

高能原子核碎裂中的矩关联

刘福虎

孙汉城

(山西师范大学物理系 临汾 041004)

(中国原子能科学研究院 北京 102413)

摘要 本文用瓜分客体的方法,得到了¹⁶O和³²S碎裂中碎片电荷分布的条件矩.结果表明条件矩间呈对数关联,且对关联行为本身来说,电磁离解和核反应相应的结果类似,氧核与硫核相应的结果类似.计算结果与3.7和200GeV/u ¹⁶O及200GeV/u ³²S与核乳胶作用的实验数据符合.

关键词 射弹碎片, 电荷分布, 条件矩, 对数关联.

在相对论性核核碰撞中,原子核碎裂(热核多体破碎)是一个重要的实验现象.文献[1]把研究无限系统临界行为的方法^[2]引入热核多体破碎的研究中,并认为热核多体破碎是一种临界现象.定义单事件矩(又叫条件矩)

$$M_k = \sum_{d=d_{\max}} d^k \cdot n'(d) \quad (1)$$

式中, $n'(d) = 0, 1, 2, \dots$ 是在第 j 事件中出现的电荷数为 d 的碎片数目,求和是对除了最大碎片以外的其它所有碎片进行的.定义归一化矩

$$S_k = \frac{M_k}{M_1^k} \quad (2)$$

文献[1]分析了1GeV/u ¹⁹⁷Au在核乳胶中碎裂^[3]的碎片电荷分布的条件矩,认为 $\ln S_3$ 与 $\ln S_2$ 及 $\ln S_5$ 与 $\ln S_2$ 间均呈线性关联.

文献[4]指出,对关联行为本身来说,(1)式中的求和包括与不包括最大碎片区别不大.为方便起见,用包括 d_{\max} 的

$$M_k = \sum_{d=1}^{d_{\max}} d^k \cdot n'(d) \quad (3)$$

代替(1)式.

根据(3)式和(2)式,文献[5]和[6]给出了3.7和200GeV/u ¹⁶O及200GeV/u ³²S与核乳胶作用的 $\ln S_3$ 与 $\ln S_2$ 及 $\ln S_5$ 与 $\ln S_2$ 的关联.结果表明:三次条件矩和二次条件矩间

呈对数关联,五次条件矩和二次条件矩间也呈对数关联;对电磁离解事例和核反应事例,关联行为本身没有太大区别;氧原子核碎裂中的关联行为与硫原子核碎裂中的关联行为一致.

为了研究条件矩间对数关联的实质,人们进行过多种尝试.文献[1]认为,对原子核这样的小系统,条件矩间的对数关联是无限系统临界现象的特征在有限系统保留的痕迹.也就是说,条件矩间的对数关联是系统液气相变的一种反映.文献[1]还用立方晶格链渗流模型得到了1GeV/u ¹⁹⁷Au在核乳胶中碎裂的条件矩间的对数关联.文献[7]和[8]则用重组聚集模型得到了类似的结果.而文献[4]用蒙特卡罗方法,根据核素表和质量守恒与电荷守恒,同样得到了金原子核碎裂中的条件矩间的对数关联,但这种方法与临界现象似无联系.

文献[9]指出,存在于热核多体破碎产物质量分布或电荷分布中的幂级数关系,可以用瓜分客体的方法得到,其中每一种瓜分方法相应的权重因子等于核瓜方法相应的交换数.瓜分客体的方法只是一种简单的数学方法,并不包含物理内容.用这种方法得到的条件矩关联与目前高能量(200GeV/u)的加速器实验结果是否符合,成了人们关心的一个问题.如果二者符合,就意味着从1GeV/u到

200GeV/u 能量范围内,条件矩关联不能作为系统存在液气相变行为的一种判据. 为了回答此问题,本文用该瓜分客体的方法,计算了¹⁶O 和³²S(这是目前加速器能区仅有的两种每核子最高能量的重核束流)碎裂中的条件矩.

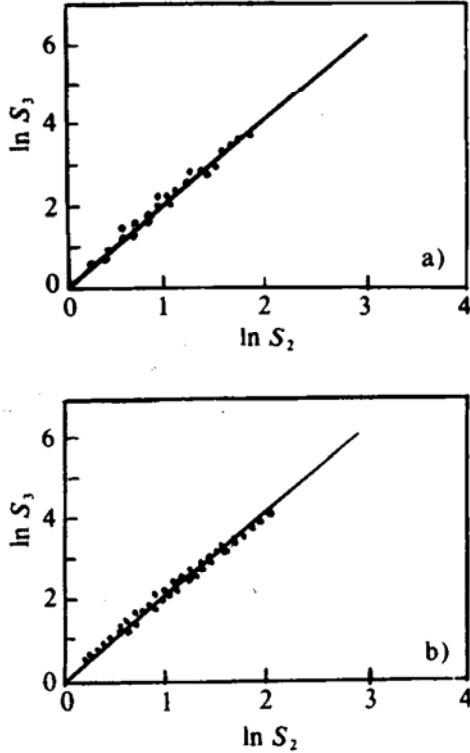


图1 计算得到的¹⁶O 碎裂中的 lnS₃-lnS₂ 关联

对给定电荷数的射弹旁观体来说,它碎裂的各种可能的组态,可在电荷守恒条件下,由瓜分客体的方法得到. 设 $n(d)$ 表示电荷数为 d 的射弹碎片的数目,对于一个可能的碎裂,全部 $n(d)$ 的集合 $\{n(d)\}$ 标志一种组态,这种组态出现的频数,即瓜分的权重,考虑为相应交换数^[9]

$$M_2 = \frac{Q!}{\prod_d n(d)! d^{n(d)}} \quad (4)$$

式中, Q 是射弹旁观体的电荷数, M_2 是数论中的柯西(Cauchy)数. M_2 的归一化条件是

$$\sum_{\{n(d)\}} M_2 = Q! \quad (5)$$

对电荷数为 Q 的射弹旁观体来说,它出现的几率与射弹核的半径 R_B 、靶核的半径 R_A 和碰撞参数 b 有关. 对¹⁶O 和³²S 分别与核乳

胶中的两种主要成份之一的 CNO 碰撞的情形, $0 \leq b \leq R_B - R_A$ 的事例占相应碰撞类型的比率为 $(R_B - R_A)^2 / (R_B + R_A)^2$, 该值分别小于 0.23% 和 2.63%. 可见,在实际计算时,只需考虑 $R_B - R_A < b < R_B + R_A$ 的情形即可. 而对¹⁶O 和³²S 分别与核乳胶中的另一主要成份 AgBr 碰撞的情形, $0 \leq b \leq R_B - R_A$ 的事例没有射弹旁观体,即只需考虑 $R_B - R_A < b < R_B + R_A$ 即可. 由此可见,对¹⁶O 和³²S 在核乳胶中碎裂的情形,碰撞参数的有效取值范围是 $|R_B - R_A| < b < R_B + R_A$, 在 b 的有效取值范围内, Q 与 b 是一一对应的,从两个碰撞核的几何位置关系知道,不同 Q 值出现的几率 $f(Q)$ 正比于相应的碰撞参数 b . 计算表明^[10],在 b 的有效取值范围内,射弹参加者质子数随 b 的增大而减小,即 Q 随 b 的增大而增大,对射弹核不太大的情形, Q 与 b 有近似的线性关系,即 $f(Q) \propto b \propto Q$. 归一化的分布为

$$f(Q) = \frac{2Q}{Z(1+Z)} \quad (6)$$

式中, Z 是射弹核的电荷数.

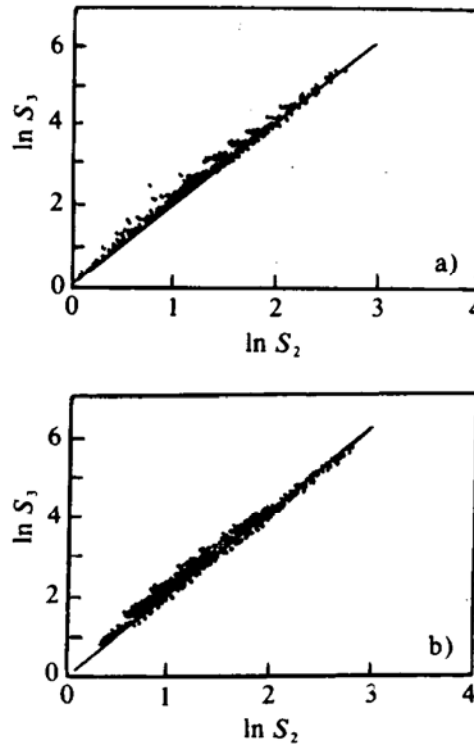


图2 同图1,但是对³²S

考虑到电荷数为 Q 的射弹旁观体出现的几率, 及碎片数为 $n(d)$ 的组态出现的频数, 未态观测到 $n(d)$ 碎裂道的几率为:

$$P[n(d)] = \frac{2Q}{Z(1+Z) \prod_d n(d)! d^{n(d)}} \quad (7)$$

例如, 对 $^{32}\text{S} \rightarrow \text{O} + 4\text{He}$, 由 (7) 式计算的几率为

$$P[\text{O}, 4\text{He}] = \frac{2 \times 16}{16(1+16)1! 8^4 4! 2^4} \approx 3.83 \times 10^{-5} \quad (8)$$

基于上述考虑, 计算了 ^{16}O 和 ^{32}S 碎裂中碎片电荷分布的条件矩. 图 1 和图 2 分别是

^{16}O 和 ^{32}S 碎裂的 $\ln S_3$ 与 $\ln S_2$ 的关联. 图 3 图 4 分别是 ^{16}O 和 ^{32}S 碎裂的 $\ln S_5$ 与 $\ln S_2$ 的关联. 在图 1~4 中, a 和 b 分别对应电磁离解事例和核反应事例. 另外, 图 1~4 中各种关联线的斜率见表 1 的 A 部分, 作为比较, B 部分也列出了实验^[5,6]给出的各种关联线的斜率. 可见, 计算得到的条件矩间也呈对数关联, 且关联行为对不同射弹和不同反应机制是一致的. 比较表 1 中的 A、B 两部分数据知道, 计算结果与实验结果符合得很好.

表 1 各种关联线斜率的计算值与实验值^[5,6]

关联方式	作用类型	$\ln S_3 - \ln S_2$		$\ln S_5 - \ln S_2$	
		电磁离解	核反应	电磁离解	核反应
A	^{16}O 碎裂	2.086	2.062	4.332	4.243
	^{32}S 碎裂	2.067	2.062	4.252	4.234
B	3.7 GeV/u ^{16}O	2.039	2.009	4.162	4.036
	200 GeV/u ^{16}O	2.064	2.003	4.221	4.013
	200 GeV/u ^{32}S	2.054	2.103	4.178	4.376

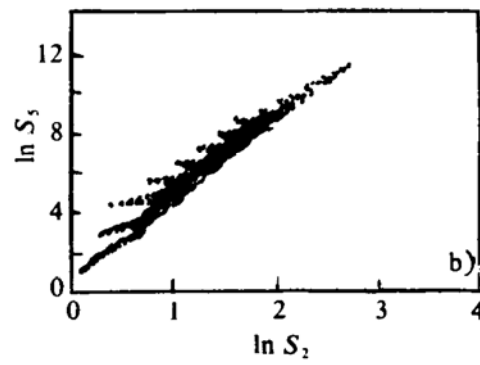
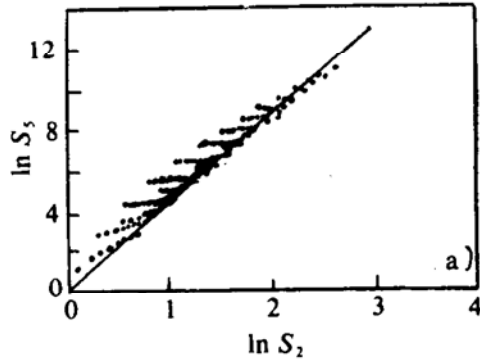
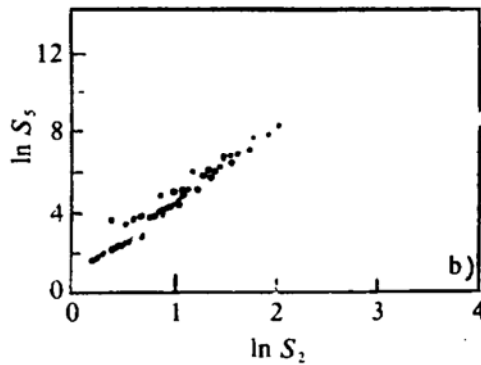
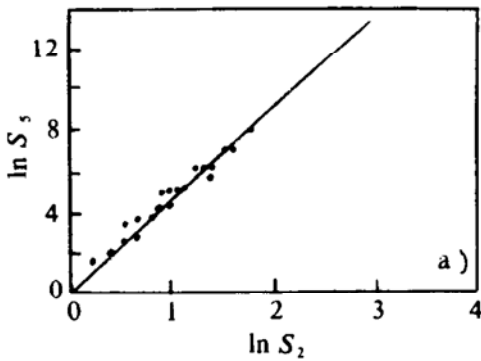


图 3 计算得到的 ^{16}O 碎裂中的 $\ln S_3 - \ln S_2$ 关联

图 4 同图 3, 但是对 ^{32}S

我们应用的这种瓜分客体的方法与临界现象没有联系,也不包含其它物理内容,但还是给出了与实验一致的结果. 这至少说明,在目前能区,条件矩间的对数关联不能作为系统存在液气相变行为的一种判据. 或许这种对数关联反映了原子碎裂过程中带有的某种共同性质.

作者感谢萨本豪、唐孝威、郑蒲英和蔡勳等教授的有益讨论.

参 考 文 献

- 1 Campi X. J. Phys., A. Math. Gen., 1986, 19 : L917
- 2 Stanley H E. Introduction to Phase Transition and Crit-

- ical Phenomena, Oxford 1971, Stauffer D. Phys. Rep., 1979, 54 : 1
- 3 Waddington C J, Freier P S. Phys. Rev., 1985, C31 : 888
- 4 刘洪民等. 高能物理与核物理, 1991, 15 : 1053
- 5 IHEP group, in Proceedings of the 10th EMU01 Collaboration Meeting, Wuhan, China, September 19 ~ 21, 1991.
- 6 刘福虎等. 山西师范大学学报(自然科学版), 1992, 6(4) : 53
- 7 Ngô H, et al. Z. Phys., 1990, A337 : 81
- 8 郑玉明等. 科学通报, 1990, 22 : 1718
- 9 Mekjian A Z. Phys. Rev. Lett., 1990, 64 : 2125, Phys. Rev., 1990, C41 : 2103
- 10 刘福虎. 中国原子能科学研究院博士论文, 1993

Correlation of Moments in Nuclear Fragmentation at High Energy

Liu Fuhu

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

Sun Hancheng

(China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413)

Abstract The conditional moments of the charge distributions of the projectile fragments in ^{16}O and ^{32}S fragmentation behavior are obtained by using a partition method. The logarithmic correlations between the conditional are observed. The electromagnetic dissociations are similar to nuclear reactions for correlation behaviour itself and the correlation behaviours for oxygen nuclei are in agreement with that for sulphur nuclei. The calculated results in agreement with the experimental data of 3.7 and 200 GeV/u ^{16}O -Em and 200 GeV/u ^{32}S -Em interactions.

Key Words projectile fragment, charge distribution, conditional moment, logarithmic correlation.