

高能 hA 碰撞的灰粒子与核内 hN 碰撞次数的关联

王海桥 蔡勛

(华中师范大学粒子物理研究所, 武汉)

摘 要

考虑到核内核子的级联碰撞, 我们提出了一个描述灰粒子数分布的模型, 模型较好地符合实验, 说明灰粒子数能更恰当地反映入射强子在核内的碰撞次数.

在有关高能强子-核 (hA) 碰撞的许多模型中^[1], 入射强子 h 在靶核 A 内的碰撞次数 ν_{hA} 是一个重要参数, 如何正确地确定 ν_{hA} 是模型的关键.

灰粒子数 n_g 曾被建议用来描述 h 在 A 内的碰撞次数. 灰粒子是那些速度在 $0.3c$ 到 $0.7c$ 的单电荷粒子, 主要为核 A 内的反冲质子, 对应的能量在 30 到 400MeV 之间.

当入射强子 h 在相当高的能量下与靶核 A 碰撞时, h 几乎沿直线地穿过 A , 沿途与 A 内核子 N 相碰撞. 被 h 撞击的核子称为第一级受撞核子. 第一级受撞核子再撞击 A 内其它核子而产生第二级受撞核子, 如此级联下去. 由于受撞核子获得的能量随级联次数的增加而迅速下降, 所以我们只考虑第一、二级受撞核子对灰粒子的贡献.

h 与靶核 A 内 ν 个核子发生碰撞的几率^[2]

$$f(\nu) = 1/\sigma_{hA} \int d^2b \exp(-T(b))/\nu! T^\nu(b), \quad (1)$$

σ_{hA} 是 hA 碰撞截面, 由归一化条件 $\sum_{\nu} f(\nu) = 1$ 给出

$$\sigma_{hA} = \int d^2b (1 - \exp(-T(b))), \quad (2)$$

式中的 $T(b)$ 是碰撞参数为 b 时对应的剖面函数,

$$T(b) = \sigma_{hN} \int \rho_A(b, z) dz, \quad (3)$$

式中 σ_{hN} 是相同能量下强子-核子的碰撞截面, $\rho_A(r)$ 是核内核子密度分布, 取为 Wood-Saxon 形式^[3].

$$\rho_A(r) = \rho_0 / (1 + \exp((r - R_A)/d)), \quad (4)$$

其中核半径 $R_A = 1.19A^{1/3} - 1.60A^{-1/3}$, 核表面弥散度 d 为 0.55 , ρ_0 由条件 $\int \rho_A(r) 4\pi r^2 dr = A$ 确定.

本文 1989 年 7 月 8 日收到.

*) 本工作得到国家自然科学基金和国家教委优秀青年教师基金资助.

入射强子 h 与靶核 A 内 ν 个核子发生碰撞, 产生 ν 个第一级受撞核子, 由于第一级受撞核子的横动量远小于纵向动量, 它们以很小的散射角向前飞出. 因此第一级受撞核子中的第一个核子将与 A 内其它 $\nu - 1$ 个核子碰撞, 第二个将与 $\nu - 2$ 个其它核子碰撞, \dots , 而第 ν 个将直接飞出核外, 第二级受撞核子数为 $(\nu - 1) + (\nu - 2) + \dots + 3 + 2 + 1 = \nu(\nu - 1)/2$ ^[4], 由于靶核 A 的有限大小, 第一, 二级受撞核子总数 $M(\nu)$ 为

$$M(\nu) = \begin{cases} \nu(\nu + 1)/2 & \nu(\nu + 1)/2 \leq A; \\ A & \nu(\nu + 1)/2 \geq A. \end{cases} \quad (5)$$

设 $q = \beta \cdot z/A$ 为一个受撞核子成为灰粒子的几率, z 是核电荷数, β 是受撞质子成为灰粒子的几率, 为待定参数, 则在 $M(\nu)$ 个受撞核子中出现 n_g 个灰粒子的几率为

$$B_{M(\nu)}(n_g) = \binom{M(\nu)}{n_g} q^{n_g} (1 - q)^{M(\nu) - n_g} \quad (6)$$

根据(1)和(6)式, ν 和 n_g 的联合分布几率为

$$G(n_g, \nu) = N f(\nu) B_{M(\nu)}(n_g) \quad (7)$$

归一化因子 $N = 1 / \left(\sum_{\nu, n_g} f(\nu) B_{M(\nu)}(n_g) \right)$, hA 碰撞中产生 n_g 个灰粒子的几率由下式决定

$$P(n_g) = \sum_{\nu} G(n_g, \nu) \quad (8)$$

在灰粒子数给定的情况下, 核内 hN 碰撞次数的平均值 $\bar{\nu}_{n_g}$ 和偏差 D_{n_g} 分别为

$$\bar{\nu}_{n_g} = \sum_{\nu} \nu G(n_g, \nu) \quad (9)$$

$$D_{n_g} = \sqrt{\bar{\nu}_{n_g}^2 - \bar{\nu}_{n_g}^2} \quad (10)$$

对所有 n_g 求平均, 可得到 hA 碰撞中核内 hN 碰撞次数的平均值 $\bar{\nu}_{hA}$ 和偏差 D_{hA} 分别为

$$\bar{\nu}_{hA} = \sum_{\nu, n_g} \nu G(n_g, \nu) \quad (11)$$

$$D_{hA} = \sqrt{\bar{\nu}_{hA}^2 - \bar{\nu}_{hA}^2} \quad (12)$$

现考虑高能质子-核 (PA) 碰撞, P 与 A 内核子的弹性和非弹性碰撞都可能产生灰粒子. 在计算灰粒子数分布时, 输入质子-核子碰撞 (PN) 总截面 $\sigma_{PN}^{\text{tot}} = 38.5 \text{mb}$ ^[5], 根据(8)式计算了入射能量为 100, 360, 400 GeV PA 碰撞的灰粒子数分布. 图 1 中画出了质子-核乳胶 (PEM) 反应的灰粒子数分布, 在大灰粒子数处, 计算结果很好地符合实验, 在灰粒子数为零时, 计算值略低于实验值, 因为计算中忽略了 Em 中氢靶的贡献. 计算结果与其它模型的比较在图 2a, b 中画出. 在灰粒子数为零和较大时, 我们的计算结果也能较好地反映末态灰粒子数分布.

图 3 和表 1 分别反映了 D_{n_g} 对灰粒子数的依赖关系和 D_{hA} 对靶核的依赖关系. 对于同一靶核, 在给定的 n_g 条件下, 入射质子在靶核内的碰撞次数的偏差 D_{n_g} 明显低于 D_{hA} , 说明在有确定的灰粒子数的事例中, 入射质子在靶核内碰撞次数的分布窄, 即灰粒

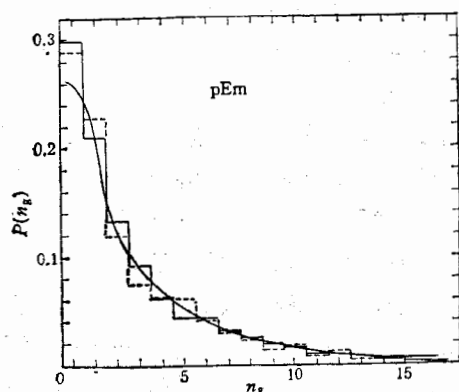


图 1 高能 pEm 碰撞的灰粒子数分布, 实线是我们的计算结果. 直方图为实验数据, 实线直方图取自文献[6], 虚线直方图取自文献[7]. ---400GeV, ——200GeV

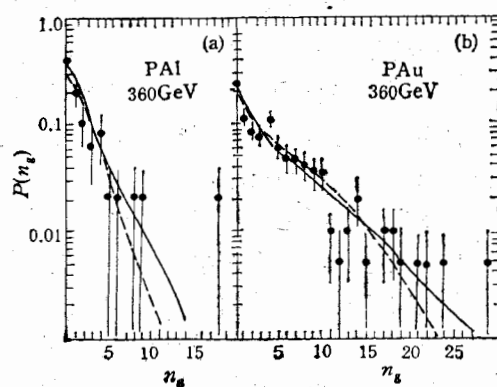


图 2a 和 b 高能 PA 碰撞的灰粒子数分布. 虚线是 Hegab 等人的计算结果[8], 实线是我们的计算结果.

表 1 入射质子在靶核内的碰撞次数的偏差

靶核(质量数)	^{27}Al	^{80}Em	^{197}Au
D_{hA}	1.60	2.21	2.86

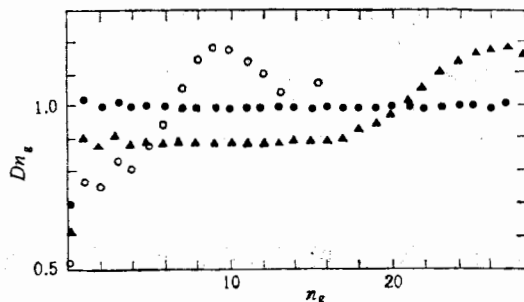


图 3 灰粒子数为 n_g 时, 入射质子在靶核内的碰撞次数的偏差. \circ Al, \blacktriangle Em, \bullet Au

子数可以更恰当地反映入射质子在核内的碰撞次数.

高能 pp 碰撞的实验表明, 靶质子成为簇射粒子和灰粒子的几率几乎相等(50%)^[9], 在高能 hA 碰撞中, 第一级受撞核子的速度快, 主要成为簇射粒子和灰粒子. 但由于第一级受撞核子在通过靶核的过程中还会与靶内其它核子发生碰撞而损失能量, 因此它们成为簇射粒子的几率要低于 pp 碰撞中靶质子成为簇射粒子的几率. 这就是说, 第一级受撞质子成为灰粒子的几率大于 50%. 第二级受撞核子从第一级受撞核子获得能量, 速度较慢, 主要成为灰粒子和黑粒子, 其中大多数受撞核子成为灰粒子. 取一级近似, 我们认为第一、二级受撞核子对灰粒子的贡献相同, 得到参数 $\beta = 0.77$.

关于灰粒子的问题,有一些模型进行了讨论^[10,11]. 在 Otterlund 等人的模型中^[10], 忽略了第一级受撞核子对灰粒子的贡献,这个假设与 pp 碰撞的实验事实不符合. Hegab 等人的模型^[11],注意到了 pp 碰撞的实验事实,考虑了第一级受撞核子对灰粒子的贡献,但他们认为第二级受撞质子全部成为末态观测的灰粒子. 即,他们一方面忽略了第二级受撞核子对末态黑粒子的贡献,另一方面也排斥了第二级受撞核子损失能量,继续与核内的其它核子发生碰撞而造成第三级受撞核子的可能性. 在我们的模型中,计算了受撞核子数和灰粒子数分布,得到的结果好于他们的模型. 我们的模型不仅恰当地用灰粒子数反映了核内级联的碰撞次数,若进一步考虑第三级受撞核子,并且将第一、二、三级受撞核子对簇射粒子、灰粒子和黑粒子的贡献分别处理,初步的计算结果表明,可以统一处理高能强子-核碰撞的簇射粒子、灰粒子、黑粒子谱,详细地讨论将在另文中报道. 另外,在这个模型的框架下,还可以推广到高能核-核碰撞.

感谢刘庸副教授的有益讨论.

参 考 文 献

- [1] W. Q. Chao, M. K. Hegab and J. Hufner, *Nucl. Phys.*, **A395** (1983), 482.
- [2] R. J. Glauber and G. Mathiae, *Nucl. Phys.*, **B21**(1970), 135.
- [3] B. Hahn et al., *Phys. Rev.*, **101**(1956), 1131.
D. R. Yenni et al., *Phys. Rev.*, **95**(1954), 500.
- [4] X. Cai, W. Q. Chao and T. C. Meng, *Phys. Rev.*, **D36**(1987), 2009.
- [5] A. S. Carrol et al., *Nucl. Phys.*, **B142**(1978), 445.
- [6] B. Anderson, I. Otterlund and E. Stenlund, *Phys. Lett.*, **B173** (1978), 343.
- [7] I. Otterlund and E. Stenlund, *Nucl. Phys.*, **B142**(1978), 445.
- [8] J. L. Bailly et al., *Z. Phys.*, **C35**(1987), 301.
- [9] B. J. Babecki and G. Nowak, *Acta. Phys. Pol.*, **B9**(1978), 401.
- [10] E. Stenlund and I. Otterlund, *Nucl. Phys.*, **B198**(1982), 407.
- [11] M. K. Hegab and J. Hufner, *Nucl. Phys.*, **A384**(1982), 353.

CORRELATION BETWEEN GREY PARTICLES AND THE NUMBER OF THE hN COLLISIONS INSIDE NUCLEUS A IN HIGH ENERGY hA INTERACTION

WANG HAIQIAO CAI XU

(Institute of Particle Physics, Huazhong Normal University, Wuhan)

ABSTRACT

Considered the intranuclear cascade, a model for describing the distribution of grey particles in high energy hA interactions is proposed. An agreement between experimental data and the model is obtained in pA interactions and the number of grey particles could be used reasonably to measure the number of hN collision inside A.