

高能氧核诱发作用中粒子关联和 涨落的极限碎裂行为*

CERN/EMU01 国际合作组:

M. I. Adamovich¹³ M. M. Aggarwal¹⁴ Y. A. Alexandrov¹³ N. P. Andreeva¹
 Z. V. Anson¹ R. Arora⁴ F. A. Avetyan¹⁹ S. K. Badyal¹⁸ E. Basova¹⁶
 K. B. Bhalla⁷ A. Bhasin⁸ V. S. Bhatia⁴ V. G. Bogdanov⁹ V. I. Bubnov¹
 T. H. Burnett¹⁵ 蔡勛¹⁸ I. Y. Chasnikov¹ L. P. Chernova¹⁷ M. M. Chernyavski¹³
 G. Z. Eligbaeva¹ L. E. Eremenko¹ A. S. Gaitinov¹ E. R. Ganssaue¹²
 S. Garpman¹¹ S. G. Gerassimov¹³ J. Grote¹⁵ K. G. Gulamov¹⁷ S. K. Gupta⁷
 H. H. Heckman³ 黄红¹⁸ B. Jakobsson¹¹ B. Judek¹⁴ S. Kachroo⁸ F. G. Kadyrov¹⁷
 G. S. Kalyachkina¹ E. K. Kanygina¹ M. Karabova⁶ G. L. Kaul¹⁸
 S. P. Kharlamov¹³ T. Koss¹⁵ S. A. Krasnov⁶ V. Kumar⁷ P. Lal⁷
 V. G. Larinonova¹³ V. N. Lepetan¹ 刘连寿¹⁸ 刘应状¹⁸ S. Lokanathan⁷
 J. Lord¹⁵ N. S. Lukicheva¹⁷ 罗世彬¹⁰ L. K. Mangotra⁸ N. A. Marutyan¹⁹
 N. V. Maslennikova¹³ I. S. Mittra⁴ S. Mookerjee⁷ H. Nasrulaeva¹⁶
 S. H. Nasyrov¹⁶ V. S. Navotny¹⁷ G. I. Orlova¹³ I. Otterlund¹¹
 H. S. Palsania⁷ N. G. Peresadko¹³ N. V. Petrov¹⁶ V. A. Plyushchev⁹
 钱琬燕¹⁸ R. Raniwala⁷ S. Raniwala⁷ N. K. Rao⁸ J. Ravina¹⁷

本文1992年1月25日收到。

* 本工作得到中国国家自然科学基金、国家教委优秀年轻教师基金、霍英东教育基金、瑞典 the Swedish Natural Science Research Council、the International Seminal of Uppsala、德国 the German Federal Minister of Research and Technology、印度 the Department of University Grants Commission of India、美国 USDOE and NSF in USA 和 The Third World Academy of Science (TWRG-277) 的资助。

- 1 (Alma Ata, Inst. of High Energy Physics, Kazakhstan, CIS)
- 2 (中国科学院高能物理研究所, 北京 100039)
- 3 (Berkeley, Lawrence Berkeley Lab, USA)
- 4 (Chandigarh, Panjab University, India)
- 5 (湖南教育学院, 长沙 410012)
- 6 (Duban, JINR, Russia, CIS)
- 7 (Jaipur, University of Rajasthan, India)
- 8 (Jammu, University of Jammu, India)
- 9 (St Petersburg, V G Khlopin Radium Institute, Russia, CIS)
- 10 (临汾, 山西师范大学 041004)
- 11 (Lund, University of Lund, Sweden)
- 12 (Marburg, Philipps University, Germany)
- 13 (Moscow, Lebedev Institute, Russia, CIS)

V. M. Rappoport¹³ J. T. Rhee¹² N. Saidkhanov¹⁷ N. A. Salmanova¹³
 L. G. Sarkisova¹⁹ V. R. Sarkisyan¹⁹ G. S. Shabratova⁶ T. I. Shakhova¹⁴
 D. Skelding¹⁵ K. Soderstrom⁸ Z. I. Solovjeva⁹ E. Stenlund¹¹ S. C. Strausz¹⁵
 L. N. Svechnikova¹⁷ K. D. Tolstov⁶ M. I. Tretyakova¹³ T. P. Trofimova¹⁶
 U. Tuleeva¹⁶ S. Vokal¹⁶ 王海桥¹⁸ 翁智群⁵ R. J. Wilkes¹⁵ 许国发²
 张东海¹⁰ 郑蒲英² S. I. Zhochova¹⁷ 周代翠¹⁸

摘 要

本文系统地研究了每核子从 3.7 到 200 GeV 的束流能区氧核诱发作用中的单粒子赝快度分布和二粒子关联极限碎裂行为。利用阶乘矩与多粒子的赝快度分布的关系、考察了多粒子分布动力学涨落的极限碎裂行为。

一、引 言

近年来,采用阶乘矩方法来研究多粒子产生的动力学涨落特性,引起了人们的极大兴趣^[1]。在最新的高能轻子-轻子、轻子-强子、强子-强子、强子-核和核-核碰撞各种类型的实验中,都观察到间歇现象,发现多粒子产生的末态具有明显的分形结构。但是,这些研究大多数仅局限在粒子产生的中心赝快度区域。本文拟将阶乘矩方法应用到粒子产生的碎裂区域。通过对碎裂区域粒子产生的间歇行为的实验分析,考察“极限碎裂假设”对于动力学涨落是否仍然成立。

“极限碎裂假设”是由杨振宁及其合作者在二十多年前首次提出的^[2]。该假设的主要物理思想是,当入射能量 $E \rightarrow \infty$ 时,碰撞末态的单粒子、两粒子以及多粒子的动量分布,在碎裂区域都趋于极限。实验上,在强子-强子和核-核的碰撞中,通过对于单粒子赝快度分布尾部性质的研究,已经发现不同能量下分布的尾部可以很好地重合在一起,这表明单粒子分布具有极限碎裂性质。然而,在目前已有的核-核碰撞实验中,有关两粒子和多粒子赝快度分布尾部性质的研究很缺乏。本文系统地研究束流能量从 3.7 到 200 A GeV 的氧核诱发作用中的单粒子赝快度分布,同时还着重分析了两粒子关联和动力学涨落的极限碎裂行为。由于阶乘矩与多粒子的赝快度分布密切相关,不仅可以考察动力学涨落的极限碎裂,也可以用来考察多粒子分布的极限行为。

本文分为七节。第二节描述实验装置和实验数据;第三和第四节分别研究单粒子赝快度分布和两粒子关联的极限碎裂;第五节讨论长程关联;第六节分析间歇的极限碎裂行为。结论放在第七节。

14 (Ottawa, NRC, Canada)

15 (Seattle, University of Washington, USA)

16 (Tashkent, Institute of Nuclear Physics, Uzbekistan, CIS)

17 (Tashkent, Physical-Technical Institute, Uzbekistan, CIS)

18 (武汉,华中师范大学 430070)

19 (Yerevan, Physical Institute, Armenia, CIS)

二、实验描述

CERN/EMU 01 国际实验合作组设计了两种核乳胶的曝光方式: 一是束流水平照射, 成型制作称为核乳胶迭; 二是束流垂直照射, 成型制作称为核乳胶室. 有关实验的详情情况见参考文献[3]. 本文中所采用的数据全部为核乳胶迭的测量结果, 其束流核为氧, 能量分别为 3.7A GeV (DUBNA/SYNCHROTRON)、14.6A GeV (BNL/AGS)、60 和 200 A GeV (CERN/SPS). 在乳胶迭的测量中, 采用沿径迹扫描法寻找相互作用事例. 为了减小测量误差, 排除背景的影响, 只挑选距离入射边缘 2—5 厘米处的相互作用事例, 测量其出射粒子的多重数和角度. 测量的精度可达 0.1 快度单位. 表 1 中列出了本文采用的实验数据样本. 有关中心事例的挑选, 采用的判据条件是 $Q_{zd} \leq 3$. 这里 Q_{zd} 的定义为^[4]

$$Q_{zd} = \sum Z_i + N_i, \quad (1)$$

Z_i 是射弹核碎片的电荷, N_i 是在向前锥角 ($\theta < \theta_{zd}$) 内的单电荷粒子的数目. 对于入射能量 3.7、14.6、60 和 200A GeV, 截断角 θ_{zd} 分别为 132、39、10 和 3 毫弧度, 对应的赝快度 $\eta_{zd} = \eta_p + 0.36$. η_p 由下式确定

$$\eta_p = -\ln[\langle p_t \rangle m_p / (2 \langle m_t \rangle P_{inc})], \quad (2)$$

π 介子的平均横动量 $\langle p_t \rangle = 0.34$ GeV/c, $\langle m_t \rangle$ 是 π 介子的平均横质量, m_p 是质子的质量, P_{inc} 是入射动量. 这样, η_p 对应着从射弹系统中发射出来的 π 介子的平均赝快度, 对于能量为 3.7、14.6、60 和 200A GeV 的入射束流, 它的取值分别为 2.36、3.58、4.95 和 6.14. Q_{zd} 代表了射弹核中没有参与核反应的质子, 它可以反映核碰撞的中心程度, 随着 Q_{zd} 减小, 碰撞的中心度增加.

表 1 本文采用的最小无偏和中心事例样本

能量 (A GeV)	事 例 数	
	最小无偏事例	中心事例
3.7	1513	197
14.6	689	107
60.	402	68
200.	530	88

三、单粒子赝快度分布的极限碎裂行为

单粒子的单举赝快度密度分布的定义为

$$\rho(\eta) = (1/N_{ev}) dn_s/d\eta, \quad (3)$$

式中, N_{ev} 为事例数目, $dn_s/d\eta$ 为单位赝快度内的产生粒子数.

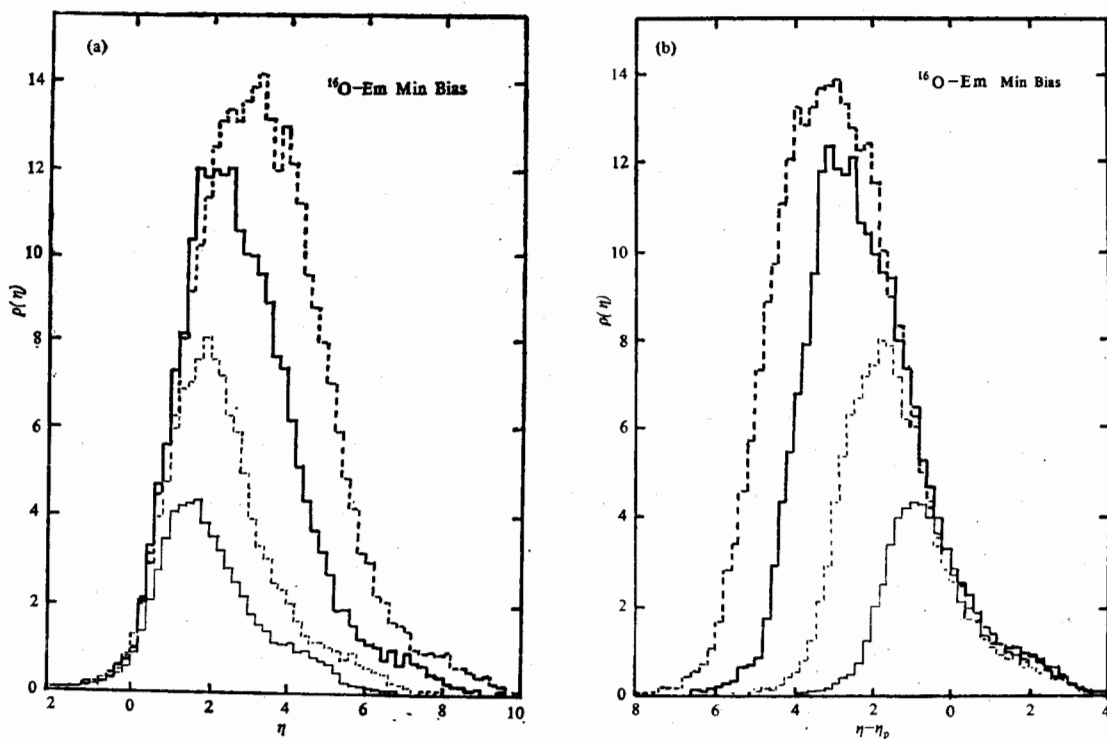


图1 最小无偏事例在(a)靶静止系和(b)射弹静止系的单粒子单举赝快度分布
 —3.7 A GeV, ---14.6 A GeV, —60 A GeV, ---200 A GeV

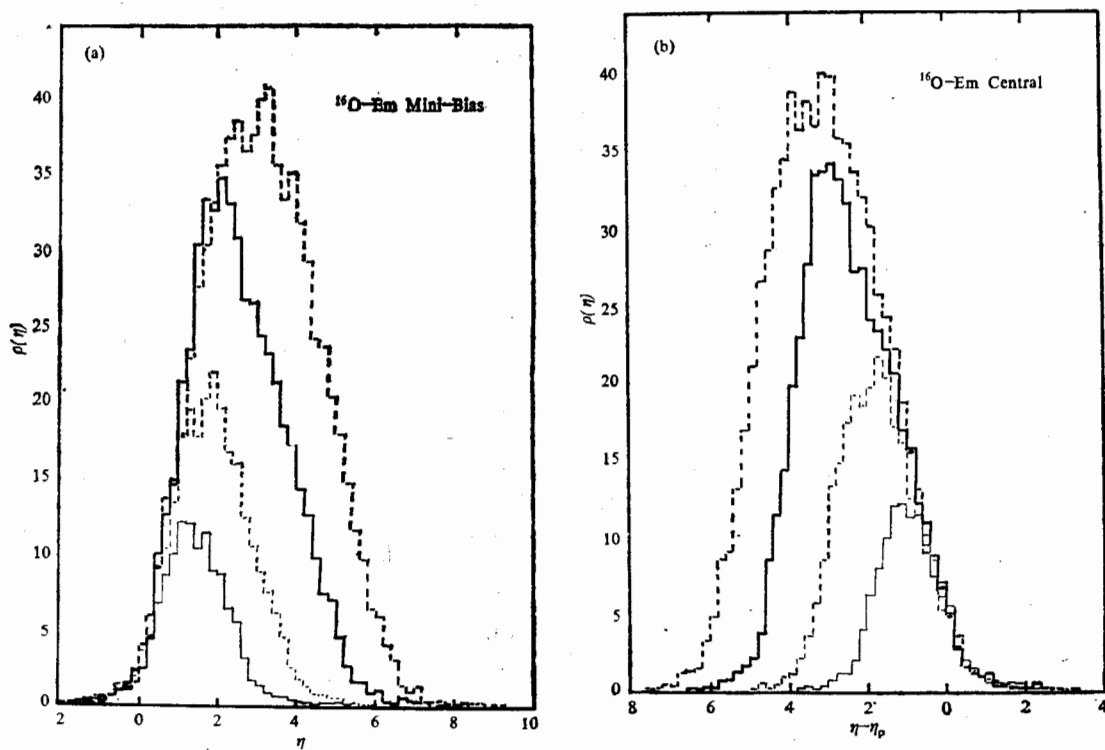


图2 中心事例在(a)靶静止系和(b)射弹静止系的单粒子单举赝快度分布
 —3.7 A GeV, ---14.6 A GeV, —60 A GeV ---200 A GeV

图 1 比较了在靶静止系和射弹静止系中四种能量下最小无偏事例样本的单粒子单举赝快度分布。带电粒子在射弹静止系中的赝快度为 $\eta' = \eta - \eta_p$, 其中 η 对应粒子在靶静止系的测量值。

在图 1(a) 中可以很明显看出, 四种能量下的赝快度分布在赝快度小于 0.5 的范围内是一致的。对于较高能量 (14.6A GeV 以上), 分布一致的赝快度区域可以拓宽至 1; 对于更高能量 (60A GeV 以上), 扩展至 2。能量 3.7A GeV 的分布比高能区的一般趋势稍有偏离。在图 1(b) 中, 给出了四种能量下的最小无偏事例样本在射弹静止系的单粒子赝快度分布。我们可以观察到, 在射弹碎裂区, 赝快度分布也具有能量无关性。从 3.7 到 200A GeV, 能量无关的范围为 $\eta - \eta_p > -1$, 而对于较高能量 (14.6 到 200A GeV), 范围可以扩展至 $\eta - \eta_p > -1.5$ 。图 2 比较了四种能量下中心事例样本在靶静止系和射弹静止系的单粒子赝快度分布。可以看出, 在碎裂区分布也具有能量无关性, 四种分布的一致范围与最小无偏事例样本的范围相似。

四、两粒子赝快度关联的极限碎裂行为

累积矩可以反映出粒子的动力学关联。二阶累积矩 K_2 的定义为 [5]

$$K_2(\eta_1, \eta_2) = \rho_2(\eta_1, \eta_2) - \rho_1(\eta_1)\rho_1(\eta_2), \quad (4)$$

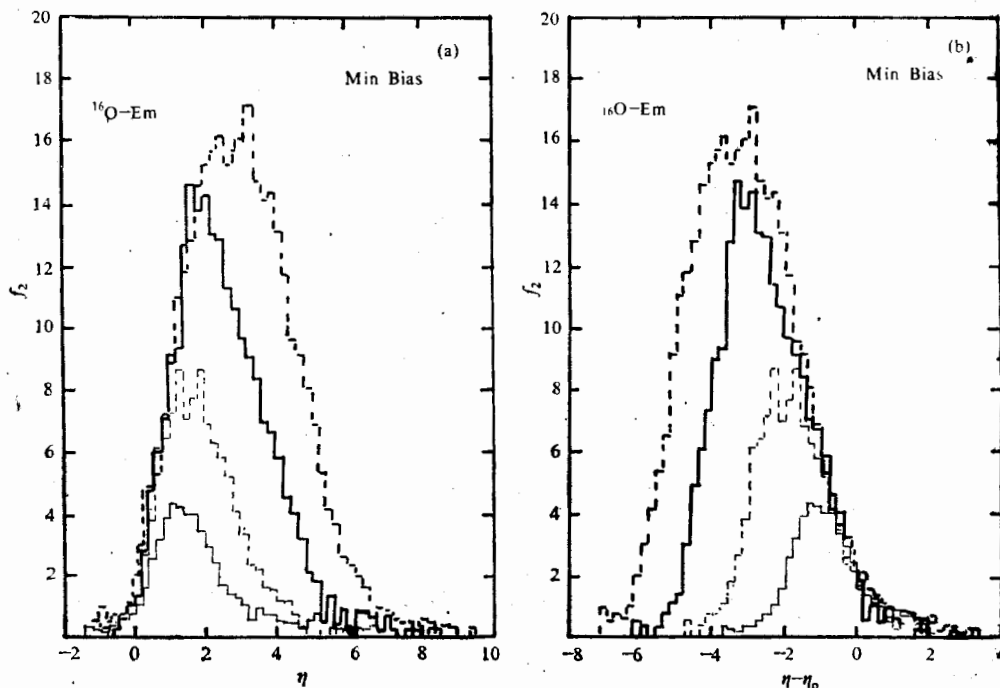


图 3 最小无偏事例在 (a) 靶静止系和 (b) 射弹静止系的两粒子赝快度关联
—3.7A GeV, ---14.6A GeV, —60A GeV, ---200A GeV

式中 $\rho_1(\eta)$ 和 $\rho_2(\eta_1, \eta_2)$ 分别是单粒子和两粒子的赝快度分布, 它们的归一化条件分别为

$$\int_{\Omega} \rho_1(\eta) d\eta = \langle n_s \rangle, \quad (5a)$$

$$\int_{\Omega} \rho_2(\eta_1, \eta_2) d\eta_1 d\eta_2 = \langle n_s(n_s - 1) \rangle. \quad (5b)$$

我们构造一个量 f_2 , 用它反映在赝快度间隔 $d\eta$ 内的两粒子关联

$$f_2 = \sqrt{\langle dn_s(dn_s - 1) \rangle - \langle dn_s \rangle^2} / d\eta. \quad (6)$$

这里, dn_s 是 $d\eta$ 内的粒子数。在碎裂区域, 研究不同能量下 f_2 随赝快度 η 的变化可以考察两粒子关联是否具有极限碎裂。

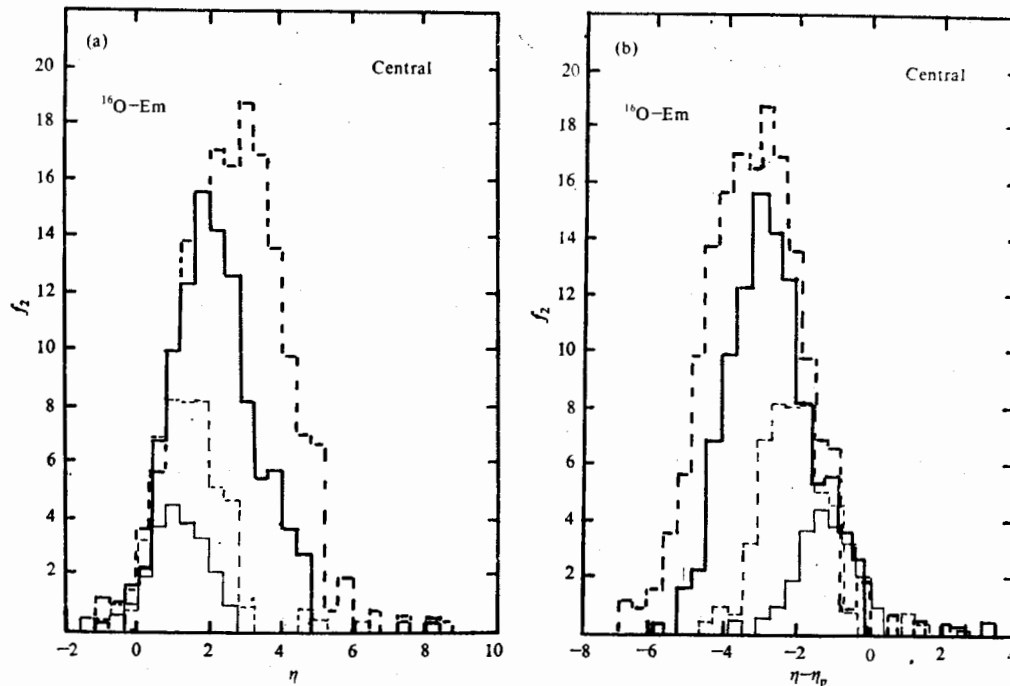


图4 中心事例在(a)靶静止系和(b)射弹静止系的两粒子赝快度关联
—3.7A GeV, ---14.6A GeV, —·—60A GeV, ···200A GeV

图3(a)和3(b)分别给出了3.7, 14.6, 60和200 A GeV四种能量下最小无偏事例样本在靶静止系和射弹静止系的 f_2 - η 曲线。图4(a)和4(b)给出了中心事例样本的 f_2 - η 曲线。它们清楚地显示,在碎裂区域两粒子关联是能量无关的。

五、长程关联的极限碎裂行为

以上两节给出的单粒子赝快度分布和两粒子关联, 都表明碎裂区粒子分布具有能量无关性, 而且能量无关范围随能量的增加而扩宽。对于较高能量, 比如14.6, 60和200 A GeV, 我们选择靶碎裂区范围为 $|\eta| < 1.5$, 射弹碎裂区范围为 $|\eta - \eta_p| < 1.5$ 。在本

节中,我们分别在靶碎裂区和射弹碎裂区考察长程关联是否也具有能量无关性。

长程关联研究的是在向前和向后的两个赝快度区域内的粒子多重数之间的关系。向前和向后赝快度区的定义为,选取快度间隔 $\eta_2 - \eta_1 > 0$, 向前区间为 $\eta > \eta_2$, 向后区间为 $\eta < \eta_1$ 。对数据作线性拟合,前后区间的粒子多重数由下式描述

$$\langle n_F \rangle = b_F n_B + c_F, \quad (7a)$$

$$\langle n_B \rangle = b_B n_F + c_B. \quad (7b)$$

n_F 和 n_B 分别是在向前和向后区间内的粒子多重数, $\langle n_F \rangle$ 和 $\langle n_B \rangle$ 是它们的平均值。 b_F, b_B, c_F, c_B 是拟合参数。关联强度 b_F 和 b_B 大于零时,称为正关联;小于零时,称为负关联。

图 5(a) (b) 分别画出了三种能量下最小无偏事例的向前关联强度和向后关联强度随入射能量的变化。显然,关联强度也具有能量无关性。

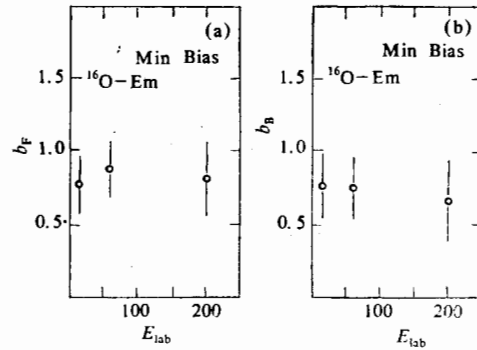


图 5 最小无偏事例的 (a) 向前关联强度 (b) 向后关联强度的能量无关性

六、标度阶乘矩的极限碎裂行为

利用阶乘矩方法可以研究多粒子产生中局域的动力学涨落。本节将阶乘矩方法应用到碎裂区,考察局域动力学涨落是否具有极限碎裂特征。第 i 阶的阶乘矩 F_i 定义为^[6]

$$F_i = M^{i-1} \sum_{m=1}^M \langle k_m(k_m - 1) \cdots (k_m - i + 1) \rangle / \langle k \rangle^i, \quad (8)$$

式中, $\langle k \rangle$ 是赝快度区间 $\Delta\eta$ 内的平均粒子数, $\Delta\eta$ 被等分为 M 个宽为 $\delta\eta$ 的间隔, k_m 是第 m 个间隔内的粒子数。在适当的条件下, F_i 的事例样本平均可以消除统计涨落,反映出动力学涨落。动力学涨落的特征量

$$\phi_i = -d \ln \langle F_i \rangle / d \ln \delta\eta, \quad (9)$$

当 ϕ_i 为正的常数时,我们称这样的系统具有间歇性, ϕ_i 称为间歇指数。我们也称这样的系统具有分形结构,反常维数 $D_i = \phi_i / (i - 1)$ 。在研究碎裂区的动力学涨落时,由于赝快度分布变化很大,存在技术上的困难。对于非平直的快度分布,有的文献^[7]引入修正因子 R_i , 但 R_i 只能近似消除快度分布不均匀的影响。因此,在碎裂区分布急剧变化的情况下,必须采用新的变量进行处理。新变量 χ 的定义为^[8]

$$\chi = \int_{\eta_1}^{\eta} \rho(\eta') d\eta' / \int_{\eta_1}^{\eta_2} \rho(\eta') d\eta'. \quad (10)$$

显然,当 η 从 η_1 变到 η_2 时,相应的 χ 值从 0 变到 1。经过变量变换后,原来比较陡峭的 η 分布变成相当平直的 χ 分布。 χ 分布仍存在一些小的起伏,造成这种现象的原因是由于有限小的赝快度间隔造成的。间歇指数 ϕ_i 可以通过拟合实验数据而得到

$$\ln \langle F_i \rangle = \phi_i (-\ln \delta\chi) + C_i. \quad (11)$$

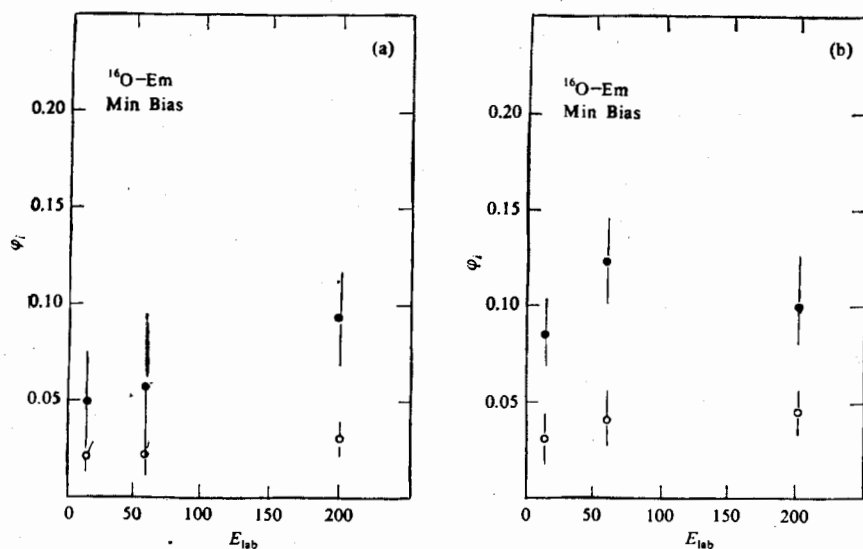


图6 最小无偏事例的间歇指数在(a)靶碎裂区和(b)射弹碎裂区的能量依赖

● $i=3$ ○ $i=2$

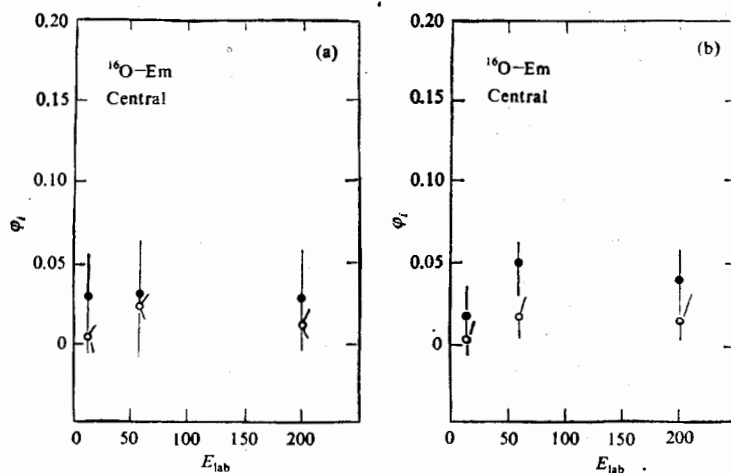


图7 中心事例的间歇指数在(a)靶碎裂区和(b)射弹碎裂区的能量依赖

● $i=3$ ○ $i=2$

图6(a)和图6(b)给出了14.6、60和200 A GeV最小无偏事例在靶静止系和射弹静止系中二阶和三阶间歇指数随能量变化的情况。图7(a)和7(b)是中心事例样本在碎裂区中的间歇指数对入射能量的依赖性。在目前的实验误差范围内，靶区和射弹区的间歇指数似乎与能量无关。进一步的证实还有待于更多的实验数据的积累。

七、结 论

以上的研究表明,从 3.7 到 200 A GeV 的能区范围内,氧核诱发相互作用中的单粒子赝快度分布、两粒子关联、长程关联以及动力学涨落在碎裂区,都存在极限行为。

参 考 文 献

- [1] W. Kittel, Nijmegen Preprint HEN-335/90 and invited review at the XX Int. Symp. on Multiparticle Dynamics, Gut Holmecke, Germany, Sept. 10—14, 1990 and reference cited therein.
- [2] J. Benecke, T. T. Chou, C. N. Yang and E. Yen, *Phys. Rev.*, **188**(1969), 2159.
- [3] FMU01 Collaboration M. I. Adamovich et al., *Phys. Lett.*, **B227**(1989), 285;
S. Garpmann et al., *Nucl. Instr. and Methods*, **A269**(1988), 134.
- [4] EMU01 Collaboration M. I. Adamovich et al., *Phys. Lett.*, **B223**(1989), 262.
- [5] R. L. Liboff, *Kinetic Theory*, prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1989.
- [6] A. Bialas and R. Peschanski, *Nucl. Phys.*, **B273**(1986), 703; *Nucl. Phys.*, **B308**(1988), 857.
- [7] K. Fialkowski, B. Woiek and J. Wosiek, *Acta Physica Polonica*, **B20**(1989), 639.
- [8] A. Bialas and M. Gazdzicki, *Phys. Lett.*, **B252**(1990), 483.

Limiting Fragmentation Behaviours of Correlation and Fluctuation of Particles Produced in High Energy Oxygen-Nucleus Induced Interactions

CERN/EMU01 COLLABORATION

ABSTRACT

The limiting fragmentation behaviour of the single-particle pseudo-rapidity distributions and the two-particle correlations in oxygen-nucleus induced interactions in the energy region from 3.7 to 200 A GeV is systematically investigated, and that of the dynamical fluctuations of multi-particle distribution is studied by using the relation between the factorial-moments and the multi-particle pseudo-rapidity distributions.