子在与靶核碰撞时, 主要是与正对着的核子发生碰撞, 与靶观者核子的关系不大, 但产生的簇射粒子会与旁观者核子进行次级碰撞, 或簇射粒子之间

相互碰撞,从而使发射角增大,赝快度变小.对轻靶,次级碰撞效应较小,对重靶,次级碰撞效应较大,表现为赝快度分布向靶碎裂区(低 η 区)扩展.

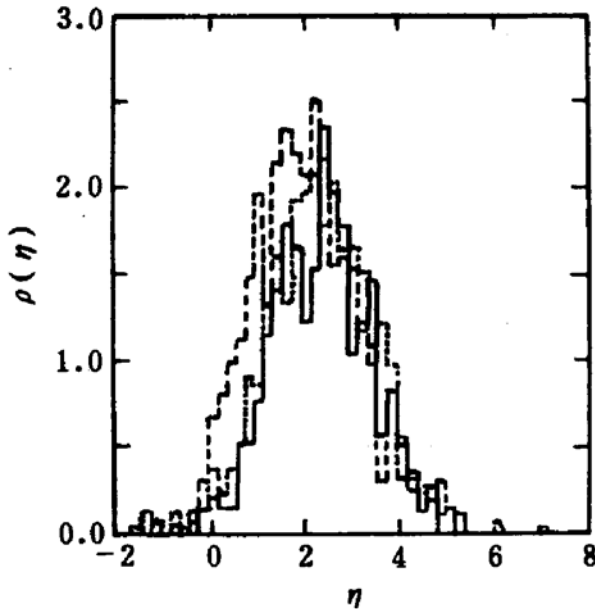


图4 相应不同靶核的赝快度分布

4 结 论

通过对实验数据的分析,可以得到以下结论:(1)高能中微子与核乳胶碰撞的 N_s 分

布和 N_h 分布与相近能区的 π 介子和质子相应的分布类似,但 N_s 和 N_h 的平均值都随入射粒子质量的增大而增大;(2)不同质量靶核相应的多重数平均值 $\langle N_i \rangle$ 与散度 D_i 之间成线性关联,关联线斜率与 i 的具体类别无关;(3)簇射粒子赝快度分布符合高斯型,这与高能强子与核和核核碰撞的结果类似;(4)在高中微子与核乳胶碰撞中,观测到重靶中存在明显的次级碰撞效应.

作者感谢加拿大渥太华大学 J. Hebert 教授、中国原子能科学研究院孙汉城研究员和中国科学院高能物理研究所丁林垵研究员的有益建议和讨论.

参 考 文 献

- 1 Fredriksson S, et al. Phys. Rep., 1987, 144:187及其中所引文献
- 2 孙君芬,刘福虎.山西师范大学学报(自然科学版), 1986,1:43
- 3 Babecki J, et al. Acta Phys. Pol., 1978, B9:495
- 4 Hebert J, et al. Phys. Rev., 1977,15:1867
- 5 Adamovich M I, et al. Proce. of the 10th EMUol collaboration Meeting, Wuhan, China, Sep. 19~21,1991

Multiparticle Production in High Energy Neutrino-emulsion Collisions

Liu Fuhu

(Department of Physics, Shanxi Normal University, Shanxi Linfen 041004)

Sun Junfen

(Hunan Education Institute, Changsha 410012)

Abstract In this paper, the investigate into the multiparticle production in collisions of neutrino with emulsion at high energies is reported. The multiplicity distributions of shower and heavy particles, as well as the pseudorapidity distribution of shower particles are given and discussed.

Key Words neutrino-emulsion collision multiparticle production multiplicity distribution pseudorapidity distribution