

高能质子-核碰撞中碎块的电荷分布*

卢兆启

(中国原子能科学研究院,北京)

D. H. E. Gross (蒂特·格罗斯)

(Hahn-Meitner 研究所,西柏林)

萨本豪 郑玉明

(中国原子能科学研究院,北京)

摘 要

本文用统计模型和蒙特卡洛方法计算了高能质子(几—几百 GeV)与铜、氩以及氦的反应中碎块的电荷分布,并得到了与实验数据相符合的结果。所有的电荷分布都呈高斯型。最可几电荷与质量的依赖关系反映出剩余靶核的某种记忆效应。

一、引 言

近年来,高能重离子反应中剩余靶(余弹)核的散裂机制问题引起人们的关注。在最近的文章^[1-3]中,我们用统计相空间计算和蒙特卡洛技巧研究了碎块的质量分布,能谱以及散裂过程中各种性质与温度的依赖关系。质量分布和能谱都与实验符合得比较好^[1,3]。碎块的多重度以及熵与温度的依赖关系都呈现出一个尖锐的峰,这可能预示着气-液相变的存在。

碎块的质量分布看来比较容易得到与实验符合的结果,因而有不少模型或方法,例如渗透模型^[4]和平均场方法^[5]都能得到符合实验的结果。但是要符合能谱和电荷分布的实验则是困难的,迄今人们还不得不用参数化的方法,例如热液滴模型 [TLDM]^[6],来弥合实验。

众所周知,高能核反应中碎块的电荷分布的研究对于认识核反应机制是十分重要的。我们的方法能重复电荷分布的数据吗?这是人们所关心的。由于在我们的蒙特卡洛模拟中能够给出每一个碎块的确切位置,从而可以容易地计算碎块间的库仑相互作用,因此就可能得到与实验符合的电荷分布。这样,碎块的质量分布,电荷分布,能谱,碎裂过程中各种性质与温度的依赖关系等,都可以用统一的统计模型进行研究。

* 国家自然科学基金资助课题。

本文1986年12月19日收到。

CLES

isions at
projectile
loss suf-
nsidered

在我们的电荷分布计算中没有自由参数,因为我们的统计模型中的两个主要参数(临界体积 V 和临界温度 T),在质量分布的计算中已经确定。

二、计算公式

有关统计模型方面的公式以及蒙特卡洛模拟技巧已在文献 [1] 中给出,这里不再重复。只对两点不同之处说明如下:

1. 与质量数 A 和电荷数 Z 有关的相空间因子 Q_A (见参考文献 [1]) 是用文献 [3] 中的双拉普拉斯变换方法计算的。

2. 在电荷分布的计算中,为了节约计算机时间,首先给定待计算其电荷分布的碎块的质量 A_f ,然后将剩余靶核的剩余质量 ($A_{RT} - A_f$) 随机地碎裂成 $(C_a - 1)$ 块(这里 $A_{RT} = A_T - N$,是剩余靶的质量, A_T 是靶核的质量, N 是入射质子从靶核中直接打出去的核子数, C_a 是总的碎块数)。这样做虽然会引起某种偏差,但是只要抽样数目足够大,这种偏差是能得到弥补的。

在固定碎块质量 A_f 下,最可几电荷 $Z_p^{(MC)}$ 为

$$Z_p^{(MC)} = \frac{\sum_i Z_{fi} W_{fi}}{\sum_i W_{fi}}, \quad (1)$$

这里 Z_{fi} 是质量为 A_f 的第 i 个同量异位素的电荷, W_{fi} 是相应的统计权重(见 [1]), \sum_i 表示对质量为 A_f 的所有同量异位素求和。我们看到这里的 $Z_p^{(MC)}$ 完全由统计权重 W_{fi} 确定;而文献 [7] 的最可几电荷 $Z_p^{(c)}$ 则是由参数化公式给出:

$$Z_p^{(c)} = 0.466 A_f, \quad (2)$$

在文献 [6] 中,最可几电荷 $Z_p^{(3)}$ 由下面的参数化公式给出:

$$Z_p^{(3)} = \left(\frac{1}{2} A_f + X_1 A_f \right) / \left(1 + X_3 A_f^{X_2 - \frac{1}{2}} \right) \quad (3)$$

式中的参数由最小自由能确定。

具有质量 A_f 和电荷 Z_{fi} 的碎块的截面为:

$$\sigma(A_f, Z_{fi}) = \sigma(A_f) W_{fi} / \sum_i W_{fi} \quad (4)$$

这里 $\sigma(A_f)$ 是质量为 A_f 的碎块的截面(见 [1])。

三、结果和讨论

我们用上述方法计算了高能质子与 Cu, Xe 和 Kr 碰撞反应中碎块的电荷分布和最可几电荷与碎块质量的关系。

电荷分布的结果见图 1-4, 其中图 1-2 分别给出了 Cu ($A_f = 50$) 和 Xe ($A_f = 17$) 碎块的电荷分布计算结果与实验结果的比较。图 1 中的实验数据是质子能量为 12 GeV 时的结果,光滑曲线是 $A_f = 50$ 的融合曲线,它们均取自 [7]。图 2 中的实验数据是质子能量为 80—350 GeV 的结果,光滑曲线是 $A_f = 17$ 的热液滴模型 (TLDM) 融合曲线,它们

均取自
我们的理
布(体
围内各

图 1
光滑曲

$\sigma(A_f, Z_{fi})$

参数(临

均取自 [6].

我们现在还没有见到 Kr 的碎块电荷分布的实验数据, 所以在图 3-4 中只给出了我们的理论计算结果. 图 3 是 p + Kr 反应中 $A_f = 41-58$ 质量范围内不同碎块的电荷分布 (体系碎裂时的临界温度 $T = 4.3\text{MeV}$). 图 4 是 p + Kr 反应中 $A_f = 14-25$ 质量范围内各种碎块的电荷分布.

里不再重

状 [3] 中

均碎块的

$A_{RT} =$

的核子

成, 这种

(1)

\sum_i

重 W_{fi}

(2)

(3)

(4)

和最

17) 碎

3eV 时

质子能

它们

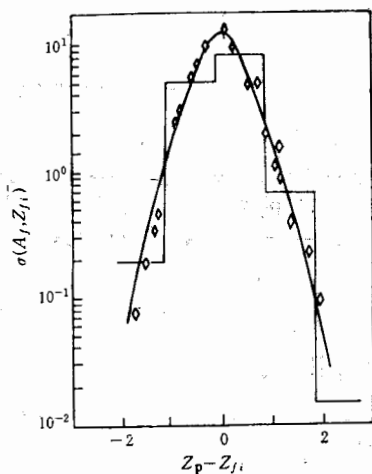


图 1 p + Cu 的电荷分布. 实验数据取自 [7], 光滑曲线为最小二乘法拟合曲线^[7]. 矩形图为本文结果 ($A_f = 50$)

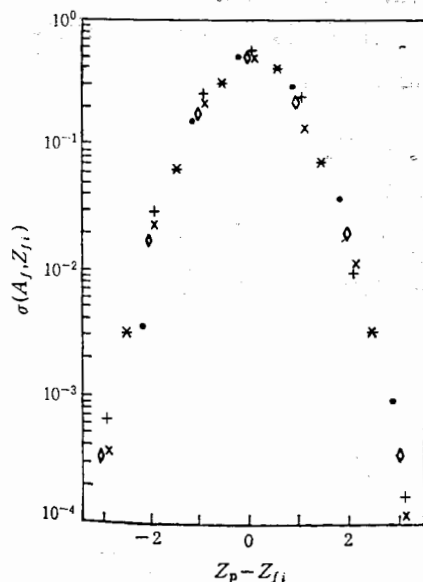


图 3 p + Kr 电荷分布的理论计算结果 ($\times A_f = 41$, $\bullet A_f = 47$, $+ A_f = 50$, $\diamond A_f = 54$, $* A_f = 58$)

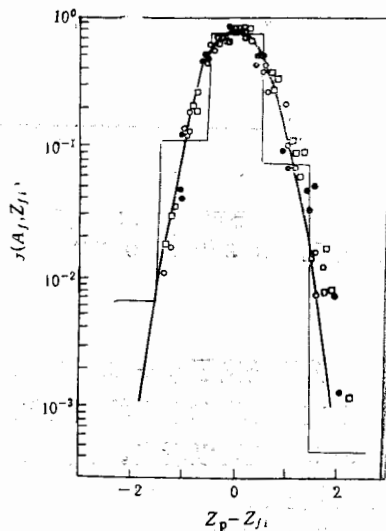


图 2 p + Xe 的电荷分布. 实验数据取自 [6], 光滑曲线为 TLDM 拟合^[6]

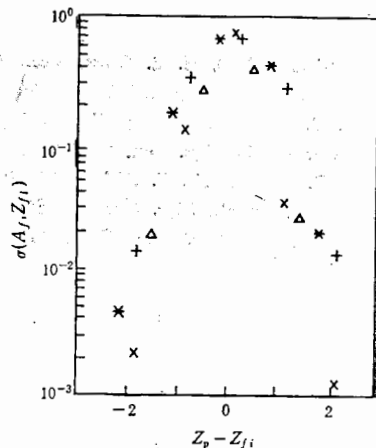


图 4 $14 \leq A_f \leq 25$ 质量范围内, p + Kr 的电荷分布理论计算结果 ($\times A_f = 14$, $\triangle A_f = 17$, $* A_f = 20$, $+ A_f = 25$)

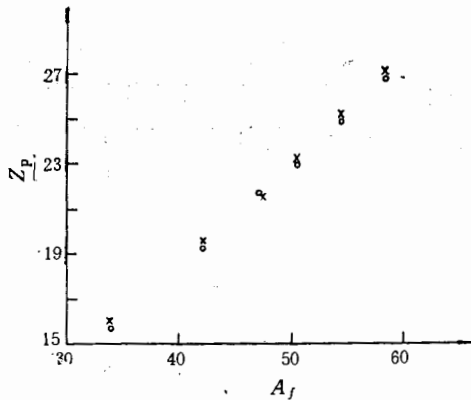


图5 $p + \text{Cu}$ 反应中,最可几电荷 Z_p 与质量数 A_f 的关系. $\times Z_p^{(MC)}$, $\circ Z_p^{(2)}$

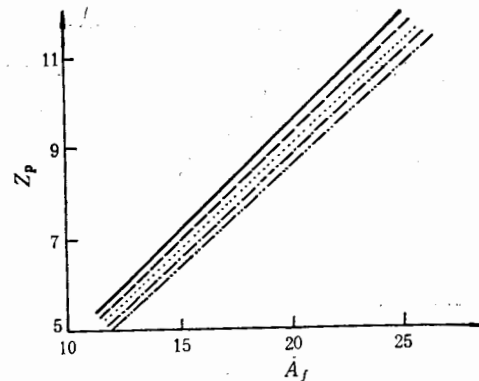


图6 $p + \text{Kr}$ 和 $p + \text{Xe}$ 反应中,最可几电荷 Z_p 与质量数 A_f 的关系. — 最稳定同位素电荷, $\dots Z_p^{(2)}$, $-\dots Z_p^{(MC)}$, $(p + \text{Xe})$, $--- Z_p^{(1)}$, $--- Z_p^{(MC)}$ ($p + \text{Kr}$)

图5—6分别给出了 $p + \text{Cu}$ 和 $p + \text{Xe}$, Kr 的最可几电荷与碎块质量 A_f 的关系,为了便于比较,文献[7]和[6]的参数化结果也一并画于图中。

由图1—2我们可以看出,电荷分布的计算结果与实验的符合是令人满意的,这表明我们所使用的统计模型对电荷分布的计算是行之有效的。

图3表明在 $p + \text{Kr}$ 反应中 $A_f = 41-58$ 质量范围内电荷分布的宽度随质量 A_f 的变化不大,而且各种质量碎块的电荷分布同呈一高斯型。但是图4反映出在 $A_f = 14-25$ 质量范围内,电荷分布的宽度对不同质量的碎块则有较大的差别。

图5表明最可几电荷的计算值 $E_p^{(MC)}$ 和参数化结果非常接近。这也说明我们的统计模型对最可几电荷的计算同样是有有效的。由图6可以看出, $Z_p(\text{Xe})$ 普遍低于 $Z_p(\text{Kr})$,且它们的斜率也略有不同,这反映出剩余靶核的记忆效应。

参 考 文 献

- [1] Sa Ben-hao and D. H. E. Gross, *Nucl. Phys.*, **A437**(1985), 643.
- [2] Sa Ben-hao, Lu Zhao-qi and Zheng Yu-ming, *Nucl. Phys.*, **A451**(1986), 728.
- [3] D. H. E. Gross and Zhang Xiao-ze, *Phys. Lett.*, **161B**(1985), 47.
- [4] W. Bauer et al., *Phys. Lett.* 150B(1984)53, *Nucl. Phys.*, **A452**(1986), 699.
- [5] D. H. E. Gross et al., *Z. Phys.*, **A309**(1982), 41.
- [6] H. T. Porile et al., *Phys. Lett.*, **156B**(1985), 177.
- [7] T. Asano et al., *Phys. Rev.*, **C28**(1983), 1718.

NUCLEAR CHARGE DISPERSION OF FRAGMENTS IN HIGH ENERGY PROTON-NUCLEUS COLLISION

LU ZHAO-QI

(*Chinese Institute of Atomic Energy, Beijing*)

D. H. E. GROSS

(*Hahn-Meitner-Institut, Berlin, West Germany*)

SA BEN-HAO ZHENG YU-MING

(*Institute of Atomic Energy, Beijing*)

ABSTRACT

The charge dispersion of fragments in high energy p+Cu, Kr and Xe reactions are calculated by statistical model and Monte Carlo technique. The corresponding data are reproduced quite well. It is shown that the charge dispersions are all nearly gaussian. The mass dependence of the most probable fragment charge reflects the rest target memory effect.

几电荷 Z_p
元素电荷,
--- $Z_p^{(3)}$,

关系,为

, 这表明

: A_f 的变
= 14—25

门的统计
 $Z_p(Kr)$,