

200A GeV ^{32}S 与 Cu 作用 产生的重碎片的角分布

荆贵茹 任国孝

(中国科学院高能物理研究所, 北京 100039)

摘 要

测量了 200 A GeV ^{32}S 核与 Cu 作用产生的重核碎片 P, Si, Al 和 Mg 的角分布, 得出它们的横动量分布宽度 σ_{p_t} 在 130—270 MeV/c 的范围.

一、引 言

在相对论性核-核碰撞中, 大横动量 p_t 的出现被认为是核物质相变的一个信号. 因此对核碎片横动量分布的研究是有意义的. 在超高能宇宙线级联作用的研究中, 核碎片的横动量也是一个重要的输入量.

过去已有几个工作测量了相对论性核-核作用中产生的核碎片的角分布, 给出了核碎片横动量的信息. 早期的研究是在 Bevalac 能区 (1—2A GeV) 进行的, 给出碎片的横动量服从高斯分布. 分布的宽度 σ_{p_t} (与碎片的平均横动量相关) 与束流能量和靶核性质无关^[1], 只依赖于弹丸和碎片的质量, 如下式所示:

$$\sigma_{p_t}^2 = 4\sigma_0^2 M_F (M_P - M_F) / M_P^2, \quad (1)$$

这里 M_P 和 M_F 分别是弹丸和碎片核的质量, σ_0 是一个拟合参数, 约为 160 MeV/c 左右.

近年由于更高能量的重离子加速器 BNL AGS 和 CERN SPS 的建成, 核-核碰撞中核碎片横动量分布的研究也移到了超相对论性能区. P. B. Price 等测量了 14.5 A GeV ^{28}Si 与 Cu 和 Pb 碰撞所产生的核碎片 ($Z_F = 8-13$) 的角分布^[2]. G. Gerbier 等测量了 200 A GeV ^{16}O 与 Pb 碰撞产生的碎片 C 和 N 的角分布^[3]. 这些结果表明, 在 14.5-200 A GeV 能区, σ_{p_t} 仍与能量和靶核性质无关, 也近似满足(1)式的关系.

为进一步研究超相对论性能区 σ_{p_t} 的性质, 我们测量了 200 A GeV ^{32}S 与 Cu 作用产生的核碎片的角分布. 并首次报道了几种核碎片 (P, Si, Al 和 Mg) 的横动量分布宽度.

二、实 验

CERN SPS 的 200 A GeV ^{32}S 束, 垂直照射由铜靶与塑料核径迹探测器 CR-39 相互迭合组成的探测器. 关于探测器的结构, 测量方法和轨迹重建的详细情况, 参看文献[4].

这里选择 5 块 Cu 板及其中放置的 20 片 CR-39 作为一个靶,来测量入射 S 粒子经过靶后的出射粒子(如果未发生改变电荷的作用,出射粒子仍是 S;如果发生了作用,则出射粒子分别是 P, Si, ... 等碎片核.)的偏转角 θ . 靶前的 CR-39 片确定入射 S 粒子的电荷和位置,靶后的两片 CR-39 确定出射粒子的电荷和位置. 粒子位置的测量误差为 $0.66\mu\text{m}$, 由此而引起的偏转角的角分辨为 0.021 mrad . 电荷分辨达到 $0.12 e$. 本实验的样本为 5000 个 S, 1490 个 P, 1104 个 Si, 510 个 Al 和 612 个 Mg 核.

三、结果和讨论

实验测出的核碎片的角度偏转 θ , 包含以下几个方面的贡献:核散裂和电磁分解的横动量,核碎片的多次库仑散射和角度测量误差. 我们要测定的是前面两个过程所导致的横动量分布的 σ_{p_t} , 因此要把多次库仑散射和角分辨的因素扣除.

在图 1 中给出了出射粒子 S, P, Si, Al 和 Mg 的 $\frac{1}{\theta} \frac{dN}{d\theta}$ 分布. 每种碎片的角分布都可以用高斯分布拟合. 其中 S 的角分布,只是由多次库仑散射造成的,其高斯拟合的宽度值 0.0591 mrad 与理论计算值基本一致. 假定所有核碎片的质量数近似为其电荷数的二倍,它们的库仑散射应该与 S 相同. 对其它碎片的角分布进行高斯拟合,所得宽度 σ_{θ} 列于表 1 的第二行. 第三行中给出了拟合的每自由度的 χ^2 值,看来拟合是合理的.

表 1 200 A GeV 的 S 核经过 3.15cm 的 Cu 和 CR-39 塑料片后的 S 及其碎片的角分布和横动量

核碎片电荷	16	15	14	13	12
$\sigma_{\theta}(\text{mrad})$	0.0627 ± 0.0001	0.0768 ± 0.0002	0.0694 ± 0.0001	0.0711 ± 0.0002	0.0681 ± 0.0002
$\chi^2/\text{自由度}$ (高斯拟合)	0.69	0.82	1.17	4.92	1.92
对角分辨修正后 $\sigma_{\theta}(\text{mrad})$	0.0591	0.0739	0.0661	0.0679	0.0648
对多次散射修正后 $\sigma_{\theta}(\text{mrad})$	0	0.0444	0.0296	0.0334	0.0266
$\sigma_{p_t}(\text{MeV}/c)$		266 ± 17	166 ± 23	174 ± 20	128 ± 22

如上所述,我们把碎片的角分布看作三个高斯分布的卷积,这三个高斯分布分别联系于核散裂和电磁分解,多次库仑散射(宽度 0.0591 mrad)和角分辨(宽度 0.021 mrad). 首先对实验数据进行角度测量误差的修正,修正后的结果列在表 1 第四行. 然后对多次库仑

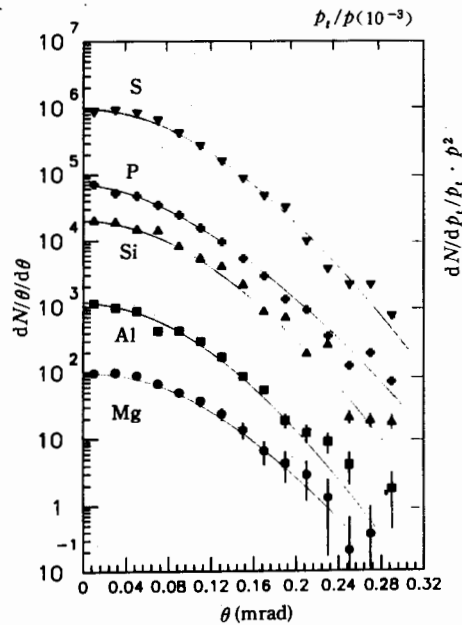


图 1 200 A GeV 的 ^{32}S 经过 Cu 和 CR-39 靶后探测到的弹丸碎片的角分布

图中 P, Si, Al 和 Mg 的数据分别乘以因子 $1/5$, $1/10$, $1/100$ 和 $1/1000$.

散射进行修正, 所得结果列在表1第五行, 这就是我们所要求的角分布的宽度.

由角分布可导出横动量分布. 因为横动量与总动量 p 的比为: $p_t/p = \sin\theta$. 在 θ 很小时, 近似地 $p_t/p \simeq \theta$ (θ 的单位是弧度). 对每种碎片而言, 总动量 p 是一个常数. 因此, 图1的横坐标即是 p_t 除以 p (标在图的上边). 同样可知, $\frac{1}{\theta} \frac{dN}{d\theta} = \left(\frac{1}{p_t} \frac{dN}{dp_t}\right) p^2$. 即图1的纵坐标为横动量分布乘以 p^2 (标在图的右边). 因而碎片的角分布亦即它的横动量分布. 横动量分布的宽度 $\sigma_{p_t} = p \cdot \sigma_\theta$. 由 σ_θ 值得出的 σ_{p_t} 值列于表1中的第六行. 由 σ_{p_t} 值可直接得到平均横动量 (乘以 1.25).

由表1中看出, 弹丸碎片 P 的 σ_{p_t} 值大于其它电荷值较小的碎片的值, 似与式(1)不符. 文献[5]研究了 200 A GeV ^{32}S 与核乳胶的作用, 给出了电磁分解过程 $^{32}\text{S}(\gamma, p)^{31}\text{P}$ 中质子 p 的横动量分布, 由该分布计算出 $\sigma_{p_t} \cong 266 \text{ MeV}/c$. 这表明, 当总能量更高, 碎片质量更大时, 电磁分解的 σ_{p_t} 似乎不能用(1)式描写. 遗憾的是, 文献[5]中没有测量其它碎片的 σ_{p_t} 值, 无法进行更多的比较. 本实验中除 P 以外的其它碎片的 σ_{p_t} 值与文献[2]和[3]中的基本一致. 这进一步说明, 在 200 A GeV 能区, 碎片的 σ_{p_t} 仍然与弹丸能量和靶核性质无关. 但是对于较重的碎片, 如 P 核的较大的 σ_{p_t} 还需进行更多的实验和研究.

本工作的实验部分是在 Berkeley 完成的. 感谢加州大学 Berkeley 分校 P. B. Price 教授和他的实验组的合作和帮助. 数据分析在 高能物理研究所三室 VAX 计算机上完成. 感谢该机组给予的支持和帮助.

参 考 文 献

- [1] D. E. Greiner et. al., *Phys. Rev. Lett.*, **35**(1975), 152.
- [2] P. B. Price et. al., *Phys. Rev.*, **C43**(1991), 835.
- [3] G. Gerbier et. al., *Phys. Rev. Lett.*, **59**(1987), 2535.
- [4] 任国孝, 高能物理与核物理, **15**(1991), 1064.
- [5] G. Singh et. al., *Phys. Rev.*, **C41**(1990), 999.

Angular Distributions of Projectile Fragments Produced in Collisions of 200 A GeV ^{32}S Beam with Cu

JING GUIRU REN GUOXIAO

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

ABSTRACT

Angular distributions of projectile fragments P, Si, Al and Mg produced in collisions of 200 A GeV ^{32}S beam with Cu are measured. The range of σ_{p_t} deduced is within 130—270 MeV/c.