

夸克随机组合机制与激发态重子的产生*

王 群 谢去病¹⁾

(山东大学物理系 济南 250100)

1993年8月16日收到

摘 要

从强子化过程的两个基本性质出发,在夸克随机组合框架上,得出了包括所有激发态在内的重子产生权重的一组基本关系.解释了“自旋抑制”和单态重子产额大的原因.最后,讨论了进一步确定激发态重子产生比例的条件和方法.

关键词 强子化,自旋抑制,味道守恒,激发态重子.

1 引 言

当前所有的碎裂模型,包括最流行的 Lund 模型,都只考虑基态重子而忽略激发态重子的产生^[1],一个原因是认为激发态重子的产生是次要的,另一个原因是从这些理论框架无法估计激发态重子的产生比例.但最近, ARGUS 组首次在 Υ 共振区和连续区 (Υ^{00} 和 Υ^{0ff}) 测量了 $L=1$ 的单态重子 $\Lambda(1520)$ 的产额,结果是^[2,3],

$$\Lambda(1520)/\Sigma(1385) = \begin{cases} 0.92 \pm 0.21 \pm 0.16 & \Upsilon^{00} \\ 1.63 \pm 0.33 \pm 0.31 & \Upsilon^{0ff} \end{cases}$$

显示激发态重子 $\Lambda(1520)$ 的产额与十重态基态重子的产额相当,不能忽略;另外,他们还系统测量了味道成分相同的 $(3/2)^+$ 重子相对于 $(1/2)^+$ 重子的产额比例 $R \equiv (3/2)^+ / (1/2)^+ = (0.1 \sim 0.3)$,它远低于从 $SU(6)$ 对称自旋计数预期的 $2^{[2-5]}$,因此 R 被称为“自旋抑制”因子.目前,各种模型都是从某种质量效应或假定自旋为 1 的双夸克相对自旋为 0 的双夸克受到抑制来解释“自旋抑制”现象,但都非常勉强^[6];更无法解释激发态重子 $\Lambda(1520)$ 的产额为什么这么大.

第 2 节从强子化过程的两个基本性质出发,导出了重子产生权重的两个基本关系.第 3 节,用基本关系解释了“自旋抑制”和单态重子高产额的原因;因为实验测量的基态重子包含激发态重子的衰变贡献,所以原则上还可以通过输入适当基态重子产额的实验值用基本关系去预言各种重子激发态的产生比例.但目前对大部分激发态重子(即使是低激发态)的衰变所知甚少,这给计算激发态重子对基态重子的衰变贡献带来很大困难.第 4 节讨论了确定激发态重子产生比例的条件和方法.

* 国家自然科学基金资助.

1) 中国科学院理论物理所客座.

2 重子产生的夸克随机组合机制与 $SU_f(3)$ 对称性

强子化是一种由非微扰量子色动力学 (QCD) 支配的强作用过程。根据 QCD 的基本假定, 强作用与夸克味道无关, 因此在强子化前后味道必须守恒, 这是强子化过程的一个基本性质。另外, 从重子产生中测得的奇异抑制因子 λ 同介子中测得的一致^[2-5], 表明直接产生的强子都有带 λ 抑制的 $SU_f(3)$ 味道对称性。在这里, 带 λ 抑制的 $SU_f(3)$ 对称是指同一 J^{PC} 多重态的重子或介子除去 λ^r 因子之后 (r 是该重子或介子的味道成分中所含奇异夸克和奇异反夸克的数目), 其产生率相同。

在强子化的夸克随机组合图象中, 重子是由三个夸克随机组合产生的, 近来又有许多实验支持这一点^[4,5,7]。所以对于三个夸克的各种味道的组合 (表 1 的第一列), 其相应的权重应为表 1 的第二列所示。三个夸克强子化之后, 则成为满足 $SU_f(3)$ 对称的各种重子, 其权重列于表 1 的第三列。这里把十重态基态重子和八重态基态重子分别记作 10 和 8, 十重态和八重态激发态记作 $10'$ 和 $8'$, 单态都是激发态, 记作 $1'$, 其相应的产生权重记为 $P_{10}, P_8, P_{10'}, P_{8'}, P_{1'}$ 。例如, 表 1 最后一行中味道成分为 usd 的三夸克组合, 共有 $13=6$ 种随机组合产生途径。在通过 QCD 真空激发产生时, s 夸克质量大于 u 和 d 的质量, 其产生率就受到 λ 倍抑制, 因此它们的总组合权重为 6λ 。这种组合所产生的重子, 必须包括具有 uds 成分的所有 $SU_f(3)$ 多重态成员, 即既包括 10 及 $10'$ 中的 Σ^0 , 也包括 8 及 $8'$ 中的同位旋 $I=0$ 和 1 的两个成员 Λ 和 Σ^0 , 还包括 $1'$ 的 Λ , 它们都因含有一个 s 夸克, 产生权重受到了 λ 倍的相对抑制, 所以, 对应的各种重子多重态的产生总权重为

$$[P_{10} + P_{10'} + 2(P_8 + P_{8'}) + P_{1'}]\lambda$$

表 1 重子多重态权重和夸克组合权重

味道成分	组合权重	重子多重态权重
uuu	1	$[P_{10} + P_{10'}]$
ddd	1	$[P_{10} + P_{10'}]$
sss	λ^3	$[P_{10} + P_{10'}]\lambda^3$
uud	3	$[P_{10} + P_{10'} + P_8 + P_{8'}]$
uus	3λ	$[P_{10} + P_{10'} + P_8 + P_{8'}]\lambda$
ddu	3	$[P_{10} + P_{10'} + P_8 + P_{8'}]$
dds	3λ	$[P_{10} + P_{10'} + P_8 + P_{8'}]\lambda$
uss	$3\lambda^2$	$[P_{10} + P_{10'} + P_8 + P_{8'}]\lambda^2$
dss	$3\lambda^2$	$[P_{10} + P_{10'} + P_8 + P_{8'}]\lambda^2$
uds	6λ	$[P_{10} + P_{10'} + 2(P_8 + P_{8'}) + P_{1'}]\lambda$

因为强子化过程中味道守恒, 这两组权重之间只能相差一个共同的比例因子。因而我们得到各类重子产生权重的一组基本关系,

$$\begin{cases} P_{10} + P_{10'} = P_{1'} \\ P_8 + P_{8'} = 2(P_{10} + P_{10'}) \end{cases} \quad (1)$$

它表明只有在重子的随机组合产生机制中, 强子化过程中味道守恒的要求才能与直接产

生的重子具有奇异抑制的 $SU_3(3)$ 对称完全自洽,并统一给出包括所有重子激发态在内的产生规律.

3 “自旋抑制”现象与单态重子的高产额

从基本关系(1)不难看出,所谓重子产生中的“自旋抑制”和单态重子的高产额正是重子的随机组合产生机制的结果和证据.考虑到末态 8 重子包括 $8', 10', 1'$ 甚至 10 重子的衰变贡献,而 10 重子来自 $8', 1'$ 的贡献很小,10 超子(即奇异重子)则连 $10'$ 的衰变贡献也很小,利用基本关系,立即可以看到,

$$R = (3/2)^+ / (1/2)^+ \sim (P_{10} + P_{10}') / (P_{10} + P_{10}' + P_8 + P_{8'} + P_{1'}) \sim 1/4 \ll 2 \quad (2)$$

所以重子产生中的“自旋抑制”的起因是基本关系(1),而基本关系是重子随机组合产生机制和 $SU_3(3)$ 破缺对称性的必然结果.当然,(2)式的 R 值是对味道成分相同的 $(3/2)^+$ 和 $(1/2)^+$ 重子的粗略估算,具体对不同味道成分的重子,例如 $\Sigma(1385)/\Lambda$ 与 $\Sigma(1385)/\Sigma$,其对应的 R 值要按(2)式的考虑具体计及各种 10, $10', 8'$ 和 $1'$ 重子对 Λ 和 Σ 的衰变贡献,因而它们的 R 值将在 $1/4$ 附近涨落.

从基本关系 $P_{1'} = P_{10} + P_{10}'$ 还可以看到,即使单态重子只以激发态形式存在,但其产生权重与十重态重子相等,不能忽略,因此得 $(P_{1'}/P_{10}) > 1$, 这就是实验发现单态重子 $\Lambda(1520)$ 产额大的原因.

这里还可看出,重子“自旋抑制”因子同矢量介子与赝标介子的产生率之比(V/P)情况有本质不同,前者是对 $(3/2)^+$ 和 $(1/2)^+$ 重子而言的,它们分属于十重态基态和八重态基态,根据味道守恒和 $SU_3(3)$ 对称性,其产生权重应满足基本关系.而矢量介子和赝标介子都属于 $SU_3(3)$ 九重态,因此味道守恒及 $SU_3(3)$ 对称性对它们的产生比例没有约束.

从基本关系出发,如果选择适当的实验值作为输入,我们还能估计各种重子激发态的产生几率,从而提供一个系统研究激发态重子产生的理论框架和具体途径.

基本关系反映了在随机组合框架下强子化过程的一个普遍规律,应该不仅适用于 e^+e^- 反应,也适用于 hh 及 lh 反应中的新产生粒子.

4 确定激发态重子产生比例的方法和条件

把 $8', 10'$ 和 $\Lambda(1520)$ 占全部八重态重子,十重态重子和单态重子的产生比例分别记作

$$\begin{cases} x_{8'} \equiv P_{8'} / (P_{8'} + P_8) \\ x_{10'} \equiv P_{10'} / (P_{10'} + P_{10}) \\ x_{\Lambda(1520)} \equiv P_{\Lambda(1520)} / P_{1'} \end{cases} \quad (3)$$

实验上测得的 8 重子和 10 重子已包括了从 $8', 10'$ 和 $1'$ 重子的衰变贡献,并且某些 8 重子还包括 10 重子的衰变贡献,所以实验直接测得的 $R = (3/2)^+ / (1/2)^+$ 已包含了 $x_{8'}$, $x_{10'}$ 和 $x_{\Lambda(1520)}$ 的信息,只要根据各激发态重子的衰变分支比估计出它们对 10 重子和 8

重子的衰变贡献, 就能通过输入某些能量下的部分 R 实验值确定此能量下的 x_9, x_{10} 和 $x_{A(1520)}$, 并可进一步研究它们对能量的依赖关系。然而要估计所有激发态重子的衰变贡献是不可能的, 因为至今 PDG^[9] 给出的激发态重子的衰变分支比数据极少, 即使对低激发态重子也是如此。根据统计物理的基本原理, 有理由认为, 即使在能量极高的多重产生反应中, 重要的仍是低激发态重子。由于 $L=1$ 的 $(70, 1^-)$ 组态是最低激发态^[9], 实验上也开始涉及它的产生率, 我们将在下一篇文章中着重研究 e^+e^- 湮灭中 $L=1$ 重子激发态的产生比例^[10]。

本文的主要目的是给出一个可以确定激发态重子产生比例的普遍方法, 这个方法的根据是由 $SU_f(3)$ 对称性和重子的随机组合机制得到的基本关系, 这使我们在多重产生领域必须且能够考虑激发态重子的产生。只要实验能进一步提供部分重子激发态产生和衰变的可靠的数据, 就能由此给出有关激发态重子产生的一系列具体预言。

作者感谢与本课题组的同志, 中国科学院高能物理研究所四室同行以及日本东北大学 F. Takagi 教授的有益的讨论。

参 考 文 献

- [1] T. Sjostrand et al., *Z Physics at LEP1*, CERN 89-08, Vol.3(1989). G. Altarelli et al. (eds.).
- [2] ARGUS Collab., H. Albrecht et al., *Z. Phys.*, **C39**(1988)177; *Phys. Lett.*, **B215**(1988)429.
- [3] Hergen SCHECK, *Nucl. Phys B(Proc. Suppl.)*, **1B**(1988)291.
- [4] A. Drescher, in Proc. of the XXIV Inter. Conf. on High Energy Phys., Munich, West Germany, 1988, Edited by R. Katthaus & J. Kuhn (Springer, Berlin, 1988).
- [5] W. Hofman, *Ann. Rev. Nucl. Part. Sci.*, **38**(1988)279.
- [6] OPAL Collab., P.D. Acton et al., *Phys. Lett.*, **B291**(1992)503.
- [7] Liang Zuo tang and Xie Qubing, *Phys. Rev.*, **D43**(1991)751.
- [8] Particle Data Group, *Phys. Lett.*, **B239**(1990).
- [9] J. M. Richard, *Phys. Rep.*, **212**(1992)1.
- [10] 王群, 谢去病, “ e^+e^- 湮灭中的 $L=1$ 重子激发态的产生比例”, 高能物理与核物理, 待发表。

The Quark Combination Mechanism and the Production Percentages of Excited Baryons

Wang Qun Xie Qubing

(Physics Department, Shandong University, Jinan 250100)

Received on August 16, 1993

Abstract

This paper derives a set of basic relations about octet, decuplet and Singlet baryon production weights under two principles in mulliparticle production. From these relations, we give the origin of “spin suppression” phenomenon, and successfully explain why the singlet baryons have high multiplicities.

Key words hadronization, Spin suppression, flavor conservation, excited baryon.