

快报

热核破碎中的矩关联和临界现象*

刘洪民 萨本豪 郑玉明 陆中道 张孝泽

(中国原子能科学研究院, 北京 102413)

摘 要

本文用蒙特卡罗方法, 根据核素表和质量及电荷守恒律, 产生热核 Au^* 破碎的各种碎块组态, 再对碎块电荷分布作条件矩分析. 理论结果很好地再现了电荷分布实验数据中呈现的条件矩间的对数关联; 但理论关联行为的导出与临界现象似乎没有联系.

研究无限系统的临界现象, 往往借助临界指数^[1]. 譬如某些系统在一定条件下, 其构成物质会凝结成集团; 若集团大小分布的二次以上矩

$$M_k(\varepsilon) = \sum_d d^k n(d, \varepsilon), \quad (1)$$

在临界点 ($\varepsilon \equiv T - T_c = 0$) 处发散, 即

$$M_k \propto \varepsilon^{-\mu_k} \quad (2)$$

(这儿 $\mu_k > 0$ 称临界指数); 则表明系统具有临界行为. 在式(1)中 d 是标记集团大小的量(在热核破碎中指碎块的质量或电荷); $n(d, \varepsilon)$ 是距临界点 ε 处大小为 d 的集团的平均数.

X. Campi^[2] 把上述方法用于热核多破碎(multifragmentation)的研究中; 认为热核多破碎是一种临界现象, 上述 T_c 即该衰变道开启时刻的温度; 并具体分析了 990 MeV/ A ^{197}Au 打乳胶实验中测得的 Au^* 破碎产物的电荷分布^[3]. 在分析中为了避免所难知道的实验事件所对应的温度 T 与 T_c 的距离 ε , 他引入单事件矩(条件矩)

$$M_k^i = \sum_{d \leq d_{\max}} d^k n^i(d) \quad (3)$$

(式中脚码 j 指第 j 事件)和归一化的条件矩

$$S_k^i = M_k^i / M_1^i. \quad (4)$$

分析得到的 $\ln S_2$ 对 $\ln S_3$ 关联结果如图 1(a) 所示; 关联线斜率 $\alpha = 2.25^{[4,5]}$ (如包括裂变事件, 即含 $\ln S_2 > 3$ 的点, $\alpha = 2.06^{[4,5]}$). 他同时还用简单立方晶格链渗流模型(cubic lattice bond percolation model)作了相应计算, 得到 $\alpha = 2.22$, 与实验符合相当好.

Campi 在文章中还指出, 对于原子核这样的小系统, 归一化条件矩间的对数关联(如

本文 1991 年 4 月 4 日收到.

* 国家自然科学基金资助.

$\ln S_2$ 对 $\ln S_3$ 关联等) 是上述无限系统临界现象的特征在有限系统保留的痕迹。换言之, $\ln S_2$ 对 $\ln S_3$ 关联, 是系统具有相变行为的一种反映。这引起了人们的极大兴趣, 成了一热门课题。

H. Ngo 等^[4,5]用重组聚集模型 (restructured aggregation model), 研究 Au^* 破碎产物的质量分布也得到 $\ln S_2$ 对 $\ln S_3$ 关联; 不包括裂变事件的斜率是 $\alpha = 2.23$ 。

另外, A. Z. Mekjian^[6] 提出一个模型, 认为存在于热核破碎产物各种分布中的 Power-law 行为, 用配分 (Partition) 和每个配分的权重等于相应交换数的假设即可得到。若他的想法也能得到 $\ln S_2$ 对 $\ln S_3$ 关联, 那不就意味着这种关联没什么物理内涵吗?

为了澄清这个问题, 我们用蒙特卡罗方法, 根据核素表和质量以及电荷守恒律, 随机地产生 Au^* 的各种破碎组态 (中子数在 1 和 $N_n^{\max} = 39$ 间随机抽样, 质子数在 1 和 $N_p^{\max} = 14$ 间随机抽样, 荷电碎块在 1 和 $N_c^{\max} = 37$ 间随机抽样), 再对所得的电荷分布作 $\ln S_2$ 对 $\ln S_3$ 关联分析, 结果如图 1b 所示。理论结果用线性回归法求得的斜率 $\alpha = 2.04$, 与实验 ($\alpha = 2.06$) 符合相当好。

我们还考察了理论结果对 N_p^{\max} 等三参数的敏感性。保持其它两参数不变而让 N_p^{\max} (N_c^{\max} 和 N_n^{\max}) 改变 $\pm 10\%$ 的结果, 彼此间的差别非常小。可见只要它们合理的选取, 那么理论结果, 特别是关联行为本身, 对三参数的依赖性不大。

正如文献[7,8]所指出, 热核可以通过类蒸发模式、类裂变模式、多破碎模式和气泡化模式等而破碎。各模式间的转化, 特别是多破碎模式的开启, 都对应着热力学量突然的剧

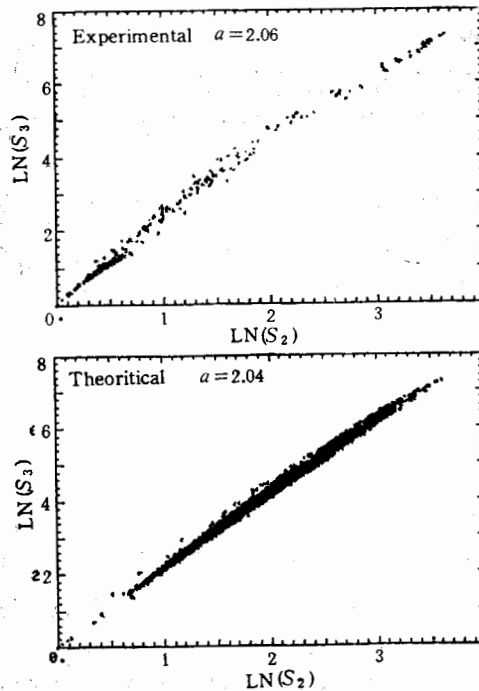


图1 热核 Au^* 破碎的电荷分布的 $\ln S_2$ 对 $\ln S_3$ 关联

(a)实验; (b)理论

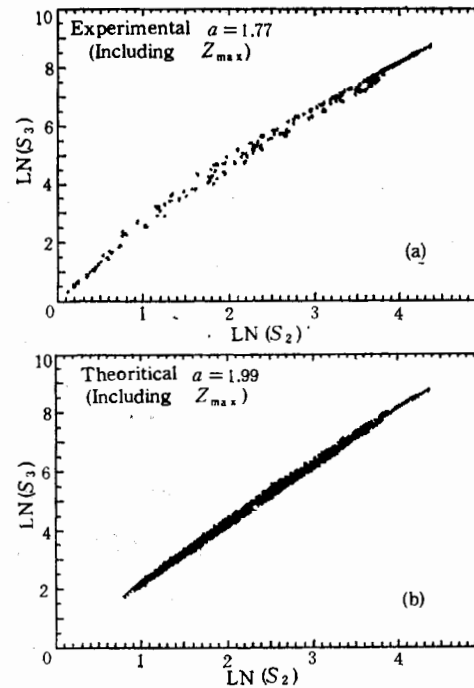


图2 同图1但不包括 Z_{\max} 的结果

烈变化,譬如热核破碎瞬时的激发能对平均温度曲线的坪台结构^[7],或热核破碎瞬时的热容量对温度曲线的峰结构^[8]等。这类热核破碎相变的动力学原因是通过热核破碎瞬时的激发能(温度)和体积(密度)反映的,表现为随着热核破碎瞬时激发能的增加(温度的升高)和或体积的加大(密度的减小)上述模式相继开启并互相竞争。

按上述蒙特卡罗模拟方法产生的热核破碎组态中,虽然有可能识别出只含一个大碎块的类蒸发模式和只含两个大碎块的类裂变模式等,但并不含动力学因素的驱动。所以说我们 $\ln S_2$ 对 $\ln S_3$ 关联的理论结果与临界行为似乎没有联系。

最后必须指出,式(3)对 d 求和不含 d_{\max} ,对进一步研究条件矩和目前研究得非常多的阶乘矩^[9]间的关系很不方便;因此我们去掉此限制做了重复计算。得到的 $\ln S_2$ 对 $\ln S_3$ 关联的实验^[9]和理论结果,如图 2(a) 和 2(b) 所示;相应斜率分别为 $\alpha = 1.77$ 和 1.99 。可见从关联行为本身来说,加不加上述限制影响不大。

至于研究条件矩和阶乘矩间关系的工作,正在进行之中。

感谢 C. Ngo 间接地提供给我们有关的实验数据。

参 考 文 献

- [1] H. E. Stanley, Introduction to phase transition and critical phenomena (Oxford U. P., Oxford, 1971); D. Stauffer, *Phys. Rept.*, **54**(1979), 1.
- [2] X. Campi, *J. Phys. A: Math. Gen.*, **19**(1986), L917.
- [3] C. J. Waddington and P. S. Freier, *Phys. Rev.*, **C31**(1985), 888.
- [4] H. Ngo, C. Ngo, F. Z. Ighezou, J. Desbois, S. Leray and Zheng Yu-Ming, *Z. Phys.*, **A337**(1990), 81.
- [5] 郑玉明, H. Ngo, C. Ngo, S. Leray, *科学通报*, **22**(1990), 1718.
- [6] A. Z. Mekjian, *Phys. Rev. Lett.*, **64**(1990), 2125; *Phys. Rev.*, **C41**(1990), 2103.
- [7] Zheng Yu-Ming, H. Massmann, Xu Shu-Yan, D. H. E. Gross, Zhang Xiao-Ze, Lu Zhao-Qi and Sa Ben-Han, *Phys. Lett.*, **194B**(1987), 183.
- [8] Sa Ben-Hao, Zheng Yu-Ming and Zhang Xiao-Ze, *Inter. J. Mod. Phys.*, **A5**(1990), 843.
- [9] M. Ploszajczak and A. Tucholski, *Phys. Rev. Lett.*, **65**(1990), 1539.

Correlation of Moments and Critical Phenomenon in Disassembly of Hot Nuclei

LIU HONGMIN SA BENHAO ZHENG YUMING

LU ZHONGDAO ZHANG XIAOZE

(*Institute of Atomic Energy, P. O. Box 275, Beijing 102413*)

ABSTRACT

We used Monte Carlo method to generate the configurations of disassembly of hot nucleus Au* based on the Atomic Mass Table and the conservation of mass and charge number. The resulted charge distribution of fragments was then used to calculate the conditional moments. The logarithm correlation between second and third moments of experimental charge distribution is very well reproduced by theory. It seems that no connection to the critical phenomenon of concerned system exists.