

相对论重离子碰撞中强子气体膨胀过程的蒙特卡罗研究*

施梳苏 刘连寿¹⁾

(华中师范大学粒子物理研究所 武汉 430079)

摘要 利用 AMPT 蒙特卡罗产生器中的强子化程序模块 ART1.0, 得到了强子化过程的演化图形, 并基于强子在不同时刻的空间分布图, 估算出了不同时刻的反应区域半径. 将所得结果与根据 HBT 关联得到的结果相比较, 定出了冻结为强子气体的时刻, 得到了合理的结果.

关键词 相对论重离子碰撞 AMPT 蒙特卡罗生成器 强子气体的膨胀过程 HBT 关联

1 引言

多相运输模型 AMPT^[1, 2] 是包含了部分子^[3] 和强子两种相的运输模型. 文献[1]通过 HBT 方法^[4-7], 从未态强子动量的关联函数反演出了 AMPT 模型中冻结为强子气体时刻的反应区域半径 R_{out} , R_{side} , R_{long} 值. 本文则利用 AMPT 蒙特卡罗产生器中的强子化程序模块 ART1.0^[8, 9], 直接得到强子气体在不同时刻的半径, 从而能够研究强子气体的时间演化图像.

2 末态强子的空间分布随时间的演化

本文中用到的是由 AMPT2.11 生成的 250 个质心能量 200GeV/N Au-Au 对心碰撞事件. 部分子的散射截面定为 10mb. ART1.0 中的时间演化间隔定为 0.2fm/c, 共经历 150 个时间间隔, 即总演化时间为 30fm/c.

图 1 是用随机选取的一个碰撞参数 $b = 0$ 的对心碰撞事件作出的, 在三维直角坐标中不同时刻强子的分布图. 碰撞前的金核沿坐标 z 轴方向高速运动, 碰撞点在坐标原点 ($x = 0, y = 0, z = 0$) 处. 时间间隔每 2fm/c 作一个图, 时间跨度从 1.6fm/c 到 29.6fm/c.

强子的产生始于 0.8fm/c. 随着时间的演化, 强子数随之增长. 末态时刻的强子数接近 10000. 从空间分

布来看, 强子在 $x-y$ 平面呈对称分布. 刚开始产生的强子集中于 $z = 0$ 平面附近. 随着时间的演化, 产生的

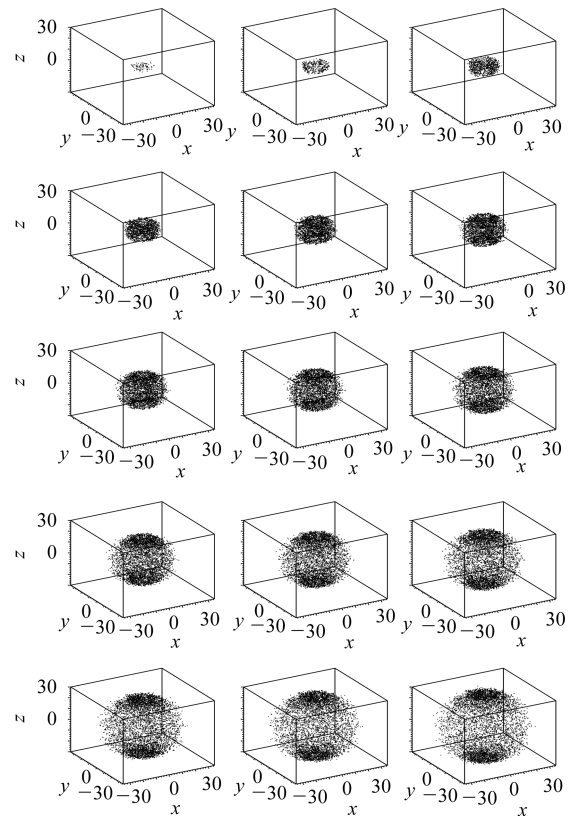


图 1 末态强子的空间分布随时间的演化

2006-03-20 收稿

* 国家自然科学基金(10375025)和教育部高等学校科技创新工程重大项目培育基金(704035)资助

1) E-mail: liuls@iopp.cnu.edu.cn

强子开始向 $z = 0$ 平面两边分散. 到了接近于末态的时刻, $z = 0$ 平面附近的强子反而较少, 出现一种“空缺”现象. 这是不难理解的. 先产生的强子具有一定的速度, 随着时间的演化会偏离初始位置, 而新产生强子的部分其本身也处于一个随时间逐渐演化的状态. 当这些部分强子化的时候, 也就偏离了碰撞发生的位置. 因此末态强子的分布在碰撞发生的位置 $z = 0$ 处反而会出现空缺.

3 不同时刻的反应区域半径的估算

强子化随时间演化的图形作出之后, 开始估算不同时刻的反应区域半径. 选取的方法是对强子在空间的分布坐标求绝对值后取平均. 定义反应区域半径为

$$R_{\perp}(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|x_i(t)| + |y_i(t)|}{2} \approx \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |x_i(t)| \approx \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i(t)|, \quad (1)$$

$$R_{\text{long}}(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |z_i(t)|, \quad (2)$$

其中 N 是时刻 t 的强子数, $x_i(t)$, $y_i(t)$, $z_i(t)$ 分别是该时刻第 i 个强子的三维空间坐标. 由于所考虑的是对心碰撞, 碰撞参数矢量 $\mathbf{b} = 0$, “ x ” 和 “ y ” 没有区别, 所以 x , y 坐标的规定有任意性.

图 2、图 3 描述的是强子的位置坐标分布图形. 时间间隔每 $2\text{fm}/c$ 作一个图, 时间跨度从 1.6 — $29.6\text{fm}/c$. 由于前文所述 x 轴和 y 轴的对称性, 强子 x 轴的坐标分布图形和强子 y 轴的坐标分布图形完全一致. 上述两个图中, 均用坐标横轴表示相应的坐标值且对应的单位为 fm , 纵轴表示落在这一坐标区域的强子数. 为减小单事件的统计起伏, 用的是 250 个对心碰撞 ($\mathbf{b} = 0$) 事件的叠加图. 从这些图中可以看到, 位置坐标的分布随时间演化不断扩大. 这一现象对应的是强子物质不断膨胀的物理过程.

图 4 描述的是在上述算法下, 得到的反应区域半径随时间的演化. 实心正方形表示 z 方向的半径, 实心上三角表示 x 和 y 方向的半径, 定义为 R_{\perp} . 图中所有的点的误差都在画出的图标范围内. 右端坐标纵轴上是文献 [1] 中由同一模型用 HBT 方法从动量关联计算得到的相同情形下冻结为强子气体时刻的 R_{out} , R_{side} , R_{long} 的值. 其中空心正方形表示 R_{long} , 空心上三角和空心圆圈分别表示 R_{out} , R_{side} . 将我们得到的反应区域半径和文献按 HBT 关联计算出的值相比较,

不难看到, 冻结为强子气体的时刻, 在粒子源随时间演化图形中对应于 $(15 \pm 2)\text{fm}/c$ 时刻. 这一物理图景是合理的.

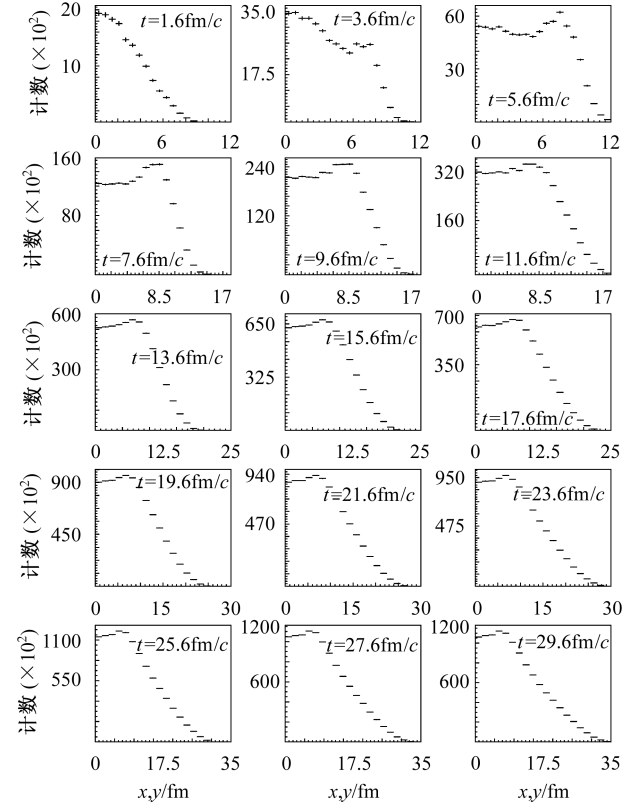


图 2 强子的 x , y 坐标随时间的演化

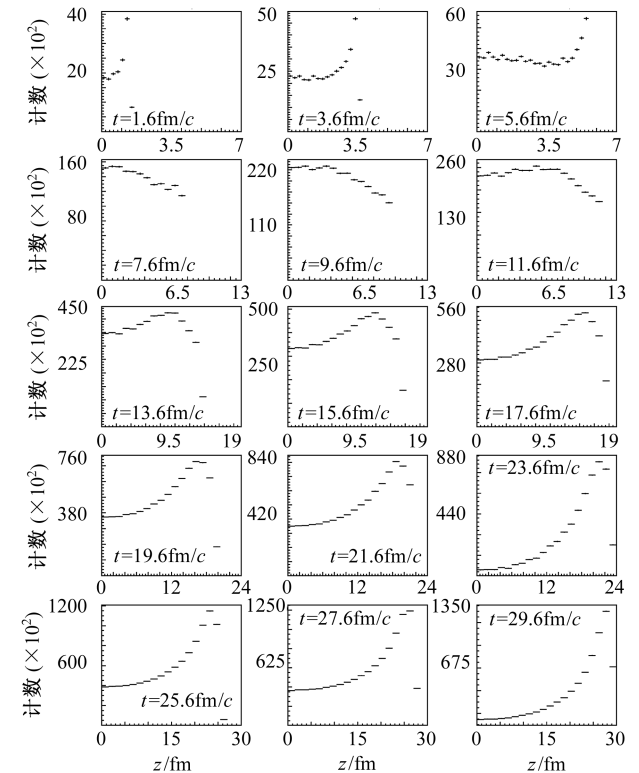


图 3 强子的 z 坐标随时间的演化

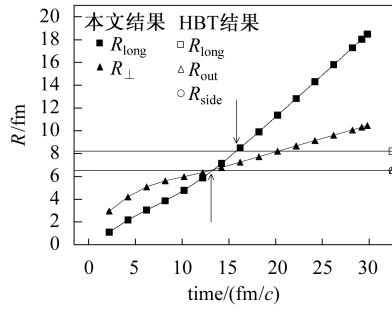


图 4 反应区域半径随时间的演化

4 结论

利用 AMPT 蒙特卡罗产生器中的强子化程序模块 ART1.0, 得到了强子化过程随时间的演化图形, 并基于不同时刻的强子空间分布, 估算出了不同时刻的反应区域半径. 最后, 通过与 HBT 关联结果比较, 定出了冻结为强子化气体的时刻. 得到了合理的时间演化和强子化图像.

感谢杜佳欣的有益的讨论.

参考文献(References)

- 1 LIN Zi-Wei, KO Che-Ming, LI Bao-An et al. Phys. Rev., 2005, **C72**: 064901
- 2 ZHANG B, KO C M, LI B A et al. Phys. Rev., 2000, **C61**: 067901
- 3 ZHANG B. Comput. Phys. Commun., 1998, **193**: 109
- 4 Pratt S. Phys. Rev. Lett., 1984, **1219**: 53
- 5 Bertsch G, GONG M, Tohyama M. Phys. Rev., 1988, **C37**: 1896
- 6 Pratt S, Csorgo T, Zimanyi J. Phys. Rev., 1990, **C42**: 2646
- 7 Rischke D H, Gyulassy M. Nucl. Phys., 1996, **A608**: 479
- 8 LI B A, KO C M. Phys. Rev., 1995, **C52**: 2037
- 9 LI B A, Sustich A T, ZHANG B et al. Int. J. Mod. Phys., 2001, **E10**: 267

A Monte Carlo Study on the Expansion of Hadronic Gas in Relativistic Heavy Ion Collisions*

SHI Shu-Su LIU Lian-Shou¹⁾

(Institute of Particle Physics, Huazhong Normal University, Wuhan 430079, China)

Abstract According to the hadronization program ART1.0 of AMPT Monte Carlo generator, the evolution picture of hadronization process is obtained. The radii of reaction area are then calculated based on the distribution picture of hadrons in different evolution time. Comparing the results with those obtained from the HBT momentum correlation, the freeze-out time is fixed finally. The result obtained is reasonable.

Key words relativistic heavy ion collision, AMPT Monte-Carlo generator, expansion of hadronic gas, HBT correlation

Received 20 March 2006

* Supported by National Natural Science Foundation of China (10375025) and Cultivation Fund of the Key Scientific and Technical Innovation Project, Ministry of Education of China (704035)

1) E-mail: liuls@iopp.cnu.edu.cn