

快报

ITEM

质子与核碰撞中长程关联单粒子谱 和 π 凝聚¹⁾

李扬国

(汕头大学)

卢遂现²⁾

(中国科学院理论物理研究所, 北京)

discuss the
re). The
does not

摘 要

用配分温度和玻色-爱因斯坦统计的方法研究质子-核高能碰撞的多重产生。计算了 $P_L = 200 \text{ GeV}/c$ 的 pp, p-Ar 和 p-Xe 的快度分布并与实验比较, 结果良好。同时讨论了在 p-核碰撞时出现 π 凝聚的可能性。

很高能量的粒子碰撞产生了大量粒子。 $n \sim 10$ 至 10^2 。最近在解释强子-强子碰撞时, 发现一些规律和现象, 归纳为:

(i) 多重数分布服从 negative binomial 分布^[1]

(ii) 出射粒子在前半球区和后半球区的长程关联可用随机过程的二项式分布来描述^[2]。

(iii) 粒子的能量分布可引入配分温度的概念^[3,4], 不同的多重数对应于不同的配分温度。

(iv) 当多重数大于某一个临界值 n_c 时, π 凝聚^[5], 或称 π 激光 (Paser)^[6] 机制出现。

有趣的是 (i) (iv) 是属于 π 介子相干产生的现象, (ii), (iii) 是非相干产生现象。在整个碰撞过程中看到混杂着相干和非相干现象。

本文推广上述观点于研究质子与核的碰撞。讨论动量 $P_L = 200 \text{ GeV}/c$ ^[7] 的 pp, p-Ar 和 p-Xe 的实验结果。首先对于这些靶核, 多重数的分布可以用 ϕ_K 分布函数来描述:

$$\phi_K(x) = \frac{K^K}{(K-1)!} Z^{K-1} e^{-KZ} \quad (1)$$

其中 $Z = n/\bar{n}$ 为 KNO 变量, \bar{n} : 平均带电粒子多重数。这个分布称为 negative binomial 分布。对应于 pp, p-Ar 和 p-Xe K 取 3, 2.5 和 2 能很好符合 $P_L = 200 \text{ GeV}/c$ 的实验^[6]。在质子与核的碰撞过程中, 核中有多个核子被碰撞后激发、发射粒子。我们认为

1) 国家自然科学基金资助课题

2) 应中澳科学交换计划来自澳大利亚墨尔本大学物理系。

本文 1987 年 2 月 17 日收到。

发射粒子在前区和后区的分布仍来自随机过程,但要考虑到多粒子碰撞效应.简化上述模型,得到 $\frac{n}{2}$ 对带电粒子在前区有 $\frac{n_F}{2}$ 对粒子在后区有 $\frac{n_B}{2}$ 对粒子的分布表为 $C_{n/2}^{\lambda} \lambda^{n/2} B_n$. λ 为与核的多次碰撞有关的参数.因此,发现在前区有 n_F 个粒子,在后区有 n_B 个粒子的分布几率函数可写为:

$$P(n_F, n_B) = \phi_K \left(\frac{n}{2} \right) C_{n/2}^{\lambda} \lambda^{n/2} B_n \quad (2)$$

其中 B_n 是归一化常数.我们从符合 $\langle n_B \rangle_F$ 与 n_F 关系的实验结果^[6]得到对应于 pp, p-Ar 和 p-Xe 的 λ 值为 0.902, 1.55 和 2.06.

碰撞发生后产生 n 个粒子,绝大多数为 π 介子.可以认为它满足玻色-爱因斯坦统计分布^[4].不难得出:

$$dn_i = \frac{2V d^3P}{(2\pi)^3} - \frac{g(P_\perp)}{A' e^{E/T_{n_i}} - 1} \quad i = F \text{ 或 } B \quad (3)$$

其中 T_{n_i} 是 n_i 个粒子的配分温度. A' 对应于化学势. V 是产生粒子区域的体积.要求满足 $\int dn_i = n_i$. $g(P_\perp)$ 为与横动量有关、起压制性的函数.简单取 $e^{-\alpha P}$. α 由实验定之.取 pp 实验值, $\alpha = 5.5 \text{ GeV}/c^{-1}$ ^[3]. (3) 式用于 pp 碰撞很成功^[4].现在直接推广用于 p-A 碰撞.由于文献 [7] 的快度分布是对应于多重数之和的结果.相对应要计算:

$$\frac{1}{N_{e\nu}} \frac{dN}{dy} = \begin{cases} \sum_{n_F, n_B} \frac{dn_F}{dy} P(n_F, n_B); & \text{(前半球区)} \\ \sum_{n_F, n_B} \frac{dn_B}{dy} P(n_F, n_B); & \text{(后半球区)} \end{cases} \quad (4)$$

其中

$$\frac{dn_i}{dy} = \frac{2R^3}{3\pi} \int \frac{P_\perp m_\perp \cosh(y) \exp(-\alpha P_\perp) dP_\perp}{A' \exp(m_\perp \cosh(y)/T_{n_i}) - 1} \quad (5)$$

$V = \frac{4}{3} \pi R^3$, R 为碰撞区体积对应的半径.我们分别计算了前区和后区的总快度分布.在计算中,对 T_{n_i} 取值的考虑是:因为在前区的粒子主要来自入射的质子而后区主要来自靶核.因此前区的配分温度取与 pp 碰撞同样的结果^[4]

$$T_{n_F} = \frac{\sqrt{S}}{an_F} \quad (6)$$

其中 S 为总能平方.即配分温度比例于每个粒子的平均能量.比例常数取 2.7.在后区, n_B 是由质子与核中 $\bar{\nu}$ 个核子碰撞后产生的.因此每一次碰撞,平均有 $n_B/\bar{\nu}$ 个粒子产生.这样后区的配分温度为

$$T_{n_B} = \frac{\sqrt{S}}{an_B/\bar{\nu}} \quad (7)$$

图 1—3 给出了实验与理论计算的结果.我们看到能够很好地解释实验结果.

发
出
数
0.2
p-2
n =

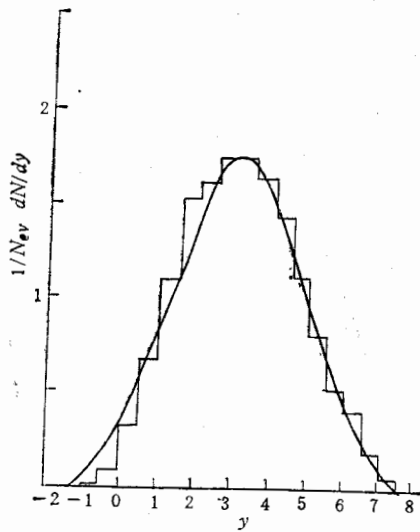


图 1

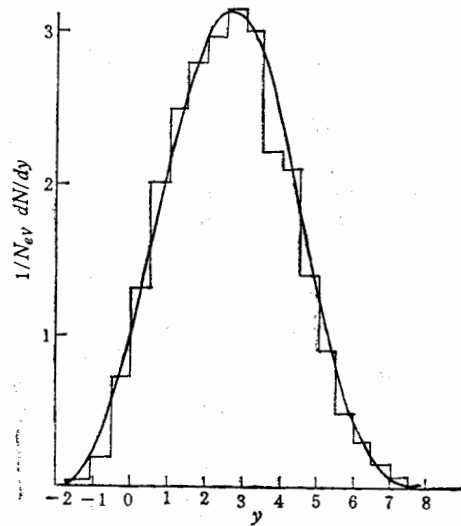


图 2

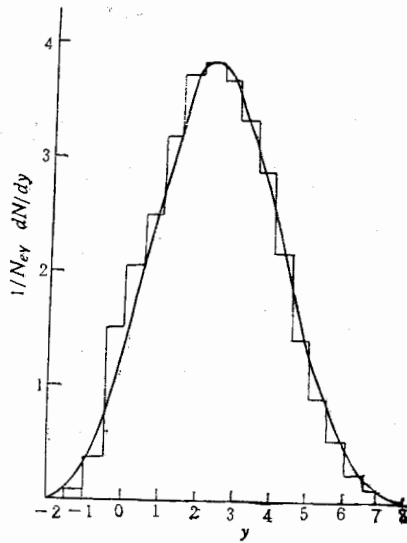


图 3

在 (5) 式中, 对每一个配分温度, 若取 $A' = 1$ 计算. 对快度积分后得出粒子数 $n_i' = \int \frac{dn_i}{dy} dy$, 它为占有激发态的最大值. 实际产生的粒子数 n_i 若小于 n_i' , 则粒子处各个激发态, 未达到临界点. 若 $n_i > n_i'$, 则多出 $n_i - n_i'$ 个玻色粒子必定处于基态. 这时便出现 π 凝聚现象. 因此, $n_i' = n_i$ 时为临界条件. 对应的粒子数 n_c 及温度称为临界粒子数和临界温度. 分别对 pp, p-Ar 和 p-Xe 的计算为 $n_c = 25, 30$ 和 32 , $T_c = 0.29\text{GeV}, 0.246\text{GeV}$ 和 0.233GeV . 临界温度随核的增大略微下降, 而临界多重数在前区由 pp 到 p-Xe 增加约 30%. 这些差别不算大. 而平均多重数 \bar{n} 从 pp 的 $\bar{n} = 7.84$ 到 p-Xe 的 $\bar{n} = 20.67$ 约增加二倍半. 因此在 p-Xe 中产生 $n_F > 32$ 的截面比在 pp 中产生 $n_F >$

25 的截面大得多。故可期望在质子-核中比在质子-质子碰撞更易于出现 π 凝聚。 π 凝聚如果出现, 快度分布函数 $\frac{dn_i}{dy}$ 在 $y \approx 0$ 处将出现陡速上升的结果。我们极盼望实验在大的多重数事例中能够观测到在 $y \approx 0$ 处有如此突然的上升。这些现象在 $70\text{GeV}/c$ 的 K^+p 碰撞中已经出现^[5,9]。在 p-p 或 p-核碰撞实验中, 希望能够看到相似地在能量低于 70MeV 处, 有过多的软光子出现。

参 考 文 献

- [1] G. J. Alner et al., *Phys. Lett.*, **167B**(1986), 476; G. J. Alner et al., *Phys. Lett.*, **160B**(1986), 193.
- [2] T. T. Chou and Chen-Ning Yang, *Phys. Lett.*, **135B**(1984), 175.
- [3] T. T. Chou, Chen-Ning Yang and E. Yen, *Phys. Rev. Lett.*, **54**(1985), 510; T. T. Chou and Chen-Ning Yang, *Phys. Rev.*, **D32**(1985), 1692; T. T. Chou and Chen-Ning Yang, *Phys. Rev. Lett.*, **55**(1985), 1359.
- [4] S. Y. Lo and A. Schreiber UM-P-86/29, Submitted to *Phys. Rev.* for publication.
- [5] S. Y. Lo and A. Schreiber, *Phys. Lett.*, **171**(1986), 475.
- [6] C. S. Lam and S. Y. Lo, *Phys. Rev. Lett.*, **52**(1984), 1184; C. S. Lam and S. Y. Lo, *Phys. Rev.*, **D33**(1986), 1136; C. S. Lam and S. Y. Lo, *Int. Journal of Modern Physics*, Vol. **1**(1986), 451.
- [7] C. De Marzo et al., *Phys. Rev.*, **D26**(1982), 1019; *Phys. Rev.*, **D29**(1984), 2476.
- [8] Li Yang-guo and S. Y. Lo, AS-ITP-86-036.
- [9] P. V. Chliapnitov et al., *Phys. Lett.*, **B141**(1984), 276.

LONG RANGE CORRELATION SINGLE PARTICLE SPECTRUM AND PION CONDENSATION IN PROTON-NUCLEUS COLLISION

LI YANG-GUO

(Shantou University, Shantou)

SHUI-YIN LO

(Institute of Theoretical Physics, Academia Sinica, Beijing)

ABSTRACT

The combination of partition temperature with Bose-Einstein statistics is generalized to describe the proton nucleus collision. The rapidity distribution of pp, p-Ar and p-Xe at $P_L=200\text{GeV}/c$ have been calculated and compared with experiment. The interesting possibility of observing pion condensation in p-A collision is investigated.