

一个新的双重子态 $(\Omega\Omega)_{J^P=0^+}$ 的研究*

张宗焯¹ 余友文¹ 庆承瑞² 何祚庥² 陆中道³

1 (中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

2 (中国科学院理论物理研究所 北京 100080)

3 (中国原子能科学研究院 北京 102413)

摘要 用手征 $SU(3)$ 夸克模型对双重子态 $(\Omega\Omega)_{0^+}$ 的结构进行了研究, 这个双重子态的结合能约 100MeV, 2 个 Ω 间均方根距离 0.84fm, 初步估计其平均寿命约是自由 Ω 寿命的两倍. 由于这些有兴趣的性质以及带有两个负电荷的特性, 它有利于在重离子碰撞实验过程中去识别.

关键词 双重子态 夸克模型 手征对称性

1 引言

双重子态的研究是一个非常意义的研究领域, 它不仅是检验 QCD 理论及探索短距离区夸克-胶子特性的有效场所, 并且将揭开一个至今人们还不知道的新物质的新物理现象的研究. 20 多年来虽然对 H 粒子, d' 和 d^* 等双重子态进行了很多研究, 遗憾的是至今在实验上并未证实, 在理论上也无一个确切的预言. 近年来给出了手征 $SU(3)$ 夸克模型, 在这个模型中把夸克间的中程作用势取为夸克场与 $SU(3)$ 手征场的耦合, 用这个模型研究了核子-核子 ($N-N$) 和超子核子 ($Y-N$) 相互作用的性质, 得到了与实验符合较好的结果^[1]. 随后又用这同一个模型对六夸克集团态和部分双重子态进行了研究, 结果发现奇异数是 -6 的 $(\Omega\Omega)_{0^+}$ 态是一个深度束缚的双重子态, 结合能 $B_{(\Omega\Omega)_{0^+}} = 116\text{MeV}$ ^[2,3]. 本文着重讨论 $(\Omega\Omega)_{0^+}$ 态结构的特点, 深度束缚的物理原因以及估计它在相对论重离子碰撞中的生成几率.

2 计算结果与讨论

手征 $SU(3)$ 夸克模型在文献[1]中已详细给出. 从手征 $SU(3)$ 模型出发, 用与计算 $N-N$ 及 $Y-N$ 散射相同的一组参数, 进行了双重子系统的束缚态的动力学计算. 在夸克层次共振群方法 (RGM) 的计算结果表明 $(\Omega\Omega)_{0^+}$ 是一个特别有兴趣的深度结合双重子态. 结合能 B

* 国家自然科学基金资助

$(\Omega\Omega)_0^+$ 值很大, 夸克分布的均方根半径 r_{ms} 较小, Ω - Ω 间的均方根距离 RMS 也较氦核中核子间的 RMS 小得多; 即

$$B_{(\Omega\Omega)_0^+} = -(E_{(\Omega\Omega)_0^+} - 2M\Omega) = 116\text{MeV},$$

$$r_{ms} = \sqrt{\frac{1}{6} \sum_i (r_i - R_{CM})^2} = 0.627\text{fm},$$

$$RMS = \sqrt{\langle R_{\Omega\Omega}^2 \rangle} = 0.84\text{fm}.$$

为了弄清 $(\Omega\Omega)_0^+$ 深度结合的物理原因, 首先从夸克层次来讨论该系统的对称性. 从二重子的物理基用六夸克的对称群分类的对称基展开的表达式中^[4] 可见到, 在所有 280 个物理基中只有 6 个态, $(\Delta\Delta)_{ST=30}$, $(\Delta\Delta)_{ST=03}$, $(\Delta\Sigma^*)_{ST=3\ 1/2}$, $(\Delta\Sigma^*)_{ST=0\ 5/2}$, $(\Xi^* \Omega)_{ST=0\ 1/2}$ 和 $(\Omega\Omega)_{ST=00}$, 在它们的展开式中具有最大比例的轨道空间对称性 r 的分量. 空间对称性高有利于系统的结合. 并且在这 6 个态中只有 $(\Omega\Omega)_0^+$ 对强作用衰变是禁戒的, 因此它有较长的寿命以利于实验去观察. 另一方面两集团间夸克交换的反对称化因子在自旋-味-颜色空间的平均值 $\langle A^{qc} \rangle = \langle 1 - \sum_{i \in A, j \in B} P_{ij}^{qc} \rangle$ 是对该态两集团间夸克交换效应重要性的一个直接测量. $\langle A^{qc} \rangle = 1$, 表示两集团间夸克交换效应不重要, 可视为没有夸克交换的两个重子. 当 $\langle A^{qc} \rangle = 0$ 时, 泡利阻塞效应很大, 是不能形成轨道空间对称性 r 的禁戒态. 当 $\langle A^{qc} \rangle$ 大于 1 时, 表示两集团间夸克交换效应也是重要的, 其作用是把两集团拉得更近. $(\Omega\Omega)_0^+$ 态的 $\langle A^{qc} \rangle = 2$, 是平均值具有最大值态中的一个. 这意味着 $(\Omega\Omega)_0^+$ 态在 s - f - c 空间有高的反对称特性, 因而在坐标空间有高的对称性, 这一特性是有利于系统束缚的.

共振群计算方法中生成坐标(GCM)的对角矩阵元近似可看作两粒子间的等效位. 由于动能项是与自旋、味、颜色算符无关的量, 所以对称性效应的重要性在动能项的 GCM 矩阵元 $V_{kin}(s)$ 看得很清楚, 这儿 s 是生成坐标, 可近似看作两集团间的距离. 图 1 是动能项的 GCM 矩阵元. 实线和虚线分别代表 $(\Omega\Omega)_0^+$ 态和氦核的动能等效位, 点线是没有考虑夸克交换效应的计算结果. 从图中可看到不考虑夸克交换效应的动能等效位是正的, 它提供排斥力. 考虑了夸克交换效应之后, 对 $(\Omega\Omega)_0^+$ 态动能项在 $s > 0.5\text{fm}$ 处提供了一个强的吸引势, 而对氦核只提供了一个弱的吸引部份. 其原因这是由于 $\langle A^{qc} \rangle_{\Omega\Omega} = 2$, 而 $\langle A^{qc} \rangle_{\text{deu}} = \frac{10}{9}$, 即 $(\Omega\Omega)_0^+$ 态具有更好的空间对称性. 做一个模型计算, 在 H 量中只考虑动能项和色禁闭势项, 略去单胶子交换势和手征场提供的势, 这时系统的结合能 $B(\Omega\Omega)_0^+ = 17\text{MeV}$, 仍然是一个较强的束缚态. 因为

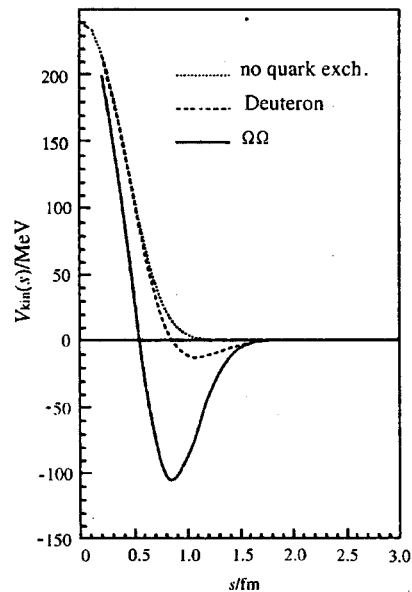


图 1 动能项的 GCM 矩阵元

色禁闭势对两个色单态集团间的相互作用几乎是没有贡献的,所以 17MeV 的结合能是由动能项的夸克交换效应产生的,也就是说这由系统的对称性决定的.

另外还选用了不同模型,如手征 $SU(3)$ 夸克模型和只考虑 $\sigma, \pi, \kappa, \eta, \eta'$ 介子交换的模型,以及输入参数在一定合理范围内变化时,研究了这些因素对 $(\Omega\Omega)_{0^+}$ 态结合能的影响,结果表明 $B_{(\Omega\Omega)_{0^+}}$ 的数值虽有变化,但它仍然大于 50MeV,即仍是一个深度束缚的结合态.这说明我们的预言与不同的模型及参数的变化不是很敏感的.

自由的 Ω 是弱衰变粒子, $(\Omega\Omega)_{0^+}$ 也只能发生弱作用衰变,用弱作用理论在一定的近似下可粗略估计出 $(\Omega\Omega)_{0^+}$ 态的寿命约是自由 Ω 寿命的两倍^[3]. 由于它具有较长的寿命及携带两个负电荷,这些特征为在实验上寻找这个双重子态提供了有利条件.

为了考察在实验上观察到 $\Omega-\Omega$ 的结合态的可能性,需要估计 $(\Omega\Omega)_{0^+}$ 的生成率. 这里只是在重离子碰撞中用热力学模型作了一个粗略的估计. 在 158GeV pb + pb 碰撞中每一事件的产生率是 10^{-6} 到 10^{-5} , 预期随着温度的增加产生率将有较大的增加^[3]. 当然认真估算 $(\Omega\Omega)_{0^+}$ 生成,需要从理论上给出通过电磁作用和强作用等过程形成 $(\Omega\Omega)_{0^+}$ 的截面,例如, $\Omega + \Omega \rightarrow (\Omega\Omega)_{0^+} + \gamma, \Omega + \Omega \rightarrow (\Omega\Omega)_{0^+} + \eta$ 等等都是一些可能的过程,这部分的研究还正在进行中.

总之,根据以上的论述我们认为 $(\Omega\Omega)_{0^+}$ 是一个新的最有兴趣的双重子态的候选者. 在理论上和实验上很值得对它进行深入地研究.

参考文献 (References)

- 1 ZHANG Zong-Ye, YU You-Wen, DAI Lian-Rong. High Energy Phys. and Nucl. Phys., 1996, 20:363 (in Chinese); ZHANG Z Y et al. Nucl. Phys., 1997, A625:59
(张宗焯, 余友文, 戴连荣. 高能物理与核物理, 1996, 20: 363)
- 2 YU You-Wen, ZHANG Zong-Ye, YUAN Xiu-Qing. High Energy Phys. and Nucl. Phys., 1999, 23:859 (in Chinese); YU Y W, ZHANG Z Y, YUAN X Q. Commun. Theor. Phys, 1999, 31:1
(余友文, 张宗焯, 袁秀青. 高能物理与核物理, 1999, 23: 859)
- 3 ZHANG Z Y et al. Commun. Theor. Phys., 2000, 33:321
- 4 WANG F, PING J L, WU G H et al. Phys. Rev., 1995, C51: 3411

Study of a New Dibaryon($\Omega\Omega$) $_{J^P=0^+}$ *

ZHANG Zong-Ye¹ YU You-Wen¹ QING Cheng-Rui² HE Zuo-Xiu² LU Zhong-Dao³

1 (*Institute of High Energy Physics, CAS, Beijing 100039, China*)

2 (*Institute of Theoretical Physics, CAS, Beijing 100080, China*)

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

Abstract The structure of a new dibaryon ($\Omega\Omega$) $_{0^+}$ is studied and predicted in the framework of the chiral $SU(3)$ quark model by solving a resonating group method equation. The binding energy of this dibaryon is around 100 MeV, the mean root square of the distance between two Ω s is 0.84 fm and the preliminary estimated mean lifetime is about two times longer than that of the free Ω . All these interesting properties and also the two negative charge units it carried could make it be easily identified experimentally in the heavy-ion collision process.

Key words dibaryon, quark model, chiral symmetry

* Supported by National Natural Science Foundation of China