

中能区核物质集体流的研究

贺智勇

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

摘要 本文报道了中能区核物质集体流实验研究中的主要结果，并介绍了确定反应平面的几种方法。在集体流的理论研究方面，本文简述了 BUU、LVUU 和 QMD 计算的一些结果。

关键词 集体流，反应平面，平衡能，状态方程。

1 引言

80 年代以来，核物质集体流的研究是重离子物理研究中的热门课题之一。通过对它的研究可以系统地研究反应动力学、高密度高激发核物质的粘滞性和压缩性，并试图研究核物质状态方程等。集体流的研究最早是在高能重离子碰撞中开始的，并得到了一大批实验数据。这些实验结果表明，在高能下观察到正流的存在，且随着入射能的降低，集体流变小。随后，D. Kofcheck 等人^[1]把入射能向中能扩展，发现在 50MeV/u 的 $^{139}\text{La} + ^{139}\text{La}$ 反应中集体流的消失。1990 年，美国 MSU 实验组^[3]和法国 GANIL 实验组^[3]相继报道了他们在中能区的 Ar+V 反应^[2]和 Ar+Al 反应^[3]中的结果，并都观察到了流的消失。最近，我们^[4]在 GANIL 又作了两组实验来进一步系统地研究中能区的核物质集体流：55~95MeV/u 的 Ar 轰击 Al、Ni 靶和 36~79MeV/u 的 ^{64}Zn 轰击 Al、Ti、Ni 靶。本文主要介绍目前国际上中能区集体流研究中实验和理论方面的进展以及主要结果。

2 反应平面的确定方法

集体流的实验测量是根据横向动量在反应平面内的投影（即边流）。反应平面确定的正确与否直接影响着集体流的实验观测。迄今为止，人们提出了若干种确定反应平面的方法，如球形张量法、横向动量分析、方位角

关联法、类弹碎片法及裂变平面法等。

2.1 球形张量方法

该方法^[5]是通过将动量张量 F_{ij} 对角化

$$F_{ij} = \sum_{v=1}^N \omega_v P_i(v) P_j(v)$$

其中， N 是该事件中的粒子数， $P_i(v)$ 是粒子动量的笛卡尔分量， ω_v 为权重因子，典型值取 $1/2m_v$ 。反应平面即为包括该椭球的主轴和束流的平面。

2.2 横向动量分析

在该方法中，利用粒子的横向动量定义了一矢量 \vec{Q} ^[6]。

$$\vec{Q} = \sum_{v=1}^N \omega_v \vec{P}_v^\perp$$

此处 \vec{P}_v^\perp 为粒子的横向动量，权重因子 ω_v 的选取是为了减少 \vec{Q} 与真实反应平面间的涨落。包含矢量 \vec{Q} 和束流轴的平面即为反应平面。我们利用 57MeV/u 的 ^{64}Zn 轰击 ^{27}Al 的实验数据分析，发现当 ω_v 选某值时（例如： $\omega_v = Y_v - Y_{cm}$ ， Y 为粒子的快度^[4]），横向动量分析和球形张量法得到的反应平面是相同的。

2.3 方位角关联法

该方法^[7]是先任意给定一反应平面，得出各粒子在该平面中的出平面流。旋转反应平面直至出平面流为最小值，此时的反应平面即为得到的反应平面。同样利用 $^{64}\text{Zn} + ^{27}\text{Al}$ 的实验数据比较，发现方位角关联法得到的集体流小于横向动量分析测得的集体流。

2.4 类弹碎片法和裂变平面法

对于轻反应系统，可以利用重类弹碎片来

确定反应平面。对于重系统,当测量到裂变碎片时,可以利用裂变平面作反应平面。沈文庆等人利用实验数据和蒙特卡洛模拟比较了类弹碎片法和横向动量分析法,发现前者不如后者。因为与类弹碎片法相比,横向动量分析利用了每个事件的所有信息。

综上所述,目前最适合用于中能区确定反应平面的方法仍是横向动量分析法。

3 集体流研究的主要实验结果

3.1 集体流与碰撞参数的关系

集体流随碰撞参数 b 变化而变化。在中心碰撞时,集体流很小。随着 b 的增大而增大,在半中心半周边碰撞时流最大,在周边碰撞时流又变小了,直至擦边碰撞时流接近于零。此外,集体流随出射碎片的增重而增大。

3.2 集体流随入射能的变化

在中能区,集体流与轰击能强烈有关。在 40MeV/u 以上,集体流的绝对值随着入射能的增加而下降,直至某一能量点集体流消失。这是由于库仑平均场的主导作用在逐渐下降,核子核子相互作用在逐渐起作用。在 40MeV/u 以下,集体流又变小了。图 1 给出了 Ar+Al 系统在碰撞参数为 1.6fm 时流的激发函数图^[3]。

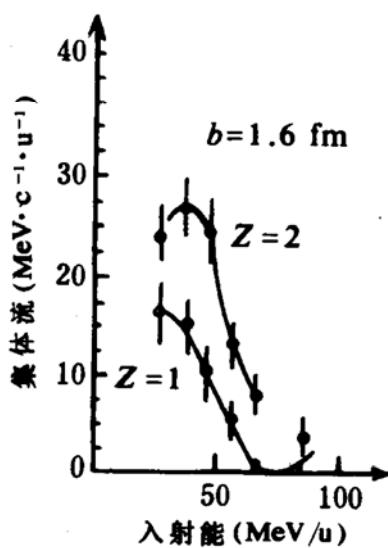


图 1 Ar+Al 反应中集体流随入射能的变化关系

3.3 集体流的消失

当核内库仑平均场作用与核子核子相互作用达到平衡时,集体流便消失了,此时的入射能叫做平衡能。目前,已在 La+La , Ar+Al , Ar+V , Zn+Al , Zn+Ni 等系统的实验中观察到了流的消失。反应系统不一样,平衡能便不一样。且平衡能随碰撞参数的变化而变化,对同一反应系统,周边碰撞下的平衡能高于中心碰撞下的平衡能。

4 集体流的理论研究

根据中能区集体流研究的实验结果,尤其是集体流的消失,人们利用 BUU、QMD 和 LVUU 进行了一系列的理论研究。

4.1 集体流与状态方程的关系

集体流与状态方程的关系是通过压缩系数 K 联系起来的。早期的 Boltzmann 方程计算表明集体流与状态方程强烈有关。在 LVUU 计算中,Gogny 力中的一套参数经修改后被用来研究流和状态方程的关系,计算表明流值对 K 很不灵敏^[8]。在最近的 BUU 计算中也同样观察到了这种情况^[9],对于中心碰撞,当 K 分别取软势和硬势时流值不变。然而,在半周边碰撞时,流值却随 K 值的变化而变化。因此,能否从核物质集体流的测量去探讨核状态方程,仍是一个值得研究的问题。它需要更进一步的理论计算,例如利用动量相关的力来描述核相互作用。

4.2 集体流与媒介内核子核子截面灵敏性

无论是 LVUU 计算还是 BUU 计算都表明集体流随着媒介内核子核子截面 σ_{NN} 的变化而急剧变化,通过测量集体流可以确定 σ_{NN} 值。例如:结合实验数据利用 BUU 计算得到 Ar+V 系统的 σ_{NN} 约为 $30\sim 40\text{mb}$ 。

4.3 平衡能与反应系统质量的关系

Landau-Vlasov 计算^[8]表明平衡能随反应系统质量 A 的增加而下降。对于对称系统而言,在相同的碰撞参数下,平衡能随 $A^{-\frac{1}{3}}$ 线性递增。图 2 显示了在中心碰撞下平衡能

随系统质量的变化关系,横坐标为 $A^{-\frac{1}{3}}$,同时也标出了对应的 A 值,虚线即为平衡能的 $A^{-\frac{1}{3}}$ 关系.

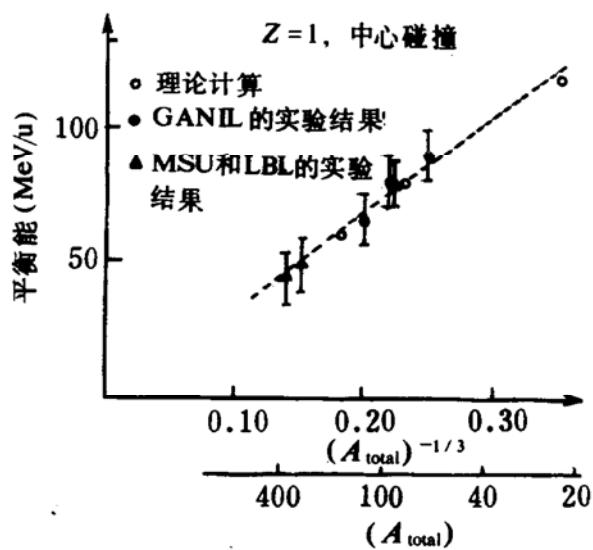


图 2 平衡能随反应系统质量的变化关系

5 结束语

集体流的消失是中能区重离子碰撞的一

大特点,它体现了核内库仑平均场作用和核子核子相互作用刚好达到平衡.随着入射能的增加,集体流以负值向正值的转变,反映了核内相互作用由库仑平均场为主导逐渐向核子核子作用为主导的变化.BUU 理论计算能很好地描述这一变化规律.迄今为止,能否以测量集体流去研究状态方程是一个值得探讨的问题,它需更进一步的理论计算,尤其是有必要利用动量相关的力来描述核相互作用.

参 考 文 献

- 1 Krfcheck D, et al. Phys. Rev. Lett., 1989, 63 : 2028
- 2 Ogilvie C A, et al. Phys. Rev., 1990, C42 : R10
- 3 Sullivan J P, et al. Phys. Lett., 1991, B249 : 8
- 4 Angelique J C, et al. Proceedings of XXXI International Winter Meeting on Nuclear Physics, Bormio (Italy), 1993
- 5 Gyulassy M, et al. Phys. Lett., 1982, B110 : 185
- 6 Danielwicz P, et al. Phys. Lett., 1985, B157 : 146
- 7 Wilson W K, et al. Phys. Rev., 1992, C45 : 738
- 8 De La Mota V, et al. Phys. Rev., 1992, C46 : 677
- 9 Xu Hong Ming. Phys. Rev. Lett., 1991, 67 : 2769

Study of Collective Matter Flow in Intermediate Energy

He Zhiyong

(Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, LanZhou, 730000)

Abstract The main results of experimental study of collective matter flow at intermediate energy are reported and the several methods of reaction plane determination are also described. On the theoretical studies of flow, a short review on the results of BUU, LVUU, QMD calculations is given.

Key Words collective flow, reaction plane, balance energy, equation of state.

第 106 号元素更名

总部设在英国剑桥的国际纯粹化学和应用化学联合会是最后决定元素名称的权威性组织.它最近宣布,元素的名称应该用于纪念已故的著名科学家,不使用其发现者之一的姓氏命名.该组织目前确认,第 106 号元素名称不再使用目前健在的美国化学家格·西博格(Seaborgium)的姓氏,正

式名称应改为一位已故著名英国核物理学家欧纳斯特·拉瑟福德(rutherfordium)的姓氏.

(中国科学院近代物理研究所 蒋西红摘编)