

在重离子碰撞中的 K^- 介子吸收 对其产生的影响*

李庆峰^{1,3} 李祝霞^{1,2,4} 孙秀泉³

1 (中国原子能科学研究院 北京 102413)

2 (兰州重离子加速器国家实验室原子核理论中心 兰州 730000)

3 (西北大学物理系 西安 710069)

4 (中科院理论物理研究所 北京 100080)

摘要 用RBUU方法研究了中高能重离子碰撞中 K^- 介子产额及谱的情况。我们发现 K^+/K^- 产额比是与核系统大小相关的,这种相关性与 K^- 介子在核介质中所受的吸收效应有关。还研究了在三种不同核系统中的 K^- 平均吸收路程,发现 K^- 平均吸收路程在轻核系统中与在中、重核系统中存在较大的差别,从而定量地解释了这种 K^+/K^- 比与核系统的相关性。研究结果给出了核介质对 K^- 介子的吸收程度还与不同反应道的贡献有关,这是导致 $B\pi \rightarrow K^- X$ 道在核系统,特别是在轻、中量核系统中起重要作用的一个重要原因。

关键词 重离子碰撞 K^- 介子 吸收

1 引言

近几年来,在中高能重离子碰撞中的 K 介子产生问题在理论研究及实验探测两个方面都受到了越来越广泛的注意,关于 K^\pm 的研究成果也有不少报道^[1-6],这是由于人们认为 K 介子在高温(或)高密核介质中所表现出来的性质将直接关系到 K 凝聚、中子星、手征对称破缺的恢复等诸多方面的研究。因为 K^+ 介子主要产生在碰撞的早期即压缩阶段,此时的核物质处于一种高温、高密状态,同时,产生后的 K^+ 又由于众所周知的奇异守恒而不会在产生后的末态反应中被核物质吸收掉,因而带有其在产生时的丰富的关于高温高密的核物质性质的信息,所以利用产生的 K^+ 便有可能较方便地研究高温高密核物质的性质及此时的 K^+ 介子自身的性质,因而对 K 的研究就自然成为当今中高能重离子碰撞中的一个研究热点。在不久前的一篇文章^[4]中,已着重研究了 K^+ 的流对核态方程及 K^+ -核子相互作用的标量项(即 Σ_{KN})之间的相互联系,从中我们发现 Σ_{KN} 大致的范围约为 0.2—0.4GeV,

1998-11-09收稿

* 国家自然科学基金资助项目(19675069)

因此就可以通过准确测定 K^+ 的流而得到更准确的关于核态方程及 Σ_{KN} 的信息. 与 K^+ 不同, 核介质对产生的 K^- 有着非常强烈的吸收效应, 由于这种吸收效应的存在, 那么: K^- 介子的吸收效应将在多大程度上影响 K^- 的产生? 吸收的程度受核系统大小的影响有多大? 这种吸收是否或将在多大程度上掩盖掉 K^- 介子用来作为对核物质性质及 K^- 介子在介质中的性质等探测的作用的研究? 等等. 这些方面都是在中高能重离子核反应 K 介子产生的理论研究中需加以认真解决的问题. 在实验方面虽然已有不少不同能量段的关于 K^\pm 介子的实验数据测出^[5-6], 但是, 特别是对 K^- 产生, 由于测量误差较大, 实验数据的精确性尚待提高, 本文将集中分析 K^- 吸收效应对 K^- 产生的影响. 首先, 通过与相应的 K^+ 介子动量谱的比较, 研究了 K^- 介子的动量谱随 Σ_{KN} 的选取而变化的情况, 借以观察 K^- 介子的吸收是否或在多大程度上掩盖掉对核平均场的认识; 接着将采用与文献 [2] 相同的 Σ_{KN} 量 ($\Sigma_{KN} = 0.5068 \text{ GeV}$) 着重讨论了 K^- 介子在核介质中吸收的情况, 以期获得对 K^- 介子动量谱及产额等更深入的认识.

本文的结构安排如下: 第二节将简单介绍我们的模型, 主要的计算结果和相应的分析在第三节中给出, 最后, 在第四节给出简单的总结.

2 理论模型

由于重离子碰撞是一个非平衡过程, 因而在对重离子碰撞中的 K 产生的理论研究中采用动力学输运理论是非常合适的. RBUU 理论在这几年内因对高能重离子核碰撞的理论研究中的正确性和良好的预见性而受到广泛关注, 但这一理论在现有的理论上并不是完全自洽的, 即在对两体碰撞项的处理与平均场项的处理上是不自洽的, 它们分别具有各自的输入量. 一般是将自由两体散射截面作为碰撞项的输入量, 但对与共振态相关的截面, 因其在实验中无法获取, 就假定和核子-核子的相同, 即: $\sigma_{N\Delta-N\Delta} = \sigma_{\Delta\Delta-\Delta\Delta} = \sigma_{NN-NN}^{\text{free}}$, 茅广军、李祝霞和卓益忠等人^[7-11]用自洽的 RBUU 理论研究了弹性截面 $\sigma_{N\Delta-N\Delta}$, $\sigma_{\Delta\Delta-\Delta\Delta}(s)$ 并指出它们是不同于 $\sigma_{NN-NN}^{\text{free}}(s)$ 的. 而且在输运理论模型中两体散射截面的介质效应通常被忽略, 而必须指出的是两体截面介质效应修正是很重要的, 参考文献 [12, 13] 的结果表明 Δ 产生截面 $\sigma_{NN-N\Delta}$ 在介质中有效地增强. 众所周知, 共振态如 Δ , N^* 等在重离子碰撞的粒子产生中起很重要的作用, 在输运模型计算中计入这些理论给出的介质截面是很必要的. 在计算中, 我们对 $\sigma_{N\Delta-N\Delta}^*$ 和 $\sigma_{\Delta\Delta-\Delta\Delta}^*$ 采用^[7, 8]的理论计算结果的参数化, 采用^[12]的结果 (在重离子碰撞能量为 1—2 GeV 时只计入 Δ 共振态), 因而计入了介质效应对两体截面的修正. 最后, 对 K^\pm 介子的能量、质量、光学势及运动方程的计算采用的是由手征模型得出的结果.

首先选取了文献 [4] 中第四组的核态方程参数 (这组参数在表 1 中给出), 由于这组参数较好地解释了 K^+ 流.

其次, 在 SIS 能段, 与产生 K^\pm 介子有关的反应道我们主要考虑了

1. 对 K^+ 介子, 考虑了以下几个主要反应道:

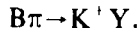
(1) 由重子-重子反应生成 K^+ 的道:



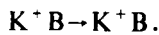
表1 本文中用到的核基态参数

	平均场参数				$E_{\text{bin}}/\text{MeV}$	相应的态方程		ρ_0/fm^{-3}
	g_s	g_v	B	C		M^*/m	K/MeV	
场	8.15	8.36	8.7	2.77	-15.75	0.8	300	0.148
			$\times 10^{-3}$	$\times 10^{-2}$				

(2) 研究发现 π 介子在 K 介子产生中有重要贡献,因此本文也考虑了重子与 π 介子反应产生 K^+ 介子的贡献:

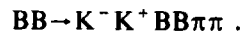


(3) K^+ 介子产生后的末态反应——与重子发生的弹性散射:



2. 对 K^- 介子,考虑了以下几个主要的反应道:

(1) 由重子-重子反应生成 K^- 的道,包括了伴随产生单 π 介子及双 π 介子的道的贡献:



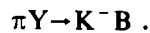
为便于述说,将以上3个反应道合并计为: $BB \rightarrow K^- X$,其中由核子-核子、核子- Δ 和 Δ - Δ 生成 K^- 的反应道分别记为: $NN \rightarrow K^- X$, $N\Delta \rightarrow K^- X$ 和 $\Delta\Delta \rightarrow K^- X$.

(2) 同 K^+ 介子,也考虑了重子与 π 介子反应产生 K^- 介子的道,其中也考虑了伴随产生单 π 介子的贡献:

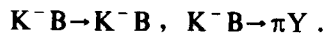


为便于述说,将以上2个反应道合并计为: $B\pi \rightarrow K^- X$.

(3) 也考虑了由奇异交换产生 K^- 介子的贡献(因为超子产生的数目虽然很少,但是截面很大,有时可能会起大的作用):



(4) 在末态反应中,除了介子与重子的弹性散射外,还包括被重子的吸收:



其中 B 包括核子 N 及 Δ ; Y 包括 Λ 及 Σ 两种超子. $\sigma_{N\pi \rightarrow K^+ X}$ 我们采用了Cassing等人^[1]的拟合参数, $\sigma_{NK^+ \rightarrow NK^+}$ 取自^[14],其余的截面均采用了李国强等的最新参数^[2]. 从上面的 K^+ 介子及 K^- 介子反应道可以看出在SIS能段需要考虑的产生 K^- 介子的道要远比 K^+ 介子的多,但是, K^- 介子的总产额却比相同能量的 K^+ 介子要少的多,这主要是基于以下三个方面的原因:首先, K^- 介子的产生必然会伴有 K^+ 介子的产生,而 K^+ 介子的产生却并不需要伴有 K^- 介子的产生(在计算 K^+ 介子产额时,往往因为伴有 K^- 介子产生的 K^+ 介子产生道的截面很小而不予考虑),因而 K^- 产生的阈比 K^+ 高. 其次, K^- 介子产生的截面小也是使其产额小的重要原因. 最后也是下面将要着重讨论的原因是: K^- 介子的末态反应的吸收效应强烈, K^+ 介子则由于奇异守恒而在末态反应中没有吸收发生.

为了描述 K^\pm 介子在核介质中的性质,采用由手征模型给出的 K - N 相互作用拉氏量:

$$L = \partial^\mu \bar{K} \partial_\mu K - (m_K^2 - \frac{\Sigma_{KN}}{f_K^2} \bar{N} N) \bar{K} K - \frac{3i}{8f_K^2} \bar{N} \gamma^0 N \bar{K} \vec{\partial}_i K. \quad (1)$$

通过(1)由欧拉方程给出 K^\pm 在介质中的质量为:

$$m_K^{*2} = m_K^2 - \frac{\Sigma_{KN}}{f_K^2} \rho_S, \quad (2)$$

式中 m_K 是自由 K^\pm 介子的质量. 由(1)式可以得到 K^\pm 在介质中的能量表达式:

$$\omega_{K^\pm} = \left[m_K^2 + k^2 - \frac{\Sigma_{KN}}{f_K^2} \rho_S + \left(\frac{3}{8f_K^2} \rho_N \right)^2 \right] \pm \frac{3}{8f_K^2} \rho_N. \quad (3)$$

K^\pm 在介质中所受到的平均场为:

$$U_{K^\pm} = \omega_{K^\pm} - \omega_0, \quad (4)$$

其中

$$\omega_0 = (m_K^2 + k^2)^{1/2} \quad (5)$$

K^\pm 运动方程可写为:

$$\frac{d\mathbf{r}}{dt} = \frac{\mathbf{k}}{m^*}, \quad (6)$$

$$\frac{d\mathbf{k}}{dt} = -\nabla_x U_{K^\pm} \quad (7)$$

在以上式(1)–(7)中, ρ_S 为核标量密度, ρ_N 为核物质密度, $\left(-\frac{\Sigma_{KN}}{f_K^2} \rho_S \right)$ 项来自 S 波吸引势而矢量项 $\left(\frac{3\rho_N}{8f_K^2} \right)$ 修正了 K 介子能量. ω_0 为 K^\pm 在自由空间时的能量. 由式(6), (7)中的 K^\pm 运动方程可以看出由于介质修正将直接导致 K^\pm 谱形的改变, 从而也必将改变两者的比. 由式(3)也可得知随着核密度的增加, $\omega_{K^+}(k=0)$ 增加, 而 $\omega_{K^-}(k=0)$ 减小, 当核介质达到一定的密度时有可能出现 $\omega_{K^-}(k=0) = 0$ 的情况, 此时即为 K 介子凝聚. 但值得注意的是 $\omega_{K^-}(k=0)$ 随 ρ_N 增加而下降的程度与 Σ_{KN} 的大小息息相关, 至今 Σ_{KN} 值仍没有被很好的确定, 同时对 K^+ 和 K^- 而言, Σ_{KN} 是否一定相同也不能确知. 目前一般取为 $\Sigma_{KN} = 2m_\pi$, 其中 m_π 为 π 介子质量. 在计算中, 对 K^+ 采用了 $\Sigma_{K^+N} = 0.248\text{GeV}$, 对 K^- 的 Σ_{K^-N} 首先研究了 K^- 动量谱随 Σ_{K^-N} 变化的情况, 之后的计算中都采用同文献 [2] 相同的参考值 $\Sigma_{K^-N} = 0.5068\text{GeV}$. 由上面的公式可以明显看出, Σ_{KN} 值将直接影响 K 介子的诸多方面, 因此 Σ_{KN} 值的研究在整个中高能重离子核反应 K 介子研究中也具有相当重要的地位.

3 结果与分析

首先需要分析的一个问题是: 既然有吸收存在, 那么这种吸收将是否或能在多大程度

上掩盖掉 K⁻ 介子对平均场的探测? 图 1 以 $^{58}_{28}\text{Ni} + ^{58}_{28}\text{Ni}$ 核系统为对象研究了碰撞参数取 $b = 3\text{fm}$ 时的 K⁻, K⁺ 动量谱随 Σ_{KN} 值变化的情况. 入射能量方面, 对 K⁺ 产生取 1.0GeV/u , 对 K⁻ 取 1.8GeV/u . 之所以采取这种取法是因为有报道在轻核重离子反应中, 当入射能量这样取的时候, K⁺ 与 K⁻ 的产额相近, 在下面的计算中, 都这样取值. 其中图 1(a) 对 K⁻, (b) 对 K⁺. 在图 1(a) 同 (b) 的比较中可以看出, Σ_{KN} 值对 K⁻ 动量谱的影响还是明显的. 这说明虽然有强烈的吸收存在, K⁻ 介子受核平均场的影响依然重要. 因而 K⁻ 介子能谱仍可同 K⁺ 介子一样反映出 K 介子在核物质中的性质.

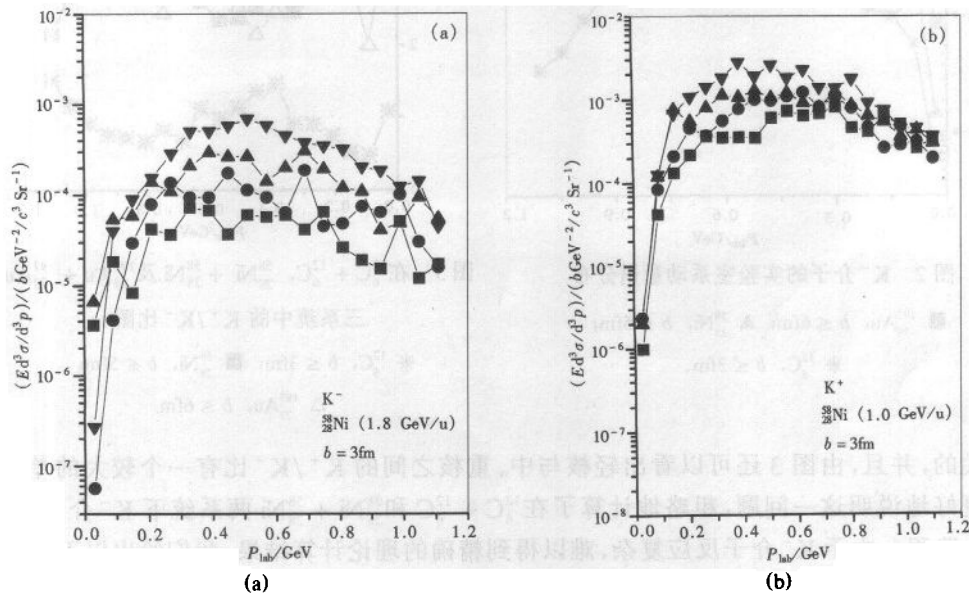
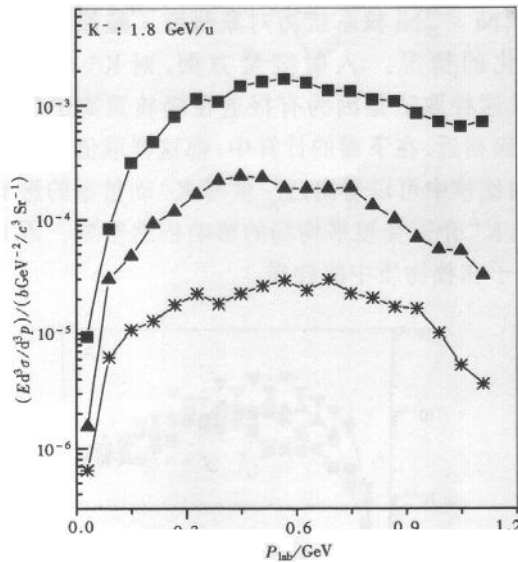


图 1 (a) K⁻ 介子及 (b) K⁺ 介子动量谱在 $^{58}_{28}\text{Ni} + ^{58}_{28}\text{Ni}$ 系统中随 Σ_{KN} 变化的情况

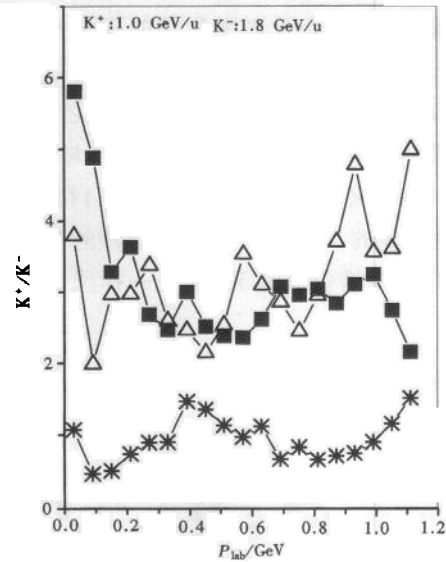
入射能量对 K⁺ 取 1.0GeV/u , 对 K⁻ 取 1.8GeV/u ;

■ $\Sigma_{\text{KN}} = 0.1\text{GeV}$, ● $\Sigma_{\text{KN}} = 0.3\text{GeV}$, ▲ $\Sigma_{\text{KN}} = 0.5068\text{GeV}$, ▼ $\Sigma_{\text{KN}} = 0.7\text{GeV}$.

因为 K⁻ 介子有强烈的吸收效应, 其产额及动量谱就必然受所考虑的核系统的大小的影响, 本文考虑了三个核系统: $^{12}_6\text{C} + ^{12}_6\text{C}$, $^{58}_{28}\text{Ni} + ^{58}_{28}\text{Ni}$ 和 $^{197}_{79}\text{Au} + ^{197}_{79}\text{Au}$. 图 2 先给出了三个系统中产生的 K⁻ 介子在实验室系下的能谱, 由于 $^{12}_6\text{C} + ^{12}_6\text{C}$, $^{58}_{28}\text{Ni} + ^{58}_{28}\text{Ni}$ 和 $^{197}_{79}\text{Au} + ^{197}_{79}\text{Au}$ 三个系统核半径的差别, 对其谱形分别做了 $b \leq 3\text{fm}$, $b \leq 5\text{fm}$ 及 $b \leq 6\text{fm}$ 的求和平均计算. 由图 2 可以清楚地看出, 由于系统大小的原因, 三谱之间各差一个数量级, 系统越大, 在相同入射能量段产生的 K⁻ 越多. 为了具体分析吸收对 K⁻ 谱所造成的影响, 有必要研究在不同系统下的 K⁺/K⁻ 比. 图 3 给出在三种不同系统中实验室系下 K⁺/K⁻ 比与 P_{Lab} 的依赖关系. 由图 3 可以明显看出 $^{12}_6\text{C} + ^{12}_6\text{C}$ 系统下的 K⁺/K⁻ 比 R^{C} 大约为 1 倍左右, 而 $^{58}_{28}\text{Ni} + ^{58}_{28}\text{Ni}$ 及 $^{197}_{79}\text{Au} + ^{197}_{79}\text{Au}$ 系统下的 K⁺/K⁻ 比 R^{Ni} 及 R^{Au} 大约为 3 倍左右, 必须指出, 对在 $^{58}_{28}\text{Ni} + ^{58}_{28}\text{Ni}$ 系统下的结果与李国强等人的计算结果^[2] 有所不同, 这可能是由具体计算的模型的细节有所不同引起. 本文着重研究吸收效应对 K⁻ 产生的影响, 由于实验结果的准确性尚待进一步提高, 将不对其具体数值做定量的分析. 由此可以看出 K⁺/K⁻ 比是和核系统大

图2 K^- 介子的实验室系动量谱分布

■ $^{197}_{79}\text{Au}$, $b \leq 6\text{fm}$; ▲ $^{58}_{28}\text{Ni}$, $b \leq 5\text{fm}$;
* $^{12}_6\text{C}$, $b \leq 3\text{fm}$.

图3 在 $^{12}_6\text{C} + ^{12}_6\text{C}$, $^{58}_{28}\text{Ni} + ^{58}_{28}\text{Ni}$ 及 $^{197}_{79}\text{Au} + ^{197}_{79}\text{Au}$ 三系统中的 K^+ / K^- 比图

* $^{12}_6\text{C}$, $b \leq 3\text{fm}$; ■ $^{58}_{28}\text{Ni}$, $b \leq 5\text{fm}$;
△ $^{197}_{79}\text{Au}$, $b \leq 6\text{fm}$.

小相关的,并且,由图3还可以看出轻核与中、重核之间的 K^+ / K^- 比有一个较大的差别.为了更好地说明这一问题,粗略地计算了在 $^{12}_6\text{C} + ^{12}_6\text{C}$ 和 $^{58}_{28}\text{Ni} + ^{58}_{28}\text{Ni}$ 两系统下 K^- 介子的平均吸收路程.由于 K^- 介子反应复杂,难以得到精确的理论计算结果,我们给出以下 K^- 介子的平均吸收路程的近似计算表达式:

$$\langle l \rangle_i = \frac{\langle v \rangle_i + \langle v \rangle_{i+1}}{2} \cdot \frac{n_i}{n_i - n_{i+1}} \cdot \Delta t_i \quad (8)$$

其中 $\langle v \rangle_i$ 及 $\langle v \rangle_{i+1}$ 分别为第 i 及第 $(i+1)$ 时刻 K^- 介子的平均速度, n_i 及 n_{i+1} 为第 i 及第 $(i+1)$ 时刻的所有 K^- 介子数, $\Delta t_{i, i+1}$ 为从第 i 时刻到第 $(i+1)$ 时刻的时间间隔,取 $\Delta t_{i, i+1} = 0.5\text{fm}/c$. 在计算 $\langle v \rangle_i$ 时做了两个近似假定: 1. 所考虑范围的全过程不再有 K^- 介子产生, 2. 不计入在 $\Delta t_{i, i+1}$ 时间间隔内吸收的 K^- 介子对 $\langle v \rangle_i$ 的影响. 这是基于以下两个基本考虑: (1) 取 i 的起始值为 K^- 产额最多的时刻值, 此后再产生的 K^- 介子很少, (2) 在 $\Delta t_{i, i+1}$ 内被吸收的 K^- 介子与此时的 K^- 介子总产额相比很少. 图4给出了分别计算 $^{12}_6\text{C} + ^{12}_6\text{C}$ ($b = 1\text{fm}$), $^{58}_{28}\text{Ni} + ^{58}_{28}\text{Ni}$ ($b = 3\text{fm}$) 及 $^{197}_{79}\text{Au} + ^{197}_{79}\text{Au}$ ($b = 3\text{fm}$) 时的平均吸收路程 $l_{(0)}^{\text{C}}$, $l_{(0)}^{\text{Ni}}$ 和 $l_{(0)}^{\text{Au}}$ 结果. 由图4可以明显看出: K^- 介子的平均吸收路程是随系统的变化而变化的, 系统越大, 其吸收路程就越小, 因此必将导致核系统对 K^- 介子吸收的程度就越大. 但同时, 当 K^- 介子的平均吸收路程大大小于其反应半径的时候, 核系统对 K^- 介子吸收的程度自然就会变化不大. 图3中的 R^{Ni} 及 R^{Au} 比 R^{C} 大及 R^{Ni} 与 R^{Au} 相比相差不大也正是表现了这两点. 从图4还可以看出两核碰撞后随着反应时间的推移, 两个碰撞核系统开始相离, 其碰撞区的核密度逐渐下降, 在 K^- 介子的平均吸收路程上就表现为其平均吸收路程

变长,如果对 K^- 介子的吸收发生在不同时刻,对相应的吸收程度也会有不同:愈到后来,吸收程度越弱.这一现象在下面对图 5 的具体的相关分析中将会看的更明显.

至此我们已经知道 K^- 介子的产生同 K^+ 一样也是同核系统的大小相关的,但 K^- 介子由于其平均吸收路程较小而有强烈的吸收存在,并且吸收的程度也受到核系统的影响,这在 K^+/K^- 比中表现出来.为了进一步从 K^- 产生的物理过程中研究 K^- 吸收的情况,在图 5 中分别给出了在 $^{12}_6\text{C} + ^{12}_6\text{C}$ (图(a)), $^{58}_{28}\text{Ni} + ^{58}_{28}\text{Ni}$ (图(b))及 $^{197}_{79}\text{Au} + ^{197}_{79}\text{Au}$ (图(c))三系统,入射能量为 $1.8\text{GeV}/u$,碰撞参数分别为 $b = 1, 2, 3\text{fm}$ 时 K^- 介子总产额及各道贡献随反应时间的演化.由图 5 可以看出:首先,在 $^{12}_6\text{C} + ^{12}_6\text{C}$, $^{58}_{28}\text{Ni} + ^{58}_{28}\text{Ni}$ 及 $^{197}_{79}\text{Au} + ^{197}_{79}\text{Au}$ 三系统下的 K^- 介子总产额依次递增约一个数量级;

K^- 的末态反应强烈,反映在吸收上表现为有相当数量的 K^- 被吸收.以取 $b = 3\text{fm}$ 时的 K^- 总产额为例, $^{12}_6\text{C} + ^{12}_6\text{C}$ 系统中 K^- 被吸收掉 43%,然而 $^{58}_{28}\text{Ni} + ^{58}_{28}\text{Ni}$ 和 $^{197}_{79}\text{Au} + ^{197}_{79}\text{Au}$ 系统中则分别被吸收掉 72% 和 73%,相差不大,这种强烈的吸收是由其相应的 K^- 介子平均吸收路程较小所致.同样,在 $^{58}_{28}\text{Ni} + ^{58}_{28}\text{Ni}$ 和 $^{197}_{79}\text{Au} + ^{197}_{79}\text{Au}$ 中 K^- 吸收比在 $^{12}_6\text{C} + ^{12}_6\text{C}$ 中 K^- 吸收强烈及在 $^{58}_{28}\text{Ni} + ^{58}_{28}\text{Ni}$ 中和在 $^{197}_{79}\text{Au} + ^{197}_{79}\text{Au}$ 中 K^- 吸收相差不大也都可由以上对 K^- 介子平均吸收路程的分析中加以解释.其中,还发现在 $^{12}_6\text{C} + ^{12}_6\text{C}$, b 取 3fm 的情况下,由 $\pi Y \rightarrow K^- B$ 道对 K^- 介子产生贡献最大,对此可以这么理解:虽然反应产生的 Y 很少,但这个道的截面较大.而当 b 取 3fm 时,两核相碰达到的核密度较小此时的 K^- 介子修正较弱,抑制了其他道的贡献,导致由奇异交换产生 K^- 介子的过程占有优势.再次,由 $B\pi \rightarrow K^- X$ 道产生 K^- 介子的过程在对 K^- 介子总产额的贡献中占有重要地位.随着系统的增大, $B\pi \rightarrow K^- X$ 道在总产额中的贡献由不明显变为明显,例如在 $b = 3\text{fm}$ 时 $B\pi \rightarrow K^- X$ 道在 $^{12}_6\text{C} + ^{12}_6\text{C}$, $^{58}_{28}\text{Ni} + ^{58}_{28}\text{Ni}$ 及 $^{197}_{79}\text{Au} + ^{197}_{79}\text{Au}$ 三系统中占总 K^- 产额的比分别为 23%, 36% 和 70%,这不难理解,因为随着系统的增大,相同入射能量下碰撞区的核密度也会达到更高,如图 6,给出三系统中取 $b = 3\text{fm}$ 时的碰撞中心区的核密度随时间的演化情况,可以看出系统越大,其所能达到的核密度就越高,产生的 π 就越多, $\sigma_{B\pi \rightarrow K^- X}$ 与 $\sigma_{NN \rightarrow K^- X}$ 又相当,所以 $B\pi \rightarrow K^- X$ 道对总产额的贡献就随核系统的增大而显现出来.同时从图 5 和图 6 可以看出,从反应初期到核密度达到最大的反应间隔内,在 $^{12}_6\text{C} + ^{12}_6\text{C}$ 和 $^{58}_{28}\text{Ni} + ^{58}_{28}\text{Ni}$ 两系统中,从道 $NN \rightarrow K^- X$ 产生的 K^- 并不是比道 $B\pi \rightarrow K^- X$ 产生的少,而是 $NN \rightarrow K^- X$ 道的吸收更强,例如在 $^{58}_{28}\text{Ni} + ^{58}_{28}\text{Ni}$ 系统, b 取 3fm 时由 $NN \rightarrow K^- X$ 道产生的 K^- 介子约被吸收掉 80%,而由 $B\pi \rightarrow K^- X$ 道产生的 K^- 介子约被吸收掉 69%.其原因在于, π 是产生粒子,由于受 Δ 半衰期的影响, π 的大量产生有一个时间推移,因而导致由 $B\pi \rightarrow K^- X$ 道相对于 $NN \rightarrow K^- X$ 道对产生 K^- 的贡献有一

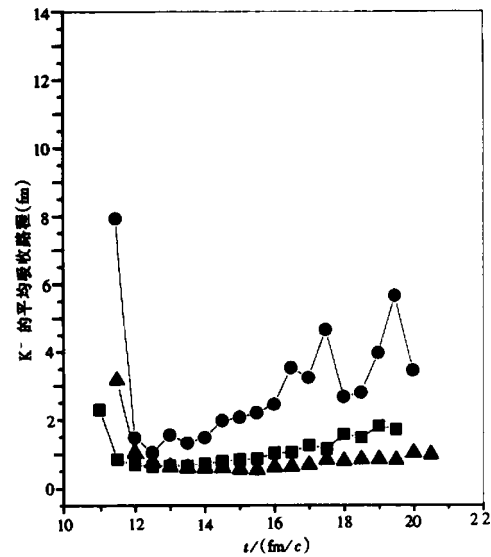
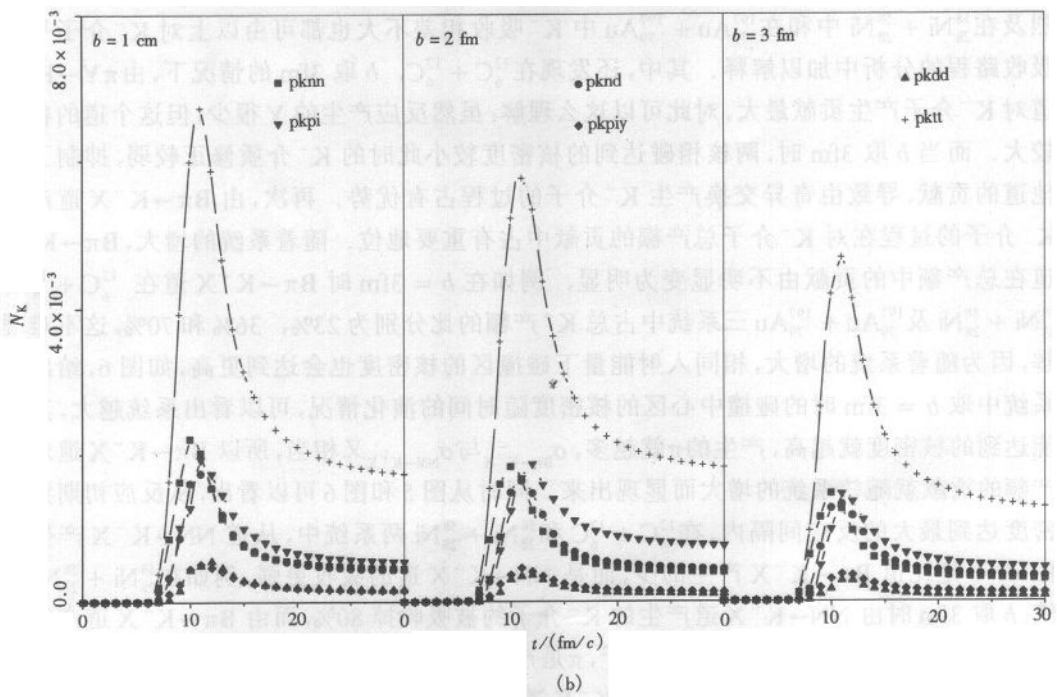
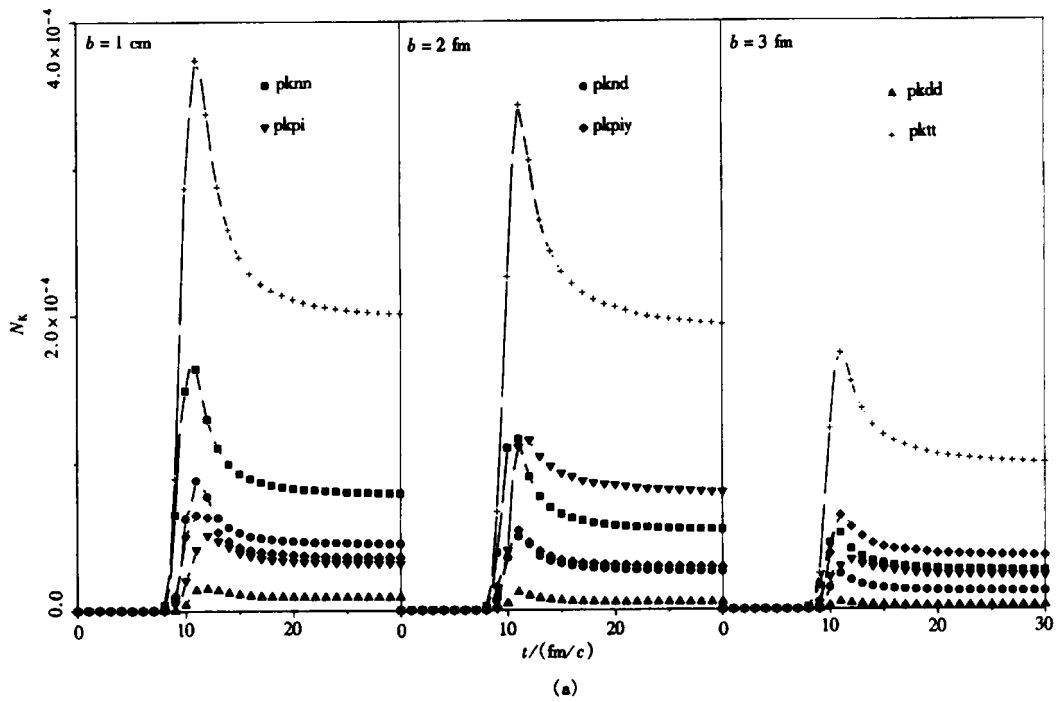


图 4 在 $^{12}_6\text{C} + ^{12}_6\text{C}$, $^{58}_{28}\text{Ni} + ^{58}_{28}\text{Ni}$ 及 $^{197}_{79}\text{Au} + ^{197}_{79}\text{Au}$ 三系统下 K^- 介子的平均吸收路程

● $l_{(t)}^C(b = 1\text{fm})$, ■ $l_{(t)}^{\text{Ni}}(b = 3\text{fm})$, ▲ $l_{(t)}^{\text{Au}}(b = 3\text{fm})$.

个时间推迟, 此时的中心区密度已开始下降, 同时由图 4 可以看出, 此时的 K^- 的平均吸收路程开始增加. 从而使得这种反应的相对时间推迟导致 $B\pi \rightarrow K^- X$ 道比 $NN \rightarrow K^- X$ 道的相对吸收小. 由于反应中 π 的增加和 $B\pi \rightarrow K^- X$ 过程比 $NN \rightarrow K^- X$ 过程相对的时间推移是



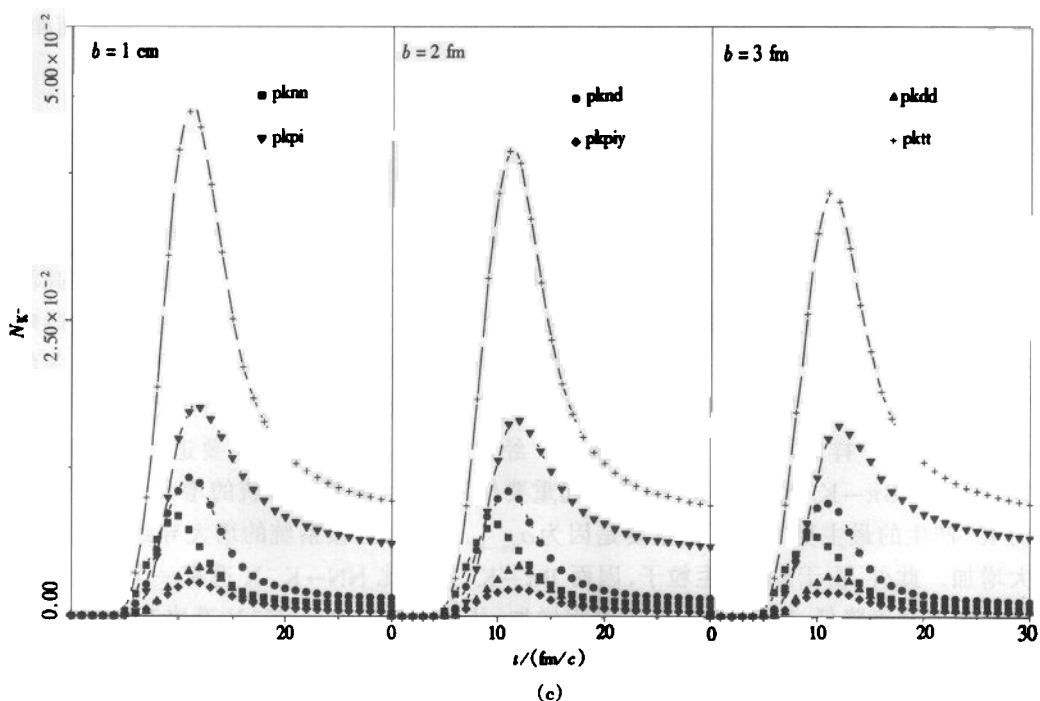


图 5 K^- 在 ${}^6_6\text{C} + {}^6_6\text{C}$, ${}^{58}_{28}\text{Ni} + {}^{58}_{28}\text{Ni}$ 及 ${}^{197}_{79}\text{Au} + {}^{197}_{79}\text{Au}$ 三系统中产额随反应时间的变化情况

●, ▲, ▼, ◆ 在 (a), (b) 及 (c) 图中代表相同的含义, 即都分别代表 K^- 总产额和来自 $NN \rightarrow K^-X$, $N\Delta \rightarrow K^-X$, $\Delta\Delta \rightarrow K^-X$, $B\pi \rightarrow K^-X$ 和 $\pi Y \rightarrow K^-X$ 道的贡献.

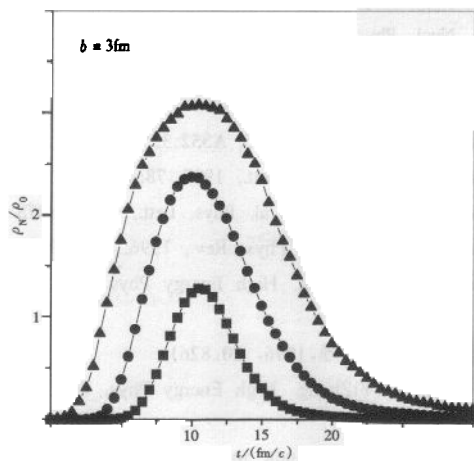


图 6 在 ${}^6_6\text{C} + {}^6_6\text{C}$, ${}^{58}_{28}\text{Ni} + {}^{58}_{28}\text{Ni}$ 及 ${}^{197}_{79}\text{Au} + {}^{197}_{79}\text{Au}$ 三系统中 K^- 产生处的核密度随反应时间的变化情况

■ ${}^6_6\text{C}$, ● ${}^{58}_{28}\text{Ni}$, ▲ ${}^{197}_{79}\text{Au}$.

造成 $B\pi \rightarrow K^- X$ 道成为最重要的产生 K^- 的最主要的贡献, 这将影响最终 K^- 的产额和能谱.

4 结论

本文研究了在中高能重离子碰撞中 K^- 介子的能谱及产额. 通过 K^- 能谱随 Σ_{KN} 变化可以看出 K^- 受平均场的影响依然明显, 说明在中高能重离子碰撞中 K^- 仍能提供在高温、高密核物质中 K^- 的性质的信息. 我们着重讨论了 K^- 介子的吸收效应对其产生的影响. 研究结果看出 K^- 的产生及被核物质吸收的程度是与系统的大小和具体的产生道相关的. K^- 的平均吸收路程对轻核系统如 $^{12}_6\text{C} + ^{12}_6\text{C}$ 和对中等核及重核系统如 $^{58}_{28}\text{Ni} + ^{58}_{28}\text{Ni}$ 和 $^{197}_{79}\text{Au} + ^{197}_{79}\text{Au}$ 是明显不一样的, 前者比后者大的多. 经过对 K^- 产生的各个主要道的贡献的细致研究, 还发现 $B\pi \rightarrow K^- X$ 道对 K^- 的产生起重要作用, 并且随着核系统的增大, 这个道逐渐成为 K^- 产生的最主要的道. 这主要是因为 $\sigma_{B\pi \rightarrow K^- X}$ 较大, 且核系统的增大导致了 π 产额的大大增加. 此外, 由于 π 是产生粒子, 因而 $B\pi \rightarrow K^- X$ 道比 $NN \rightarrow K^- X$ 道有一个时间延迟, 随着核物质密度降低, K^- 的平均吸收路程增加, 从而导致了 $B\pi \rightarrow K^- X$ 道比 $NN \rightarrow K^- X$ 道的吸收程度小. 这导致了 $B\pi \rightarrow K^- X$ 成为 K^- 产生的最主要的贡献, 因而也影响了 K^- 的能谱. 总之, 我们的研究表明 K^- 在核介质中的吸收效应对 K^- 介子的产生有着强烈的影响. 其平均吸收路程明显依赖于核系统的大小及具体的产生道, 从而直接影响 K^+ / K^- 比及 K^- 的出射能谱.

参考文献 (References)

- 1 Cassing W, Bratkovskaya E L, Mosel U et al. Nuclear Physics, 1997, A 614:415
- 2 LI G Q, KO C M, Nucl. Phys., 1997, A625:372
- 3 Waas T, Rho M, Weise W. Nucl. Phys., 1997, A617:449
- 4 LI QingFeng, LI ZhuXia. High Energy Phys. and Nucl. Phys., 1998, 22:1119
(李庆峰, 李祝霞, 高能物理与核物理, 1998, 22: 1119)
- 5 Ritman J et al (FOPI Collaboration). Z. Phys., 1995, A352:355
- 6 Barth R et al (Kaos Collaboration). Phys. Rev. Lett., 1997, 78:4027
- 7 MAO GuangJun, LI ZhuXia, ZHUO YiZhong et al. Phys. Lett., 1996, B378:5
- 8 MAO GuangJun, LI ZhuXia, ZHUO YiZhong. Phys. Rev., 1996, C53:2933
- 9 MAO GuangJun, LI ZhuXia, ZHUO YiZhong. High Energy Phys. and Nucl. Phys. (in Chinese), 1996, 20: 826
(茅广军, 李祝霞, 卓益忠. 高能物理与核物理, 1996, 20: 826)
- 10 MAO GuangJun, LI ZhuXia, ZHUO YiZhong. High Energy Phys. and Nucl. Phys. (in Chinese), 1996, 20: 925
(茅广军, 李祝霞, 卓益忠. 高能物理与核物理, 1996, 20: 925)
- 11 MAO GuangJun et al. High Energy Phys. and Nucl. Phys. (in Chinese), 1996, 20:1053
(茅广军等. 高能物理与核物理, 1996, 20: 1053)
- 12 MAO GuangJun, LI ZhuXia, ZHUO YiZhong et al. Phys. Lett., 1994, B327:183
- 13 Bertsch G F, Brown G E, Koch V et al. Nucl. Phys., 1988, A490:745
- 14 Dover C, Walker G. Phys. Reports, 1982, 89:1

Influence of the K^- Mesons Absorption to Their Production in the Heavy-Ion Collisions*

LI QingFeng^{1,3} LI ZhuXia^{1,2,4} SUN XiuQuan³

1(China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413, China)

2(Center of Nuclear Theory, National Laboratory of Heavy Ion Accelerator, Lanzhou 730000, China)

3(Physics Department, Northwest University, Xi'an 710069, China)

4(Institute of Theoretical Physics, Academia Sinica, Beijing 100080, China)

Abstract We have investigated the yield and the spectrum of the K^- mesons in the heavy-ion collisions with the relativistic RBUU approach. It's found that the ratio of the yield of K^+ to K^- depends on the size of the nuclear systems. One main reason is caused by the absorption effect of the K^- mesons in the nuclear medium. We have found that the mean-absorption path of the K^- mesons are different for light nuclear system and for the middle or heavy nuclear systems. The extent of the absorption of K^- mesons is different for different elementary production channels. It's one important reason to make the channel $B\pi \rightarrow K^- X$ play an important role in the K^- production, especially for light and middle systems.

Key words heavy-ion collisions, K^- mesons, absorption

Received 9 November 1998

* Project (19675069) Supported by National Natural Science Foundation of China