

快报

核内 Δ 吸收截面*茅广军¹ 李祝霞² 卓益忠² 赵恩广¹

1 (中国科学院理论物理研究所 北京 100080)

2 (中国原子能科学研究院 北京 102413)

1996-04-05 收稿

摘 要

在相对论 BUU 方程框架内给出计算核内 Δ 吸收截面的严格公式. 研究了核内 $\Delta N \rightarrow NN$ 散射截面的介质效应, 发现阈能附近的 Δ 吸收截面在介质中被压低. 数值结果与 TAPS 实验组的最新实验结果符合得很好.

关键词 相对论 BUU, 介质效应, 核内 Δ 吸收截面.

最近 GSI 的实验^[1]表明, 在入射能量为 2 GeV/u 的 Au+Au 反应中, 30% 以上的核子将被激发到共振态, 尤其是 Δ 共振态. 这说明在中、高能重离子反应中 Δ 粒子起着至关重要的作用. 为了研究反应的动力学过程, 必须知道核内 Δ 产生和吸收截面. 在文献[2—4]中已经对核内 Δ 产生截面做了一些讨论, 但核内 Δ 吸收截面从未被仔细研究过. 通常情况下都是利用细致平衡原理, 从自由空间的 Δ 产生截面的实验结果来得到自由空间的 Δ 吸收截面^[5,6]. 由于 $\Delta N \rightarrow NN$ 反应过程只能在介质中实现, 与之相应的反应截面必定是密度依赖的. 同时, 实验上不能直接测得核内 Δ 吸收截面. 最近 Holzmann 等人利用一定的理论模型分析实验结果, 间接得到了核内 Δ 吸收截面的实验数据^[7], 在某种程度上实验结果是模型依赖的. 考虑到在输运模型中同时自洽地处理核内 Δ 产生和吸收截面的重要性, 有必要从理论上做进一步的仔细研究. 本文在相对论 BUU 方程框架内讨论这个问题.

文献[4]中已给出核子分布函数所满足的、自洽的相对论 BUU 方程, 其中碰撞项的非弹性部分可写为

$$\begin{aligned}
 C_{in}(x, p) &= \frac{1}{2} \int \frac{d^3 p_2}{(2\pi)^3} \int \frac{d^3 p_3}{(2\pi)^3} \int \frac{d^3 p_4}{(2\pi)^3} (2\pi)^4 \delta^{(4)}(p + p_2 - p_3 - p_4) \\
 &\quad \cdot W_{in}(p, p_2, p_3, p_4)(F_2 - F_1) \\
 &= \frac{1}{2} \int \frac{d^3 p_2}{(2\pi)^3} v \sigma_{in}(s, t)(F_2 - F_1) d\Omega.
 \end{aligned} \tag{1}$$

* 国家自然科学基金, 核工业部基金与中国博士后基金资助.

$\sigma_{in}(s, t)$ 的表达式在文献[4]中给出. 上式没有明显地包含 Δ 粒子的宽度, 在文献[4]的数值计算中引入了与宽度相关的 Δ 粒子中心质量 $\langle M_\Delta \rangle$, 这是一种考虑宽度效应的有效方法, 有利于简化计算. 如果将 Δ 粒子的宽度在碰撞项中明显表示出来, (1)式可变为

$$C_{in}(x, p) = \frac{1}{2N} \int \frac{d^3p_2}{(2\pi)^3} \int F(M_\Delta^2) dM_\Delta^2 v \sigma_{in}(s, t) (F_2 - F_1) d\Omega, \quad (2)$$

其中 $F(M_\Delta^2)$ 是含有 Δ 粒子宽度的几率分布函数^[8], N 是归一化因子. 利用(2)式, Δ 产生和吸收截面可表示为^[4-6]

$$\sigma_{NN \rightarrow N\Delta} = \frac{1}{32N} \int F(M_\Delta^2) \sigma_{in}(s, t) d\Omega dM_\Delta^2, \quad (3)$$

$$\sigma_{\Delta N \rightarrow NN} = \frac{1}{256N} \int \frac{p_{NN}^2}{p_{N\Delta}^2} \sigma_{in}(s, t) d\Omega, \quad (4)$$

上式中 p_{NN} 和 $p_{N\Delta}$ 分别是 NN 和 N Δ 态的质心动量. 如果仅仅考虑 $p_{N\Delta}/p_{NN}$ 对宽度的依赖, (4)式与(3)式的比给出文献[5]的结果. 在(4)式中入射的 Δ 粒子被认为具有某个固定质量, 考虑到重离子反应过程中的 Δ 粒子对质量有一个分布, 对初态做平均以后得到

$$\sigma_{\Delta N \rightarrow NN} = \frac{1}{256N^2} \int \frac{p_{NN}^2}{p_{N\Delta}^2} F(M_\Delta^2) \sigma_{in}(s, t) d\Omega dM_\Delta^2, \quad (5)$$

上式给出计算 Δ 吸收截面的严格表达式. 如果不考虑 $p_{NN}^2/p_{N\Delta}^2$ 对宽度的依赖, (5)式与(3)式的比得出文献[6]的结果. 由于在文献[4]中已经得到了 $\sigma_{in}(s, t)$ 的解析表达式, (5)式中的所有量都可以对 dM_Δ^2 做积分. 我们的模型提供了一个更为严格地考虑 Δ 粒子宽度的方法.

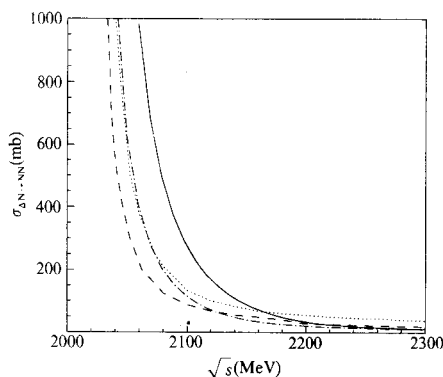


图1 自由空间($\rho \rightarrow 0$)的 Δ 吸收截面

s 是自由空间两粒子系统总能量.

— 本文结果; - - - 见文中解释;
- - - 文献[5]结果; ····· 文献[6]结果.

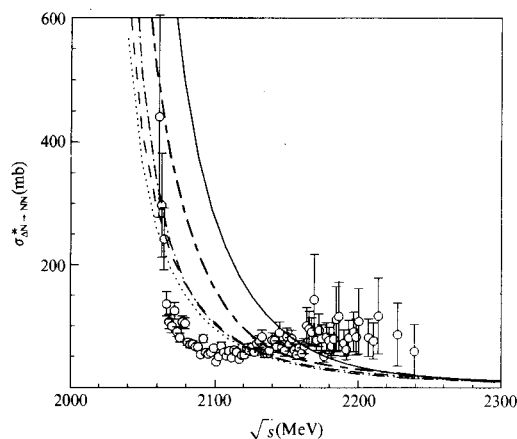


图2 核内 Δ 吸收截面

实验数据取自文献[7]. — $\rho=0$;

- - - $\rho=1/2\rho_0$; ····· $\rho=\rho_0$;

- - - $\rho=3/2\rho_0$; - - - $\rho=2\rho_0$.

图 1 给出在 $\rho \rightarrow 0$ 极限下的 Δ 吸收截面. 点划线表示将因子 p_{NN}^2 / p_{NA}^2 提到积分号以外, 但 Δ 粒子的宽度对此因子的影响通过 $\langle M_\Delta \rangle$ 引入计算结果. 图中还给出了 Danielewicz^[5] 和 Wolf^[6] 等人的结果. 通过比较这些曲线很容易发现, 在阈能附近严格考虑宽度的效应是很重要的.

图 2 给出核内 Δ 吸收截面随能量和密度的变化, 其中已经考虑了平均场效应和介质的屏蔽效应^[4](包括 π 介子自能的实部和虚部). 图中的实验数据是在 $\rho = \rho_0$ 处得到的^[7], 误差棒表示统计误差, 如果考虑文献[7]中图 2(d) 给出的系统误差, 则本文在 $\rho = \rho_0$ 处计算的有效截面全部在误差范围内. 由于在计算核内 Δ 吸收截面时没有可调参数, 这些结果表现出在我们的理论框架内研究核内两体散射截面的优越性.

从图 2 可以看出 Δ 吸收截面在阈能附近有很强的密度依赖性. 总的来讲, 在 $\rho \leq 2\rho_0$ 时核内 Δ 吸收截面要比自由空间的小. 考虑到核内 Δ 产生截面要大于自由空间的 Δ 产生截面^[3,4], 可以推测在重离子反应中将会有大量的 Δ 粒子产生, 这与 GSI 的实验结果是一致的^[1].

感谢 Dr. R. Holzmann 在本文正式发表以前将实验数据提供给我们.

参 考 文 献

- [1] R. Averbeck, R. Holzmann, A. Schubert *et al.*, GSI Ann. Rep., (1994) 80.
- [2] B. ter Haar, R. Malfliet, *Phys. Rev.*, **C36** (1987) 1611.
- [3] G. F. Bertsch, G. E. Brown, V. Koch *et al.*, *Nucl. Phys.*, **A490** (1988) 745.
- [4] Guangjun Mao, Zhuxia Li, Yizhong Zhuo *et al.*, *Phys. Rev.*, **C49** (1994) 3137; Guangjun Mao, Zhuxia Li, Yizhong Zhuo *et al.*, *Phys. Lett.*, **B327** (1994) 183.
- [5] P. Danielewicz, G. F. Bertsch, *Nucl. Phys.*, **A533** (1991) 712.
- [6] Gy. Wolf, W. Cassing, U. Mosel, *Nucl. Phys.*, **A545** (1992) 139c; *Nucl. Phys.*, **A552** (1993) 549.
- [7] R. Holzmann, A. Schubert, S. Hlaváček *et al.*, *Phys. Lett.*, **B366** (1996) 63.
- [8] Gy. Wolf, G. Batko, W. Cassing *et al.*, *Nucl. Phys.*, **A517** (1990) 615.

In-medium Δ Absorption Cross Section

Mao Guangjun¹ Li Zhuxia² Zhuo Yizhong² Zhao Enguang¹

¹ (*Institute of Theoretical Physics, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080*)

² (*China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413*)

Received 5 April 1996

Abstract

An exact expression for calculating the in-medium Δ absorption cross section is obtained within the framework of the self-consistent relativistic BUU approach. The medium effects on the $\Delta N \rightarrow NN$ cross section is investigated, and it is found that the effective cross section is suppressed in the medium near the threshold energy. The results are in a good agreement with the most recent experimental data of the TAPS collaboration.

Key words relativistic BUU, medium effects, in-medium Δ absorption cross section.