

快报

双电荷交换反应与双重子共振态*

马 维 兴

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

摘要 提出了 π 核双电荷交换反应的双重子共振态的反应机制,成功地解释了长期以来一直困惑着人们的共振区 $^{18}\text{O}(\pi^+, \pi^-)^{18}\text{Ne}_{\text{gs}}$ 反应的角分布的实验结果. 说明了共振区 π 核双电荷交换反应是寻找双重子共振态的一个可能的途径.

关键词 双重子共振态 双电荷交换反应 原子核中的夸克自由度

π 核双电荷交换反应是至少涉及到两个核子的物理过程,是研究原子核中双核子关联的最好的工具. 实验结果也证实了这一点^[1]. 本文通过共振区 π 核双电荷交换反应的研究,寻找双重子共振态. 对双电荷交换反应,虽然已有了几十年的研究历史,但是至今还有许多重大的问题没有解决. 例如,目前还没有任何一个理论能够解决实验上所观测到的164MeV双电荷交换反应 $^{18}\text{O}(\pi^+, \pi^-)^{18}\text{Ne}_{\text{gs}}$ 的角分布,以及双相似态和非相似态跃迁之比^[2]. 我们认为原子核中的夸克自由度的机制是解决这些难题的可能的途径.

按照QCD理论的预言,六夸克束缚态的存在是不可避免的. 例如Jaffer的H粒子就是一个证明^[3]. 然而,尽管人们作了大量的努力,目前实验上至今还没有找到六夸克束缚态存在的实验证据.

最近分析低能 π 核双电荷交换反应的实验材料^[4]却发现了一个质量为2.065GeV,宽度为0.5MeV,量子数 $IJ^P = \text{偶 } 0^-$ 的被叫做d'的双重子共振态. 去年对 $pp \rightarrow pp\pi^+\pi^-$ 反应测量结果的分析似乎又进一步地肯定了d'的存在^[5]. 与此同时, F. Wang及Goldman^[6]也预言了量子数 $IJ^P = 03^+$ 的被叫做d*的双重子共振态的可能存在. S. Yen的实验组^[7](TRIUMF, Exp. #772)也已开始了在 $pd \rightarrow pd^*$ 反应过程中寻找d*双重共振态的工作. 因此,寻找双重子共振态的工作是当前中能物理的热门研究课题.

本文提出了双电荷交换反应的双核子与双重子共振态混合作用的反应机制. 在此机制中,组态空间被分成两个不同的区域,即内区与外区. 内区是由退禁闭的六夸克所形成的双重子共振态,外区是由两核子构成的传统的双核子态. 两个不同区域是用一个唯象的半径参数 r_0 来区分的. 根据流守恒定理,形成双重子共振态的几率 P_{6q} 是由外区核子的

1998-03-17收稿

* 国家自然科学基金部分资助

波函数而决定的,它不是一个自由参数,即

$$P_{6q} = \int d\mathbf{R} \int d\mathbf{r} |\psi_{NN}(\mathbf{r}, \mathbf{R})|^2 \theta(r_0 - r), \quad (1)$$

$\psi_{NN}(\mathbf{r}, \mathbf{R})$ 是传统的双核子态的波函数, \mathbf{r} 是相对坐标, \mathbf{R} 是它们的质心坐标. $\theta(r - r_0)$ 是步函数. 对于反应 $^{18}\text{O}(\pi^+, \pi^-)\text{Ne}_{gs}$, 传统核理论告诉我们^[8], $\psi_{NN}(\mathbf{r}, \mathbf{R})$ 可取为

$$\Psi_{NN}(\mathbf{r}, \mathbf{R}) = 0.948 |1d_{5/2}, J=0\rangle + 0.318 |2s_{1/2}, J=0\rangle \quad (2)$$

按照这一反应机制, 共振区 π 核双电荷交换反应的振幅可以写为:

$$F(q^2) = P_{6q} \cdot F^{6q}(q^2) + (1 - P_{6q}) F^{NN}(q^2). \quad (3)$$

这里, $F^{6q}(q^2)$ 和 $F^{NN}(q^2)$ 分别是内区双重子共振态和外区双核子态贡献的散射振幅. 文

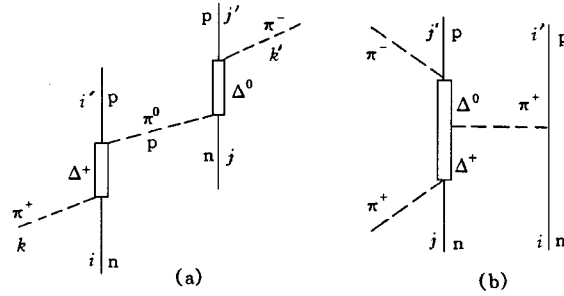


图1 共振区双电荷交换反应的传统机制 (a) 和双 Δ 的连续作用机制 (b)

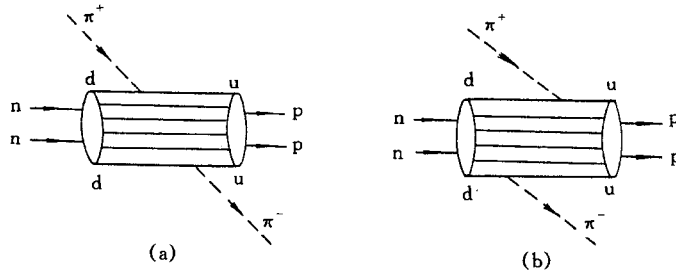


图2 双电荷交换反应的双重子共振态作用机制

(a) 直接项, (b) 交叉项.

献 [8] 和 [9] 讨论了他们的具体表达式. 图 1 和图 2 是其相应的费曼图.

我们计算了入射 π^+ 的能量为 164 MeV 的 $^{18}\text{O}(\pi^+, \pi^-)^{18}\text{Ne}_{gs}$ 的角分布. 用多重散射理论^[10] 考虑了原子核对初末态 π 介子的扭曲效应, 即扭曲因子 $\Gamma_{\text{DIS}}(\mathbf{b})$ 是

$$\Gamma_{\text{DIS}}(\mathbf{b}) = \left\langle {}^{16}\text{O} \left| \prod_{i=1}^{16} [1 - \Gamma_i^{(s)}(\mathbf{b} - \mathbf{s})] \right| {}^{16}\text{O} \right\rangle, \quad (4)$$

$|{}^{16}\text{O}\rangle$ 是 ^{18}O 的核心的波函数. $\Gamma_i^{(s)}$ 是 π 介子与核子 i 的断面函数 Γ_i 的同位旋标量部分^[8].

定义 $\Gamma_{\text{DCX}}(\mathbf{b})$ 是方程 (3) 中的 $F(q)$ 的富氏变换^[10], 那么总的反应振幅 $F_{\text{DCX}}(q)$ 可以写为:

$$F_{\text{DCX}}(q) = \frac{iK_\pi}{2\pi} \int e^{i\mathbf{q}\cdot\mathbf{b}} d^2\mathbf{b} \Gamma_{\text{DIS}}(\mathbf{b}) \cdot \Gamma_{\text{DCX}}(\mathbf{b}) \quad (5)$$

其相应的详细计算将在 Nucl. Phys. A 上发表. 在这个短讯中, 不做重述.

图 3 是本文的理论结果及与实验的比较. 其中, 虚线(---), 带点划线(-·-)和实线(—)分别是图 1、图 2 和它们的总贡献.

理论与实验比较说明:

(1) 图 1 所示的传统机制(a)和介子交换流机制(b)不能解释实验上观测到的角分布. 传统理论预言的角分布的极小值在 30° 左右, 而实验上所观测到的极小值的位置是 21° , 两者不符, 而且截面的大小也不一样. 说明传统理论是不合适的.

(2) 双重子共振态的机制所预言的角分布与实验结果一致. 理论角分布的极小值的位置是在 21° , 正是实验上观测的结果. 理论角分布的形状及其大小也与实验结果相一致. 所以解决了长期存在的难题, 说明双重子共振态机制可能是正确的.

综上所述, 我们的结论是: π 介子与双重子共振态的相互作用也可能是共振区 π 核双电荷交换反应的主要机制. 当两个核子相互靠近时, 由于三个价夸克袋中的夸克的退禁闭现象, 两个色单态的核子体系变成了一个由六个价夸克组成的紧密集团, 即具有特殊量子数的双重子共振态. 原子核中存在着这种六夸克的集团, 所以 π 核相互作用有可能是通过 π 介子与这种夸克集团的相互作用而实现的.

这个结论也是很容易理解的. 事实上, 许多电磁相互作用过程也表明了原子核中存在着多夸克集团现象. 例如 ^3He 电荷密度分布的中空现象^[1], ^3H 与 ^3He 电磁形状因子与传统理论(传统核理论加上介子交换流)预言的矛盾等^[2]都说明了原子核中可能存在着多夸克集团现象. 原子核可能是一个多夸克集团的混合体(三夸克, 六夸克等), 不是一个纯核子的束缚体系. 对于大量转移的核过程, 这种现象特别明显.

参 考 文 献

- [1] DCX data compiled by R. Gilman, "Systematics of pion-double charge exchange", Univ. of Pennsylvania, 1985, Los Alamos Report, LA-10524-T.
- [2] Ulimann J L et al., Phys. Rev., 1986, C33:2092
- [3] Jaffe R L. Phys. Rev. Lett., 1977, 38:195
- [4] Bilger R et al., Phys. Rev. Lett., 1993, 71:42; 1994, 72:2972; Carcilazi H et al. Phys. Rev. Lett., 1994, 72:2971
- [5] Brodowski W et al. Z. Phys., 1996, A355:5
- [6] Goldman T. Nucl. Phys., 1991, A532:389C; Wang Fang et al. Nucl. Phys., 1988, A481:621; Phys. Rev., 1995, C51:1648,3411
- [7] Abegg R et al. TRIUMF Expt. #772, Search for the Δ - Δ dibaryon, Univ. of MANITOBA, Particle and Nuclear Physics, Progresses Reports, (1996) 997, P.49; Yen S et al. Detailed Statement of Proposed

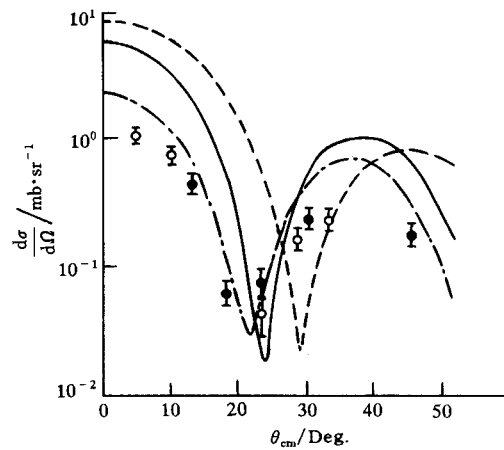


图 3 本文预言的 164MeV 的 $^{18}\text{O}(\pi^+, \pi^-)^{18}\text{Ne}_{\text{gs}}$ 反应的微分截面及其与实验结果的比较 --- 是外区双核子体系的贡献, -·- 是内区双重子共振态的贡献; — 是内区、外区的总贡献. 实验数据取自 Greence 和 Seth 的工作^[13].

- Research for Searching for the Δ - Δ Dibaryon, Expt. # 772, TRIUMF.
- [8] Oset E, Ma W H et al. Nucl. Phys., 1983, **A408**:461
- [9] Miller G A. Proceedings of International Conference on Double Charge Exchange, Los Alamos, Jan. 1985, USA
- [10] Glauber R J. Lectures in Theoretical Physics, Interscience New York, 1959, 1:315
- [11] Ma Wehsing, Kisslinger L. Nucl. Phys., 1991, **A531**:493; Nucl. Phys., 1993, **560**:997
- [12] Kisslinger L, Ma W H. Nucl. Phys., 1986, **A459**:645; Ma Wehsing. IL Nuovo Cimento, 1995, **108A**:65
- [13] Greence S J et al. Phys. Lett., 1979, **88B**:62; Seth K K et al. Phys. Rev. Lett., 1979, **43**:1574; 1980, **45**:147

Searching for Dibaryon With Pion-Nucleus Double Charge Exchange Reaction *

Ma Weixing

(Institute of High Energy Physics, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039)

Abstract The dibaryon mechanism is suggested for Pion-Nucleus double charge exchange reaction. The calculations within this mechanism are performed for $^{18}\text{O}(\pi^+, \pi^-)$ $^{18}\text{Ne}_{gs}$ reaction at the energy of 164MeV. The principal finding from this study is that the dibaryon mechanism may exclusively be responsible for solving many long-standing puzzles of 164MeV double charge exchange reaction on the target ^{18}O .

Key words dibaryon, double charge exchange reaction, quark degrees of freedom in nuclei

Received 17 March 1998

* This work was supported partly by National Natural Science Foundation of China.