

粒子横向动量模的关联对粒子群关联的贡献*

Contribution of Correlations of Transverse Momentum Magnitude of Particles to Particle-group Correlations

张伟刚

Zhang Weigang

(广西工学院教务处 柳州市东环路 545005)

(Dean's Office, Guangxi Institute of Technology, Donghuanlu, Liuzhou, Guangxi, 545005)

摘要 提出一种新的唯象集合流事件模拟方法,该模拟方法同时考虑了粒子分布的方位角关联和横向动量模关联。采用粒子群关联函数方法分析了 $2.1 \text{ A GeV Ne}^+ \text{ NaF}$ 碰撞的 Bevalac 流光室 4π 实验数据中粒子横向动量模关联对集合流及高阶集合流关联的贡献。研究表明:少数携带较大横向动量的粒子(或碎片)可以产生集合流效应,但高阶集合流关联确不受其支配,而是多数关联粒子(或碎片)集体贡献的结果。对于这组碰撞实验,粒子分布的方位角关联相对横向动量模关联在粒子群关联中起着主要作用。

关键词 集合流 粒子群关联 横向动量模关联 高阶集合流关联

中图法分类号 O 412.2

Abstract A new simulative method of phenomenological collective flow events is proposed, which involves both the azimuthal correlations of distribution and the correlations of transverse momentum magnitude of particles. Using the method of particlegroup correlation's function, the contributions of the correlations of transverse momentum magnitude of particles on collective flow and high-order collective-flow correlations are analyzed with 4π data for $2.1 \text{ A GeV Ne}^+ \text{ NaF}$ collisions at the Bevalac stream chamber. Our studies indicate that the minority of correlated particles (or fragments) with larger transverse momentum magnitudes can produce the effect arising from the collective flow and the effect arising from high-order collective flow correlations can not be dominated by these minority of particles (or fragments), but by the collective contribution of the majority of correlated particles (or fragments). Comparing with the correlations of transverse momentum magnitude, the azimuthal correlations of particles distribution dominate particle-group correlations in this experimental data samples.

Key words collective flow, particle-group correlations, correlations of transverse momentum magnitude, high-order collective-flow correlations

高能重离子碰撞中产生的集合流为分析核媒质在高温、高密度状态下的特性。研究核媒质态方程提供了重要的信息^[1]。根据末态粒子的动量分布,人们已经建立了多种有效的集合流分析方法,在理论研究与实验分析上均取得了重大进展。具有代表性的方法如椭圆张量法^[2,3]、横向动量分析法^[4~8]、方位角分布函数法^[9,10]、方位角关联函数法^[11~13]、横向运动关联函数法^[14,15]及粒子群关联函数法^[16,17]等。将上述

诸方法深入剖析,可以归纳出两个显著的特点:一是普遍采用比较敏感的“流参量”来描述集合流的“强度”,二是通过高阶集合流关联来揭示集合流的“集体性”。集合流的“强度”从量的方面反映了集合流的特征,而集合流的“集体性”则从更深的层次上反映了集合流的本质,它们是描述集合流性质的两个不可分割的方面,并且与末态粒子的非对称横向运动密切相关^[13~15]。

方位角关联函数法建立了通过粒子的横向集体关联研究集合流的思想,从横向上定量分析了集合流的集体性。文献^[14,15]采用方位角关联函数与横

1998-03-05收稿,1998-05-25修回。

* 广西青年科学基金资助项目(项目编号:桂科青 9811016)。

向动量模关联函数方法,分别研究了关联阶 $N = 2$ (低阶关联) 时由方位角或横向动量模两种因素各自对集合流的作用程度;然而,对 $N > 2$ (高阶关联) 时的情况未继续进行研究。文献 [13] 采用唯象的方法分析了关联阶 $N = 2-8$ (低、高阶关联) 时的方位角关联对高阶集合流关联的贡献;然而,由于只是利用了末态粒子的方位角信息而没有计及粒子的横向动量模因素,因而不能检测横向动量模对集合流的作用程度。文献 [8] 和 [16] 虽然计及了粒子方位角和横向动量模两种因素,但未将其分离分析,因此也不能检测横向动量模对集合流及对高阶集合流关联的作用。因此,寻求一种恰当的方法,定量检测粒子横向动量模的关联对集合流及对高阶集合流关联的作用,从而进一步揭示高阶集合流关联与集体性之间的内在联系是集合流研究领域中有意义的课题

本文首先对实验事件及理论模型进行简介,然后,基于文献 [13], 建立一种新的唯象集合流事件模拟方法,并产生蒙特卡罗模拟事件;进而,采用粒子群关联函数方法对比分析实验事件中横向动量模的关联对集合流及对高阶集合流关联的作用;最后,给出本文的结论

1 实验事件及理论模型简介

实验上,本文对 Bevalac 流光室的 4π 实验事件 $2.1 \text{ A GeV } \text{Ne} + \text{NaF}$ 反应进行分析。关于实验的详尽描述可参见文献 [18, 19] 对于 $\text{Ne} + \text{NaF}$ 碰撞,共得到带电粒子的多重数大于 13 的事件 2 707 个。对应于简单的几何图象,其碰撞参数的范围是 $0 \sim 5.0 \text{ fm}$ 为了避免粒子质量鉴别的失误,靶的吸收和粒子能量的损失等实验因素对分析结果的影响,我们对实验数据进行了极角截断:本文取 $\theta_{lab} > 4^\circ$ [16, 19]。于是,相应于该截断下的粒子多重数 M 的取值范围为 $4 \sim 23$, 平均多重数 $\langle M \rangle = 16$ 图 1 给出了经上述极角截断后实验事件的核子多重数 M 的分布。

理论上,本文采用 Cascade 模型 [20] 模拟实验中的集合流事件。由于该模型没有包括在核-核碰撞中的压缩效果,故在其产生的碰撞事件中,集合流的效应很弱。因此,在与实验事件比较之前,必须对 Cascade 事件进行处理 [8, 16, 17]。Cascade 模型是一个完全微观的核子-核子碰撞模型,它忽略了平均场的效果和量子效应,把核子作为一个经典的客体,该客体按相对论运动学沿直线轨道运动。如果一个核子与另一个核子的距离小于 $\frac{e_{\text{Total}}}{c}$, 它们之间将发生碰撞。其中 e_{Total} 是在实验中测量的自由粒子总截面。对于每一次散射,动量和能量是守恒的,但是角动量不守

衡。已经证明,角动量不守恒的累积效果是小的 [21]。在 Bevalac 能量区域, Cascade 模型是第一个与实验资料进行比较的完全微观的模型,近年来在集合流集体性分析中亦得到了很好的应用 [8, 16, 17]。

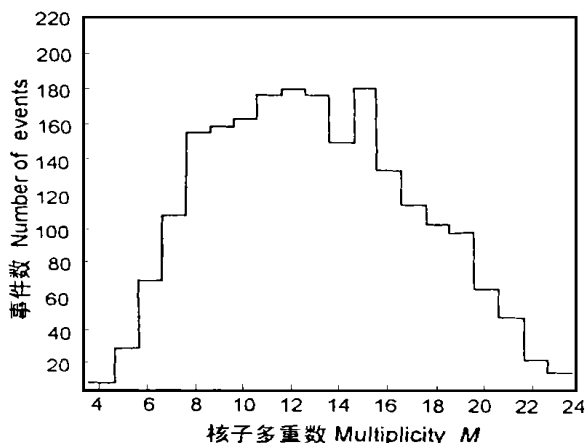


图 1 经极角截断后 $\text{Ne} + \text{NaF}$ 实验事件核子多重数的分布
Fig. 1 The distribution of the nucleus multiplicity for $\text{Ne} + \text{NaF}$ experimental events after polar truncation

2 产生蒙特卡罗模拟事件

蒙特卡罗方法是集合流研究中的重要方法。在对比分析实验事件之前,需产生蒙特卡罗模拟事件。第一步,利用 Cascade 模型产生无集合流的蒙特卡罗事件;第二步,按照一定的条件,对粒子的方位角与横向动量模进行唯象变换,产生唯象集合流事件。

2.1 产生无集合流的蒙特卡罗事件

本文产生无集合流的蒙特卡罗事件方法如下 [16, 17]:

(1) 利用 Cascade 模型,产生碰撞参数为 0 的样本事件并进行挑选。在这些事件中,由于未包含核物质态方程的效应,因此没有集合流;

(2) 对所产生的 Cascade 事件作上述相应实验事件的极角截断。截断后,经检验 Cascade 事件与实验事件多重数 M 的分布、单举横动量分布、快度分布是吻合的;

(3) 对应于实验事件,因其碰撞参数的范围是 $0 \sim 5.0 \text{ fm}$, 故可在此范围内均匀而随机地重新定义 Cascade 事件的碰撞参数,并使产生的无集合流的蒙特卡罗事件 5 倍于实验样本。

2.2 产生唯象集合流的蒙特卡罗事件

在上述 Cascade 事件中加入唯象集合流的途径可从三个方面考虑:方位角变换、横向动量模变换及横向运动(二者复合)变换。

2.2.1 产生唯象的方位角关联事件

按照文献 [13] 所介绍的方法, 可以产生唯象的方位角关联事件。其方法是: 在上述每个 Cascade 事件中, 随机地选取二个粒子, 构成一个粒子对。如果这二个粒子的方位角之夹角在 $\pi/2 \sim \pi$ 之间, 则随机地旋转其中一个粒子的方位角。于是, 经方位角变换后的 Cascade 事件, 其粒子平均横向动量模对方位角的分布应是均匀的^[14, 15]。

2.2.2 产生唯象的横向动量模关联事件

在多重数为 M 的 Cascade 事件中, 任取二个粒子构成一个粒子对。设二粒子的横向动量模分别为 p_i^t 和 p_j^t , 方位角分别为 h_i 和 h_j , 则二粒子方位角差为 $j = |h_i - h_j|$ 。于是, 定义该粒子对关联模变量为:

$$U = (p_i^t \cdot p_j^t) / \langle p^t \rangle^2, \quad (i \neq j), \quad (1)$$

$\langle p^t \rangle$ 为事件中粒子的平均横向动量:

$$\langle p^t \rangle = \left(\sum_{k=1}^M p_k^t \right) / M, \quad (k = 1, 2, \dots, M), \quad (2)$$

在相对论核—核碰撞末态, 如果粒子对中的横向动量模都等于事件中粒子的平均横向动量, 则模变量 $U = 1$ 表示粒子之间的关联仅为方位角关联; 如果粒子的横向动量模偏离事件中粒子的平均横向动量 $\langle p^t \rangle$, 则模变量 $U \neq 1$ 表示将粒子横向动量模加权后的方位角关联。由 (1) 式可知, 模变量 U 可以同时描述粒子分布的方位角关联和横向动量模关联的强弱程度, 其值的大小表征了末态粒子在“流参量”相空间中相互聚集的程度。模变量 U 的形式化描述可以有多种选择, 它既与坐标系的选择有关, 也与“流参量”的定义相关。

本文产生唯象的横向动量模关联事件的方法是: 在上述每个 Cascade 事件中, 随机地选取二个粒子, 构成一个粒子对。当模变量 $U \leq 1$ 时, 对于该粒子对中小于或等于平均横向动量 $\langle p^t \rangle$ 的粒子, 将其横向动量模在反应平面内的投影叠加大小为 $f_0 p_k^{\text{flow}}$ 的集体定向运动分量^[8, 13, 16, 17]。其中 f_0 是控制集合流强度的参量, 在本文中取 $f_0 = 200 \text{ MeV}^{[16]}$, 关于 f_0 和 p_k^{flow} 的确定方法参见文献 [8, 16, 17]; k 是粒子的序号, 且 $k \in [4, 23]$; p_k^{flow} 的表达式为^[22]:

$$p_k^{\text{flow}} = A_k B u_k |\cos(h_k)|, \quad (3)$$

其中参数 A_k , u_k 和 h_k 分别对应着第 k 个粒子的质量数、在质心系中的快度与入射束的快度的比值及横向动量与反应平面之间的夹角。 B 的定义为:

$$B = \sin^{2/3}(\Theta / b_{\text{max}}) \quad (4)$$

其中 b 是该事件的碰撞参数, $b_{\text{max}} = R_P + R_T$, R_P 和 R_T 分别是入射核与靶核的半径。(3) 式的详细阐述可参见文献 [16, 22]。于是, 经横向动量模变换后的 Cascade 事件, 其粒子方位角的分布应是均匀的^[14, 15]。

2.2.3 产生唯象的横向运动关联事件

在上述 2.2.1 及 2.2.2 的基础上, 经复合变换可以产生唯象的横向运动关联事件。其方法是: 首先, 在上述每个 Cascade 事件中, 随机地选取二个粒子, 构成一个粒子对; 然后, 按照 2.2.1 进行方位角变换; 最后, 按照 2.2.2 进行横向动量模变换。于是, 经上述二次唯象变换, 可产生同时计及方位角关联与横向动量模关联的唯象集合流事件。显然, 若取 $f_0 = 0$, 即为文献 [13] 的方法。

在本文中, 分析粒子横向动量模的关联对集合流及高阶集合流关联的作用, 是通过比较粒子群关联函数的蒙特卡罗结果与实验数据而唯象地确定的。

3 对实验事件及蒙特卡罗事件的分析

3.1 粒子群关联函数

本文采用文献 [16, 17] 提出的粒子群关联函数法对实验事件进行分析。这种方法的主要思想是: 将多重数为 M 的碰撞事件随机地分成 N 个粒子群, 使各粒子群中的粒子数尽量一致。对于每个粒子群, 定义群矢量为:

$$\mathbf{Q}_i = \left(\sum_{j=1}^{j_i} k_j \mathbf{p}_j^t \right), \quad (i = 1, 2, \dots, N), \quad (5)$$

其中 \mathbf{p}_j^t 为第 i 个粒子群中第 j 个粒子的横向动量, k_j 的意义参见文献 [16, 17]。因为 N 个 \mathbf{Q}_i 矢量对应着 N 个方位角 $h(\mathbf{Q}_i)$, 于是定义 N 粒子群关联角变量为:

$$j_N = \left(\prod_{i < j} \Delta h_{ij} \right)^{1/K}, \quad K = (1/2)N(N-1), \quad (6)$$

其中 $\Delta h_{ij} = \arccos[(\mathbf{Q}_i \cdot \mathbf{Q}_j) / (|\mathbf{Q}_i| \cdot |\mathbf{Q}_j|)]$, $0 \leq \Delta h_{ij} \leq \pi$ 。乘积符号 \prod 是对 N 个粒子群可能形成的全部 K 个 Δh_{ij} 进行求积。于是, 定义 N 粒子群关联函数为:

$$CS(j_N) = PS(j_N) / PSM(j_N) \quad (7)$$

其中 $PS(j_N)$ 和 $PSM(j_N)$ 分别表示实验事件和蒙特卡罗事件按 j_N 的分布几率。这里采用的蒙特卡罗事件是由不同实验事件 (多重数相同) 的轨迹随机组合产生的^[4, 11-13]。由于 j_N 包含了粒子的方位角和横向动量的大小两个方面的信息, 故可以将模拟唯象的横向动量模关联事件 $CS(j_N)$ 与实验事件的 $CS(j_N)$ 进行对比分析, 定量研究横向动量模的关联对粒子群关联的贡献。

3.2 实验事件及蒙特卡罗事件的对比分析

对于加入唯象集合流以前的 Cascade 事件, 经计算 $CS(j_N) \approx 1$ 这一结果表明: 内核级联模型预言的集合流对 $CS(j_N)$ 随 j_N 变化的贡献可以忽略不计。因此, 可以认为 $CS(j_N)$ 的特征主要是由集合流的强度、集体性的大小决定的。那么, 粒子横向动量模的关联、粒子分布的方位角关联及粒子横向运动关联对粒

子群关联的作用如何呢?可否利用粒子群关联函数 $CS(\hat{j}_N)$ 进行定量分析呢?

图 2 给出了 $N = 2 - 10$ 时的实验事件与蒙特卡罗事件 $CS(\hat{j}_N)$ 的计算结果。其中,带误差的圆点是实验事件 $CS_{exp}(\hat{j}_N)$ 的计算结果。受实验事件统计性的影响, $N = 10$ 是实验样本分析所允许的最大值。由于 $N = 9, 10$ 时的 $CS_{exp}(\hat{j}_N)$ 值在 $0 \leq \hat{j}_N \leq c/6$ 区间内的误差超过了 80%。因此,在图 2 中,对于 $N = 9, 10$ 的 $CS_{exp}(\hat{j}_N)$ 分析,去掉了这部分的计算点。而虚线、折线和点划线分别是唯象横向动量模关联事件 $CS_{mag}(\hat{j}_N)$ 、唯象方位角关联事件 $CS_{ang}(\hat{j}_N)$ 及唯象横向运动关联事件 $CS_{mot}(\hat{j}_N)$ 的计算结果,且折线、虚线和点划线对应点的误差大约是实验点误差的一半。由图 2 分析可知:

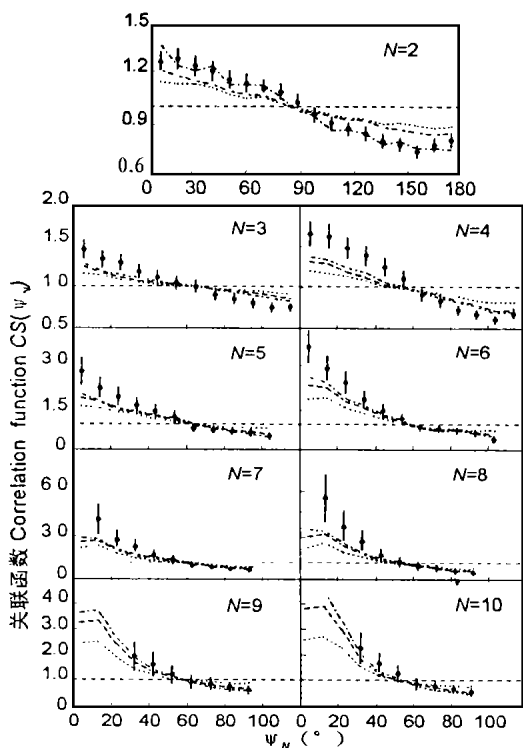


图 2 当 $N = 2 - 10$ 时, $Ne + NaF$ 实验事件关联函数 $CS(\hat{j}_N)$ 的实验数据与蒙特卡罗数据的比较

Fig. 2 The comparison of the correlation functions $CS(\hat{j}_N)$ between experimental data and Monte Carlo data for $Ne + NaF$ experimental events while N are between 2 and 10. 黑圆点: 实验数据 The experimental data with error bars; 虚线: 唯象横向动量模关联事件 $CS_{mag}(\hat{j}_N)$ The phenomenological correlation events of transverse momentum magnitude; 折线: 唯象方位角关联事件 $CS_{ang}(\hat{j}_N)$ The phenomenological azimuthal correlation events (Dashed line); 点划线: 唯象横向运动关联事件 $CS_{mot}(\hat{j}_N)$ The phenomenological transverse motion correlation events (Dashdotted line).

(1) 关联函数 $CS(\hat{j}_N)$ 在 $0 \leq \hat{j}_N \leq c/2$ 区间上的

分布较整个 $0 \leq \hat{j}_N \leq c$ 区间上的分布更明显地反映了粒子群之间的关联程度

(2) 经二次变换的粒子数占事件总粒子数的比率约为 30% 时,即可使实验事件 $CS_{exp}(\hat{j}_2)$ 与唯象横向运动关联事件 $CS_{mot}(\hat{j}_2)$ 的分布在统计误差范围内相符合。而当关联阶 $N = 3 - 10$ 时, $CS_{mot}(\hat{j}_N) < CS_{exp}(\hat{j}_N)$ 。这说明,少数携带较大横向动量模的粒子(或碎片)可以产生集合流效应,但高阶集合流关联确不受其支配,而是多数关联粒子(或碎片)集体贡献的结果。

(3) 在 $0 \leq \hat{j}_N \leq c/2$ 区间上,有 $CS_{mag}(\hat{j}_N) < CS_{ang}(\hat{j}_N) < CS_{mot}(\hat{j}_N)$ 。随着关联阶 N 的增大, $CS_{mag}(\hat{j}_N)$ 与 $CS_{ang}(\hat{j}_N)$ 的差值迅速增大,而 $CS_{ang}(\hat{j}_N)$ 与 $CS_{mot}(\hat{j}_N)$ 的差值则呈缓慢增加。这说明,对于本文分析的实验事件,粒子分布的方位角关联相对横向动量模关联在粒子群关联中起着主要作用,亦即方位角关联相对横向动量模关联对集合流的作用,特别是对高阶集合流关联的贡献是主要的,这与文献 [13~ 15] 的分析结果是一致的。

4 结语

基于文献 [13], 本文提出了一种可同时计及粒子分布的方位角关联和横向动量模关联的新的唯象集合流事件模拟方法。采用粒子群关联函数方法分析了粒子横向动量模关联对集合流及高阶集合流关联的作用。经对 Bevalac 流光室 2.1 A GeV $Ne + NaF$ 实验数据研究表明: 少数携带较大横向动量的粒子(或碎片)可以产生集合流效应,但高阶集合流关联确不受其支配,而是多数关联粒子(或碎片)集体贡献的结果。对于这组碰撞实验,粒子分布的方位角关联相对横向动量模关联在粒子群关联中起着主要作用,亦即方位角关联相对横向动量模关联对集合流的作用,特别是对高阶集合流关联的贡献是主要的。

参考文献

- 1 Liu Yiming, Zhang Weigang, Huo Lei et al. Transvers motion correlation of flow in relativistic heavy ion collisions. High Energy Phys and Nucl Phys, 1994, 18: 167 ~ 174.
- 2 Gyulassy M, Fraenkel K A, Stöcker H. Do nuclei flow at high energies. Phys Lett, 1982, 110B: 185~ 188.
- 3 Danielwicz P, Gyulassy M. Jacobian free global event analysis. Phys Lett, 1983, 129B: 283~ 288.
- 4 Danielwicz P, Odnyc G. Transverse momentum analysis of collective motion in relativistic nuclear collisions. Phys Lett, 1985, 157B: 146~ 150.

(下转第 275 页 Continue on page 275)

此式的相关系数为 0.96

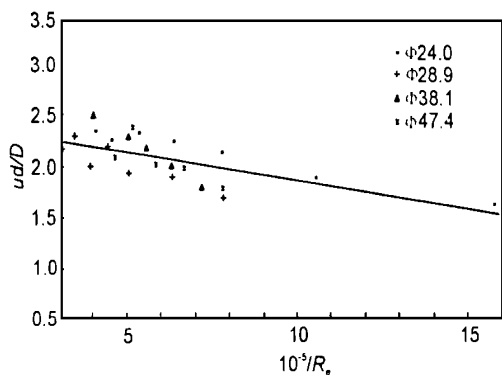


图 2 直管内单相流的混合扩散系数

Fig. 2 The mixed diffusion of single phase flow in straight tube

6 结论

(1) 采用微机采集数据和程控电子秒表计时, 数据存于软盘上可直接上机运算, 因此提高了运算速度和实验精度

(2) 将示踪剂注入点移至设备上游足够距离处, 同时检测设备进口和出口两点的应答, 用矩阵法处

理, 可消除非理想脉冲的影响

(3) 依据管道设备的特点和对应答数据的拟合, 可知用扩散模型来描述管道浸取器内的流动形态是恰当的。在雷诺数 $Re = 6300 \sim 32000$ 范围内, 回归得水平直管内单相流的混合扩散系数的关联式为:

$$ud/D = 2.8 - 1.28 \times 10^4 / Re$$

致谢

谢嵘春副教授也参加了实验工作, 在此表示衷心的感谢

参考文献

- 1 李宽宏, 董毅宏. 垂直管道浸取器的流体力学研究 (1) 直管段的压力降. 化工学报, 1984, (4): 335~ 343.
- 2 李宽宏, 董毅宏, 刘 琨等. 垂直管道浸取器的流体力学研究 (2) 回弯头的压力降. 化学反应工程与工艺, 1985, (4): 37~ 44.
- 3 李宽宏, 黎铨海. 垂直管道浸取器的流体力学研究 (3) 斜接回弯头与单元压力降. 化学工程, 1987, (1): 29~ 32.
- 4 李珍华, 李宽宏. 用矩阵法处理非理想脉冲的应答曲线. 广西大学学报 (自然科学版), 1988, (3): 66~ 71.

(责任编辑: 黎贞崇)

(上接第 267 页 Continue from page 267)

- 5 Doss K G R, Gustafsson H A, Gutbrod H H et al. Nuclear collective flow as a function of projectile energy and mass. Phys Rev Lett, 1986, 57: 302~ 305.
- 6 Kiselev S M. Azimuthal multiparticle correlations in high-energy heavy-ion collisions in the molecular-dynamical model. Phys Lett, 1989, 216B: 262~ 266.
- 7 刘庆军, 蒋玉桢, 王 山等. 多粒子方位角关联与核煤质状态方程. 高能物理与核物理, 1992, 16: 801~ 806.
- 8 刘庆军, 蒋玉桢, 王 山等. 碰撞 1.2 A GeV Ar+ KCl 中的 n 粒子方位角关联与集体性. 高能物理与核物理, 1993, 17: 912~ 917.
- 9 Welke G M, Prakash M, Kuo T T S et al. Azimuthal distributions in heavy ion collisions and nuclear equation of state. Phys Rev, 1988, C38: 2101~ 2107.
- 10 Cutbrod H H, Kampert K H, Kolb B W et al. A new component of the collective flow in relativistic heavy-ion collisions. Phys Lett, 1989, 216B: 267~ 271.
- 11 Wang S, Jiang Y Z, Liu Y M et al. Measurement of collective flow in heavy-ion collisions using particle-pair correlations. Phys Rev, 1991, C44: 1091~ 1095.
- 12 王 山, 刘亦铭, 蒋玉桢等. 方位角关联函数与核煤质态方程. 高能物理与核物理, 1990, 14: 907~ 911.

- 13 Jiang J, Beavis D, Chu S Y et al. High-order collective-flow correlations in heavy-ion collisions. Phys Rev Lett, 1992, 68: 2739~ 2742.
- 14 刘亦铭, 张伟刚, 霍 雷等. 相对论重离子碰撞中集合流的横向运动关联. 高能物理与核物理, 1994, 18: 511~ 517.
- 15 张伟刚. 相对论核 核碰撞中粒子的横向动量模关联. 广西工学院学报, 1994, 5: 51~ 55.
- 16 张伟刚. 2.1 A GeV Ne+ NaF 碰撞中的粒子群关联与集体性. 高能物理与核物理, 1997, 21: 911~ 917.
- 17 张伟刚. Ar+ BaE 碰撞中的粒子群关联与集体性. 广西科学, 1997, 4 (4): 251~ 254.
- 18 张伟刚. 相对论核 核碰撞中的粒子群关联. 广西大学学报 (自然科学版), 1997, 22: 124~ 127.
- 19 张伟刚. 相对论重离子碰撞中集合流的横向运动关联. 硕士学位论文, 哈尔滨工业大学, 1993.
- 20 张伟刚. 相对论核 核碰撞中粒子的鉴别. 广西大学学报 (自然科学版), 1995, 20: 325~ 336.
- 21 Bertsch G F, Gupta S. Das, Phys Rep (Review Section of Physics Letts), 1988, 160: 189~ 233.
- 22 Barghouty A F, Fai G, Keane D. Pion yields and pion spectra from nuclear collisions. Nucl Phys, 1991, A535: 715~ 718.

(责任编辑: 黎贞崇)