

快报

# 粒子数分布对s夸克及K<sup>-</sup>介子 产生率的影响\*

周宝森 贺泽君

(中国科学院上海原子核研究所, 201800)

## 摘 要

基于相对论重离子碰撞所产生膨胀的热夸克-胶子等离子体火球模型,在考虑了火球内部的粒子数分布后,运用相对论流体力学方程,研究了s夸克和K<sup>-</sup>介子的产生率,结果表明对总的s夸克和K<sup>-</sup>介子产生率有极大地增强。

一般认为,在某些天体加中子星内部或在相对论性重离子碰撞中可能形成核物质的新形态<sup>[1,2]</sup>即夸克-胶子等离子体(QGP),包含有s夸克的K<sup>-</sup>介子可能携带有QGP的某些重要信息<sup>[3,4]</sup>,因此成为QGP存在的重要探针。

基于最近在美国的布鲁克海文AGS所进行的人射能为14.5 GeV/U的Si与A>100的不同核碰撞而被完全阻挡的实验事实<sup>[2]</sup>,本文假定碰撞后产生了一个主要由夸克-胶子组成的高温(不小于200 MeV)、高密(约为正常核物质密度的4倍)的火球<sup>[2]</sup>。我们认为粒子的平均自由程远远小于火球的线度,因此火球内部能很快达到局域平衡,这样使得我们能够运用相对论流体力学方程来描述系统的演化<sup>[5-7]</sup>,

$$\partial_{\mu} T^{\mu\nu} = 0, \quad (1)$$

这里 $T^{\mu\nu}$ 为能量-动量张量。这和最初由Bjorken所发展的标量方程<sup>[3]</sup>是不一样的。

关于随温度的降低系统从夸克-胶子相到强子相的相变图象,我们采用了超声凝聚(supersonic condensation)模型<sup>[8]</sup>。在相变界面,我们还考虑了潜热对温度的影响。我们认为在强子相的初始阶段主要成份是 $\pi$ 介子<sup>[9]</sup>,因此主要考虑了由 $\pi$ 介子反应生成K<sup>-</sup>介子的过程,即 $\pi^+\pi^- \rightarrow K^+K^-$ ,  $\pi^-\pi^0 \rightarrow K^-K^0$ ,  $\pi^0\pi^0 \rightarrow K^+K^-$ 。

关于s夸克和K<sup>-</sup>介子的产生,Müller等人在忽略了温度的空间分布<sup>[10]</sup>,Kapusta等人运用Bjorken模型<sup>[11]</sup>,给出了仅与时间有关的结果,后来,人们考虑了温度的空间分布重新研究了s夸克及K<sup>-</sup>介子的产生,结果表明此分布是不能被忽略的<sup>[12]</sup>。

对于非常高温的系统,文献[11]采用了分布函数的玻尔兹曼近似 $f(p) = \exp(-E/T)$ ,并给出了在夸克相和强子相相应的奇异粒子的产生率 $R_q(T)$ 和 $R_h(T)$ 的参数化形式(这里 $p$ 为动量, $E$ 为能量, $T$ 为温度,且 $\hbar = c = k = 1$ )。但是这样做将原来的分布函数与粒子密度的关系消去了。为了考虑粒子在时空中分布给双轻子质量谱带来的影

本文1991年1月24日收到。

\* 国家自然科学基金资助。

响,文献[7]采用了分布函数的完整的玻尔兹曼近似  $f(p) = \rho \exp(-E/T)$ , 其中  $\rho$  是粒子密度. 这类近似形式在文献[14]中用火球模型研究核子谱时也得到了应用.

鉴于此,我们研究了粒子数分布给  $s$  夸克及  $K^-$  介子产生率所带来的影响. 显然,不同的粒子占有数会导致差别很大的奇异粒子产生率. 为求出各点的粒子数密度, 我们需求解如下的一个连续性方程

$$\partial_t(\rho \cosh \eta) + \frac{1}{r^2} (r^2 \sinh \eta) = 0, \quad (2)$$

这里  $\eta$  为横向速度,  $r$  为火球半径. 因此具有粒子数分布影响的  $s$  夸克或  $K^-$  介子产生率可写为

$$R(T(r, t), \rho(r, t)) = \rho_1 c_1 R_{q(\bar{q})}(T) c_2 \rho_2, \quad (3)$$

这里下标 1 指正粒子, 2 指反粒子.  $c_1, c_2$  为与整个时空中粒子总数有关的常数.

为求出奇异粒子( $s$  夸克,  $K^-$  介子)的演化图象, 我们采用如下形式的弛豫方程<sup>[11,12]</sup>

$$\frac{dn}{dt} = R(T(r, t), \rho(r, t)) \left[ 1 - \left( \frac{n}{n_{eq}} \right)^2 \right], \quad (4)$$

其中  $n$  为  $s$  夸克 ( $T < T_c$ ) 或  $K^-$  介子 ( $T > T_c$ ) 的数密度 ( $T_c$  是相变临界温度),  $n_{eq}$  为由玻尔兹曼统计而给出的平衡密度.

我们假设 QGP 火球的初始温度为  $T_0 = 230 \text{ MeV}$ , 相变临界温度为  $T_c = 160 \text{ MeV}$ , 以及其它合适的参数, 综合求解(1)–(4), 直到粒子的平均自由程大到可以和火球线度相比拟时为止. 计算所得整个系统总的  $s$  夸克及  $K^-$  介子数随时间变化如图 1 所示. 图中曲线标号 1–4 分别对应: 1——忽略了粒子数分布及潜热释放对总的  $s$  夸克或  $K^-$  介子产生率影响后的结果; 2——只考虑潜热对  $s$  夸克或  $K^-$  介子产生率影响的结果; 3——只考虑粒子数分布对  $s$  夸克或  $K^-$  介子产生率影响后的结果; 4——同时考虑了粒子数分布

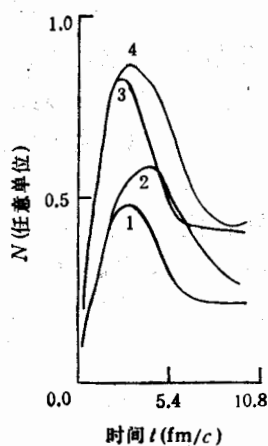


图 1 系统总的  $s$  夸克及  $K^-$  介子数随时间演化.

标号 1–4 的意义见正文. 系统初始温度  $T_0 = 230 \text{ MeV}$

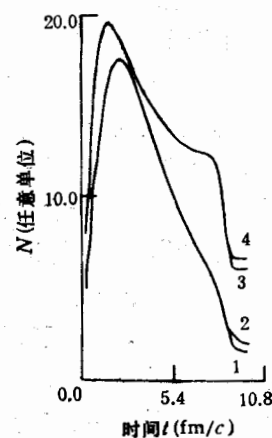


图 2 初始温度  $T_0 = 500 \text{ MeV}$  时奇异粒子演化. 其它说明同图 1

及潜热对  $s$  夸克或  $K^-$  介子产生率影响后的结果。

很明显,在考虑了潜热释放后,由于热量同时向内外两个方向传输,因此使得整个系统的温度有很大的提高,这增强了  $s$  夸克及  $K^-$  介子的产生率;同时由于相变界面处的高温阻止了界面内的夸克向外扩散,使得内部粒子占有数保持一个很大的数值,这样越发使得  $s$  夸克以及  $K^-$  介子产生率得到加强。

为了更突出粒子占有数对  $s$  夸克及  $K^-$  介子产生率的影响,我们在初始温度  $T_0 = 500\text{MeV}$  而保持其它条件不变的情况下,重新得到一组数据,结果如图 2 所示。很明显,在初始温度很高的情况下,潜热的影响已变得不太重要,而粒子数分布同样使  $s$  夸克及  $K^-$  介子产生率得到一定程度地加强。

综上所述,粒子占有数的分布明显地增强了  $s$  夸克和  $K^-$  介子的产生率,因此在研究 QGP 演化时的  $s$  夸克和  $K^-$  介子的产生过程中,是必须考虑的一个重要因素。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] G. F. Chapline, M. Nauenberg, *Nature*, **264**(1976), 235.
- [ 2 ] S. Nagamiya, *Nucl. Phys.*, **A488**(1988), 3c.
- [ 3 ] P. Koch, B. Muller and J. Rafelski, *Phys. Rep.*, **142**(1986), 167.
- [ 4 ] U. Heinz, K. S. Lee and M. J. Rhodes-Brown, *Phys. Rev. Lett.*, **58**(1987), 2292.
- [ 5 ] J. Kapusta, Quark Matter Formation and Heavy-ion Collisions (Proceeding of the Bielefeld Workshop, May 1982), 115.
- [ 6 ] L. D. Landau and F. M. Lifshitz, 1959, *Courses of Theoretical Physics Vol. 6* auth trans from Russian, J. B. Sykes and W. H. Reid ch xv(Oxford: Pergaman)
- [ 7 ] Zejun He, Jiaju Zhang, Panlin Li and Xijun Qiu, *J. Phys., G: Nucl. Part. Phys.*, **16**(1990), L179.
- [ 8 ] S. P. Baranov, L. V. Fil'kov, *Z. Phys.*, **C44**(1989), 227.
- [ 9 ] C. M. Ko and L. H. Xia, *Nucl. Phys.*, **A498**(1989), 561c. 在这篇文章中,作者给出了在强子相  $\pi, K, N, \Delta$  等各种介子和强子的产生数,可以看出主要贡献是  $\pi$  介子。
- [ 10 ] B. Müller and J. Rafelski, *Phys. Rev. Lett.*, **48**(1982), 1066.
- [ 11 ] J. Kapusta, A. Mekjian, *Phys. Rev.*, **D33**(1986), 1304.
- [ 12 ] 江德宝,贺泽君,“在极端相对论性原子核碰撞中奇异粒子的演化”《高能物理与核物理》,将发表。
- [ 13 ] J. D. Bjorken, *Phys. Rev.*, **D27**(1982), 140.
- [ 14 ] J. P. Bondorf, S. I. A. Garpman and J. Zimangi, *Nucl. Phys.*, **A296**(1978), 320.

## Influence of the Particle Distribution on the Rate of S-Quark and $K^-$ -Meson Production

ZHOU BAOSUN HE ZEJUN

(Shanghai Institute of Nuclear Research, Academia Sinica, 201800)

### ABSTRACT

Based on an expanding pure hot quark-gluon plasma fireball which is created by ultrarelativistic heavy-ion collisions, considering the internal occupation number of particle, using relativistic hydrodynamic equation, we investigated the rate of s-quark and  $K^-$ -meson production. It is shown that the particle distributions enhance the rate strongly.