

标量介子场对 $(\Omega\Omega)_0^+$ 态生成截面的计算*

余友文 张宗焯

(中国科学院高能物理研究所 北京 100049)

摘要 研究了 $\Omega + \Omega \rightarrow (\Omega\Omega)_0^+ + \sigma(\epsilon)$ 过程生成 $(\Omega\Omega)_0^+$ 双重子态的截面. 结果表明这个过程的生成截面比已计算过的其他 $\Omega + \Omega \rightarrow (\Omega\Omega)_0^+ + X$ (X 为标介子或矢量介子) 过程的截面要大一至两个量级. 因此这可能是一个值得考虑的 $(\Omega\Omega)_0^+$ 生成途径.

关键词 双重子态 夸克模型 反应截面

1 引言

在多夸克态的研究中, 我们曾指出由两个 Ω 组成的 $(\Omega\Omega)_0^+$ 态可能是一个深束缚的双重子态^[1], 分析了这个态的物理特性, 并建议在高能重离子碰撞实验中寻找^[2]. 要在实验中寻找 $(\Omega\Omega)_0^+$, 需要研究它的生成机制. $(\Omega\Omega)_0^+$ 的生成是一个非常复杂的问题, 有可能在相对论性重离子碰撞中直接由多个夸克组成; 也可能在重离子碰撞中先生成 Ω , 再由两个 Ω 相遇而生成 $(\Omega\Omega)_0^+$; 还有可能通过其他途径生成. 为了给在实验中寻找 $(\Omega\Omega)_0^+$ 态提供一些信息, 曾用有效哈密顿量方法计算了 $\Omega + \Omega \rightarrow (\Omega\Omega)_0^+ + X$, ($X = \gamma, \eta, \eta', \phi$); $\Omega + \Xi \rightarrow (\Omega\Omega)_0^+ + K(K^*)$ 以及通过二步过程 $\Omega + N \rightarrow (N\Omega)_2^+ + \pi(\gamma)$ 和 $\Omega + (N\Omega)_2^+ \rightarrow (\Omega\Omega)_0^+ + N$ 生成 $(\Omega\Omega)_0^+$ 的截面^[3]. Pal 和 Ko 等人在只考虑了产生 γ 光子和 η 介子过程的情况下, 估算了在相对论重离子碰撞中 $(\Omega\Omega)_0^+$ 的产生率, 在 RHIC 能区 $\sqrt{s} = 130 \text{ AGeV}$ 时, $(\Omega\Omega)_0^+$ 的生成率约为 $3 \times 10^{-7}/\text{event}$. 但当重离子碰撞中产生的 Ω 的动量达到 2 GeV 时, $(\Omega\Omega)_0^+$ 的生成率将增加 2—3 个量级^[4].

在以前的计算中, 参与强作用过程的介子都是实验上已经肯定的赝标介子和矢量介子. 对于 0^+ 的标量介子由于在实验上只给出了一个很宽的共振而无确定的能量指定, 因此在以前的计算中对标量介

子的作用一直未做考虑. 然而大家都知道在核力的介子交换理论中, 为了得到中程吸引力以符合氦核基态能量及两核子散射相移的实验必须引进标量介子场 σ . 在两重子系统手征 $SU(3)$ 夸克模型中, 标量 0^+ 场是手征对称要求而必须包含的一个场量, 在夸克层次的计算中, 也显示出标量场作用的重要性, 同样它提供的吸引力可以给出与实验相符合的结果^[5]. 这都说明了尽管 σ 场的结构并不清楚, 但在实际计算中确实应该考虑标量场的作用. 另一方面在 2002 年的粒子表中也给出了能量在 600 MeV 处存在一个宽度较大的 f_0 (或 σ) 介子^[6]. 为此, 本文计算了 $\Omega + \Omega \rightarrow (\Omega\Omega)_0^+ + \sigma(\epsilon)$ 过程生成 $(\Omega\Omega)_0^+$ 的截面, 为进一步估算在相对论性重离子碰撞中产生 $(\Omega\Omega)_0^+$ 的几率提供多一些信息.

2 计算结果及讨论

在这里, 采用与参考文献[3]中给出的相同的计算方法. 计算同样是在强子层次进行, Ω 和介子均看作强子. 但 $(\Omega\Omega)_0^+$ 态中两个 Ω 之间的相对运动波函数和 $(\Omega\Omega)_0^+$ 的能量都从手征 $SU(3)$ 夸克模型的计算中导出.

重子和标量介子的相互作用顶角函数可写为

$$H_{\Omega\sigma} = ig_{\Omega\sigma} \int \bar{\Psi}_\Omega(x) \Psi_\Omega(x) \phi_\sigma(x) dx, \quad (1)$$

在方程(1)中, $g_{\Omega\sigma}$ 是 Ω 和 σ 的顶角耦合常数, 它的

数值由 $NN\pi$ 的顶角耦合常数的实验值 $\frac{g_{m\pi\pi}}{\sqrt{4\pi}} = 3.70$ 和手征 $SU(3)$ 夸克模型中的关系给出, 由此定出的数值为 $g_{\Omega\Omega\sigma} = 7.864$. 应用与参考文献 [3] 同样的方法, 生成标量介子的反应 $\Omega + \Omega \rightarrow (\Omega\Omega)_0^+ + \sigma$ 的矩阵元可以用散射振幅 T_{fi}^σ 表示如下:

$$\langle \mathbf{k}, (\Omega\Omega)_0^+ | H_{\Omega\Omega\sigma}(1) + H_{\Omega\Omega\sigma}(2) | \Omega\Omega\mu_1\mu_2 \rangle = (2\pi)^4 \delta(p_i - p_f - k) T_{fi}^\sigma, \quad (2)$$

这里 $|\Omega\Omega\mu_1\mu_2\rangle$ 是初态两个 Ω 粒子的反对称波函数, $\mu_1\mu_2$ 为自旋的磁量子数, p_i 为初态两个 Ω 的四动量, p_f 和 k 分别为末态 $(\Omega\Omega)_0^+$ 和 σ 介子的四动量. 在质心系中的散射振幅为

$$T_{fi}^\sigma = ig_{\Omega\Omega\sigma} \left(\frac{1}{2\pi}\right)^6 (4\pi)^2 \frac{1}{\sqrt{\omega_k}} C_{3/2\mu_1 3/2\mu_2}^{00} \sum_l (1 + (-1)^l) A_l (Y_l(\hat{\mathbf{k}}) Y_l(\hat{\mathbf{p}}))_0, \quad (3)$$

$$A_l = \sqrt{\frac{2l+1}{4\pi}} \int \varphi_0^*(r) j_l\left(\frac{1}{2}kr\right) j_l\left(\frac{1}{2}pr\right) r^2 dr. \quad (4)$$

在方程(3)和(4)中, \mathbf{p} 表示初态两个 Ω 的相对动量, \mathbf{k} 为末态 $(\Omega\Omega)_0^+$ 与 σ 介子间的相对动量. $\varphi_0^+(r)$ 是 $(\Omega\Omega)_0^+$ 的内部波函数. 由散射振幅可以得到过程的总截面为

$$\sigma_{fi}^\sigma = \pi g_{\Omega\Omega\sigma}^2 \frac{1}{v_{rel}} \frac{kE_{0^+}}{E_{0^+} + \omega_k} \sum_l (1 + (-1)^l)^2 A_l^2. \quad (5)$$

公式(5)中的 v_{rel} 是初态两个 Ω 的相对速度, E_{0^+} 是 $(\Omega\Omega)_0^+$ 的能量, E_{0^+} 和 $\varphi_0^+(r)$ 由手征 $SU(3)$ 夸克模型的两集团生成坐标方法的计算中得到^[2]. 对于给定的初态动量 p , k 可由能动量守恒得到. 由(5)式计算给出总截面的数值. 图 1 给出了 $m_\sigma = 550\text{MeV}$, 600MeV 和 650MeV 时生成 $(\Omega\Omega)_0^+$ 的总截面随 p 变化的关系.

相似的方法可以用来研究 $\Omega + \Omega \rightarrow (\Omega\Omega)_0^+ + \epsilon$ 过程, 对于 ϵ 介子, 它的质量 $m_\epsilon = 980\text{MeV}$, 耦合常数

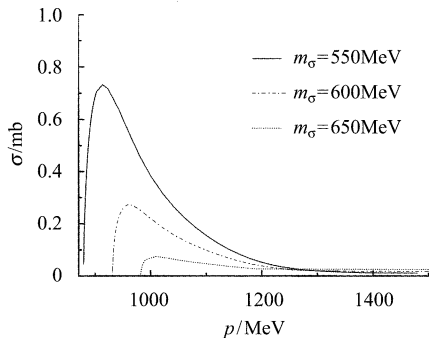


图 1 $\Omega + \Omega \rightarrow (\Omega\Omega)_0^+ + \sigma$ 总截面随 p 的变化

$g_{\Omega\Omega\epsilon}$ 可以用 $g_{\Omega\Omega\sigma}$ 相同的方法得到, $g_{\Omega\Omega\epsilon} = 9.08$. 图 2 给出了 $m_\epsilon = 980\text{MeV}$ 时生成 $(\Omega\Omega)_0^+$ 的总截面随 p 变化的关系.

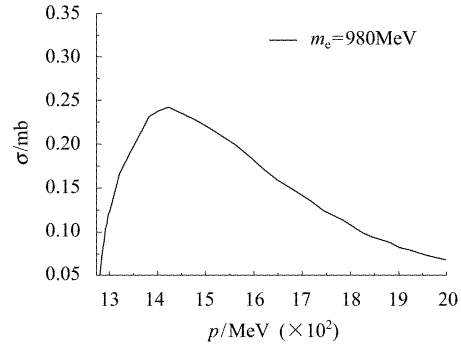


图 2 $\Omega + \Omega \rightarrow (\Omega\Omega)_0^+ + \epsilon$ 总截面随 p 的变化

为了与生成赝标介子及矢量介子的截面作比较, 对各种介子的情况, 分别选取了一些对应初态动量为 p 值的生成截面列于表 1.

表 1

介子	介子质量/MeV	阈值/MeV	初态动量 p /MeV	生成截面 σ		
η	549	877	≈ 1000	$\approx 4.0\mu\text{b}$		
			≈ 1200	$\approx 3.0\mu\text{b}$		
η'	980	1259	≈ 2000	$\approx 0.5\mu\text{b}$		
			≈ 3000	$\approx 2.5\mu\text{b}$		
K	495	1103	≈ 2000	$\approx 1.0\mu\text{b}$		
			≈ 2500	$\approx 2.0\mu\text{b}$		
K^*	892	1412	≈ 2000	$\approx 5.0\mu\text{b}$		
			≈ 2500	$\approx 20\mu\text{b}$		
ϕ	1020	1310	≈ 2000	$\approx 5.0\mu\text{b}$		
			≈ 2700	$\approx 25\mu\text{b}$		
σ	550	879	≈ 900	$\approx 0.7\text{mb}$		
			≈ 1000	$\approx 0.38\text{mb}$		
			600	932	≈ 950	$\approx 0.25\text{mb}$
			≈ 1000	$\approx 0.2\text{mb}$		
ϵ	980	1277	650	982	≈ 1000	$\approx 0.08\text{mb}$
			≈ 1100	$\approx 0.05\text{mb}$		
			≈ 1300	$\approx 0.12\text{mb}$		
			≈ 1400	$\approx 0.25\text{mb}$		

从表 1 可清楚地看出通过产生赝标介子生成的 $(\Omega\Omega)_0^+$ 截面为 μb 量级, 产生矢量介子生成的 $(\Omega\Omega)_0^+$ 截面在高动量区可以达到几十 μb . 但是产生标量介子生成的 $(\Omega\Omega)_0^+$ 截面可以达到 $0.1\text{—}0.7\text{mb}$,

比矢量介子的情况大几十倍,比赝标介子的情况大两个数量级.因此,尽管标量介子的结构不够清楚,我们仍然认为在估算 $(\Omega\Omega)_0^+$ 的生成截面时,应该考

虑标量介子的贡献.此工作的结果为在估算 $(\Omega\Omega)_0^+$ 的生成截面中包括标量介子的贡献提供了一些信息.

参考文献 (References)

- 1 YU Y W, ZHANG Z Y, YUAN X Q. *Commun. Theor. Phys.*, 1999, **31**:1
- 2 ZHANG Z Y, YU Y W, CHING C R et al. *Phys. Rev.*, 2000, **C61**: 065204
- 3 YU Y W, WANG P, ZHANG Z Y et al. *Phys. Rev.*, 2002, **C66**: 015205; YU Y W, WANG P, ZHANG Z Y et al. *HEP & NP*, 2002, **26**:46(in Chinese)
(余友文,王平,张宗焯等.高能物理与核物理,2002,**26**:46)
- 4 PAL S, KO C M, ZHANG Z Y. *nucl-th/0107070*
- 5 ZHANG Z Y, YU Y W, SHEN P N et al. *Nucl. Phys.*, 1997, **A625**: 59
- 6 *Phys. Rev. D Particles and Fields* 1 July 2002 Part 1; Review of Particle Physics, Vol. 66, Number1-1

$\Omega + \Omega \rightarrow (\Omega\Omega)_0^+ + \text{Scalar Meson Cross Section Calculation}^*$

YU You-Wen ZHANG Zong-Ye

(Institute of High Energy Physics, CAS, Beijing 100049, China)

Abstract The cross section of $\Omega + \Omega \rightarrow (\Omega\Omega)_0^+ + \sigma(\epsilon)$ is studied by using an effective Hamiltonian method. The results show that the scalar meson production cross sections are about 1 to 2 order larger than those of the pseudo-scalar mesons or vector mesons, so the scalar meson production might be an important process for $(\Omega\Omega)_0^+$ production.

Key words dibaryon, quark model, reaction cross section