

重子-反重子系统的么正对称性

陈晓天

张禹顺 李扬国

阮图南

(中国科学技术大学) (中国科学院高能物理研究所) (中国科学技术大学)

摘 要

本文提出在重子-反重子系统中,质子和中子与 Λ 超子组成 SU_3 群的基础粒子。因此,重子-反重子系统必须按 SU_3 群分类。而且由于 Λ 超子和核子之间存在“原始”质量差,破坏了 SU_3 么正对称性,因而造成了能级分裂,形成“么正对称能带”。本文对重子-反重子系统的能级进行了分析,发现存在“么正对称能带”。将理论值和实验值进行比较,符合得很好。

引 言

重子-反重子相互作用的研究,不论在理论上或实验上,近年来人们都很重视^[1-3]。实验方面,最初人们致力于寻找比 $2m_N$ 大的核子-反核子系统的共振态。1977年以来,实验上相继用低能的 \bar{p} 束流,从探测 γ 谱而获得 $p-\bar{p}$ 系统的束缚态^[2,4],从 $p\bar{d}$ 反应也开始获得 $N-\bar{p}$ 系统的能级^[5]。同时,从分析 $12\text{GeV}/c$ 的 $p-\bar{p}$ 湮灭实验,在泡室中发现带有奇异数 $S = \pm 1$ 的共振态存在^[5]。分析 $K^+p \rightarrow p\gamma + \dots$ 的实验^[4],有可能存在 $N-\bar{\Lambda}$ 共振态。因此,实验上已揭示 $N-\bar{\Lambda}$, $\Lambda-\bar{N}$ 这类带奇异量子数 $S = \pm 1$ 的重子-反重子系统的存在。目前,实验上已得到重子-反重子系统能级的一些数据,对研究重子-反重子系统的性质是很有帮助的。我们将重子-反重子系统看成由 p, N, Λ 三种重子和它们的反重子 $\bar{p}, \bar{N}, \bar{\Lambda}$ 组成,具有 SU_3 么正对称性,它们的能级应按 SU_3 分类,于是 $p-\bar{p}, N-\bar{N}, \Lambda-\bar{\Lambda}$ 系统的能级形成能带结构,我们称它为“么正对称带”。

核力的电荷无关性,引入了以质子、中子为基础粒子的 SU_2 同位旋空间:

$$\psi = \begin{pmatrix} p \\ n \end{pmatrix}$$

Λ 超子发现之后,人们引入了奇异量子数($S = -1$)来描述这个奇异粒子,把质子、中子描述为 $S = 0$ 的非奇异粒子。如果略去 Λ 超子与核子的质量差,则 p, N, Λ 之间的强作用是与奇异量子数无关的。因此,可以把同位旋空间扩充为 SU_3 么正对称空间。这个空间以质子、中子和 Λ 超子为基础粒子。

$$\psi = \begin{pmatrix} p \\ n \\ \Lambda \end{pmatrix} \quad (1)$$

它们的电荷、奇异量子数和同位旋分别为:

$$Q = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad (2)$$

$$S = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}, \quad (3)$$

$$T_1 = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad T_2 = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 0 & -i & 0 \\ i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad T_3 = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (4)$$

定义重子数和超荷为:

$$B = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (5)$$

$$Y = B + S = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad (6)$$

则盖尔曼-西岛规则成立:

$$Q = T_3 + \frac{1}{2} Y, \quad (7)$$

在此基础上可以讨论奇异核的分类。为此目的,我们作如下假设:

1. 在中、低能情况下,束缚层子的超强作用达到饱和,不显露,以致重子仅仅通过强作用组成奇异核。

2. 强作用是 SU_3 (或 SU_6) 不变的,因此在奇异核中,强作用给出的能级是 SU_3 退化的。这种能级对应于奇异相似态的能级。

3. Λ 超子等奇异粒子与核子间存在的“原始”质量差,导致了么正对称的 T_3^2 破坏,使退化的能级分裂,形成“么正对称带”,它类似于原子核中的转动能带。

根据上述假定,我们将陆续讨论重子-反重子系统、双重子系统和三重子系统等的能级分布,不过必须讨论 $8 \otimes 8^* = 64$ 的分解及 $8 \otimes 8 = 64$ 的分解,如果奇异核中存在 33 共振,还必须讨论 $8 \otimes 10$ 、 $10 \otimes 10$ 等表示的分解(本文只研究重子-反重子系统)。为简单起见,下面我们只取这些表示的子空间,即限制在 p, N, Λ 和 $\bar{p}, \bar{N}, \bar{\Lambda}$ 组成的 SU_3 空间中进行讨论。

一、重子系统

如果只考虑三个重子 p, N, Λ , 那末在略去 Λ 超子与核子质量差的情况下,它们的么旋波函数为:

$$p = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \phi_1, \quad N = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \phi_2, \quad \Lambda = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \phi_3, \quad (8)$$

$$\phi_i \phi_j^\dagger = \delta_{ij}, \quad (i, j = 1, 2, 3)$$

考虑到在强作用中同位旋守恒, 因此取它们的力学量为(2)–(7)式, 相应的量子数见表 1.

表 1

	B	Q	S	Y	T_3	T
p	1	1	0	1	1/2	1/2
N	1	0	0	1	-1/2	1/2
Λ	1	0	-1	0	0	0

显然, 核子 p、N 组成同位旋二重态, Λ 超子是同位旋单态.

在 SU_3 变换下:

$$\phi_i \rightarrow \phi'_i = u \phi_i, \quad i = 1, 2, 3. \quad (9)$$

$$u = e^{i \sum_{j=1}^8 \theta_j \lambda_j}, \quad (10)$$

其中 θ_j ($j = 1, 2, \dots, 8$) 是实数, λ_j 是盖尔曼矩阵.

$$\theta_j^* = \theta_j, \quad \lambda_j^\dagger = \lambda_j,$$

它们满足如下对易关系:

$$[\lambda_i, \lambda_j] = 2if_{ijk}\lambda_k,$$

$$\{\lambda_i, \lambda_j\} = 2d_{ijk}\lambda_k + \frac{4}{3}\delta_{ij}. \quad i, j, k = 1, 2, \dots, 8 \quad (11)$$

(9) 式的厄米共轭为:

$$\bar{\phi}_i \rightarrow \phi'_i = \bar{\phi}_i \bar{u}, \quad (12)$$

式中

$$\bar{u} = e^{i \sum_{j=1}^8 \theta_j \bar{\lambda}_j}, \quad \bar{\lambda}_j = -\lambda_j$$

由此给出反重子波函数为:

$$\bar{p} = (1, 0, 0) = \bar{\phi}_1, \quad \bar{N} = (0, 1, 0) = \bar{\phi}_2,$$

$$\bar{\Lambda} = (0, 0, 1) = \bar{\phi}_3, \quad \bar{\phi}_i \bar{\phi}_j^\dagger = \delta_{ij}. \quad (i, j = 1, 2, 3) \quad (13)$$

相应的力学量为:

$$\bar{B} = -B = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}; \quad (14)$$

$$\bar{Q} = -Q = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}; \quad (15)$$

$$\bar{S} = -S = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}; \quad (16)$$

$$\bar{Y} = -Y = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}; \quad (17)$$

$$\left. \begin{aligned} \bar{T}_3 = -T_3 &= \frac{1}{2} \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \\ \bar{T}_1 = -T_1 &= -\frac{1}{2} \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \\ \bar{T}_2 = -T_2 &= -\frac{1}{2} \begin{pmatrix} 0 & -i & 0 \\ i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

盖尔曼-西岛规则成立:

$$\bar{Q} = \bar{T}_3 + \frac{1}{2} \bar{Y}, \quad (19)$$

反重子 \bar{p} 、 \bar{N} 、 $\bar{\Lambda}$ 的量子数见表 2.

表 2

	\bar{B}	\bar{Q}	\bar{S}	\bar{Y}	\bar{T}_3	\bar{T}
\bar{p}	-1	-1	0	-1	-1/2	1/2
\bar{N}	-1	0	0	-1	1/2	1/2
$\bar{\Lambda}$	-1	0	1	0	0	0

由表 2 可以看出,反核子 \bar{N} 、 \bar{p} 组成同位旋二重态. 反超子 $\bar{\Lambda}$ 是同位旋单态.

Λ 超子与核子间存在的质量差达:

$$\frac{\Delta M}{M} = \frac{1115 - 940}{940} = \frac{175}{940} \approx 19\%.$$

此质量差破坏了 SU_3 么正对称性, 称 T_3^3 破坏. 这种破坏导致了重子素的能级分裂, 形成一个么正对称能带. 下面我们将讨论重子-反重子系统的能级分类.

二、重子-反重子系统

重子-反重子系统波函数为:

$$\phi_i^j = \phi_i \bar{\phi}_j, \tag{20}$$

$$Tr \phi_i^j \phi_j^{i'+} = \delta_{ii'} \delta_{jj'}. \quad (i, j = 1, 2, 3)$$

根据强作用同位旋守恒, 它们的能级应为九条, 即:

SU_3 单态:

$$“\chi^0” = \frac{p\bar{p} + N\bar{N} + \Lambda\bar{\Lambda}}{\sqrt{3}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \tag{21}$$

SU_3 八重态:

$$\left. \begin{aligned} “\pi^+” &= p\bar{N} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}; \\ “\pi^0” &= \frac{p\bar{p} - N\bar{N}}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}; \\ “\pi^-” &= N\bar{p} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \end{aligned} \right\} \tag{22}$$

$$“\eta^0” = \frac{p\bar{p} + N\bar{N} - 2\Lambda\bar{\Lambda}}{\sqrt{6}} = \frac{1}{\sqrt{6}} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -2 \end{pmatrix}. \tag{23}$$

$$“K^+” = p\bar{\Lambda} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}; \quad “K^0” = N\bar{\Lambda} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \tag{24}$$

$$“\bar{K}^0” = \Lambda\bar{N} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}; \quad “K^-” = \Lambda\bar{p} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \tag{25}$$

以上为了方便, 我们用带引号的介子符号来标记重子-反重子系统组成的奇异核, 在 SU_3 变换下:

$$\phi_i^j = u\phi_i^j u^{-1} = \phi_i^j + i\theta_k(\lambda_k \phi_i^j + \phi_i^j \bar{\lambda}_k) = \phi_i^j + i\theta_k \Lambda_k \phi_i^j$$

式中:

$$\Lambda_j = \lambda_j + \bar{\lambda}_j$$

λ_j 朝后作用, $\bar{\lambda}_j$ 朝前作用. 因此力学量为:

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{B} &= B + \bar{B} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} = 0, \\ \mathbf{Q} &= Q + \bar{Q} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned}
 S &= S \dagger \bar{S} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} \dagger \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \\
 Y &= Y \dagger \bar{Y} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \dagger \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \\
 T_3 &= T_3 \dagger \bar{T}_3 = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \dagger \frac{1}{2} \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \\
 T_1 &= T_1 \dagger \bar{T}_1 = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \dagger \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \\
 T_2 &= T_2 \dagger \bar{T}_2 = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 0 & -i & 0 \\ i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \dagger \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 0 & i & 0 \\ -i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.
 \end{aligned} \right\} \quad (26)$$

它们的量子数见表3.

表 3

	" π^+ "	" π^0 "	" π^- "	" K^+ "	" K^- "	" K^0 "	" \bar{K}^0 "	" η^0 "	" χ^0 "
B	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Q	1	0	-1	1	-1	0	0	0	0
S	0	0	0	1	-1	1	-1	0	0
Y	0	0	0	1	-1	1	-1	0	0
T_3	1	0	-1	1/2	-1/2	-1/2	1/2	0	0
T	1	1	1	1/2	1/2	1/2	1/2	0	0

显然盖尔曼-西岛规则成立:

$$Q = T_3 + \frac{1}{2} Y. \quad (27)$$

由于 Λ 超子与核子间存在“原始”质量差,导致了么正对称的 T_3 破坏,相应的能级公式为:

$$m^2 = m_0^2 + a \left[T(T+1) - \frac{1}{4} Y^2 \right]. \quad (28)$$

将表3中的数字代入上式得:

$$\left. \begin{aligned}
 m^2_{\eta^{++}} &= m_0^2, & m^2_{\pi^{++}} &= m_0^2 + 2a, \\
 m^2_{K^{++}} &= m_0^2 + \frac{1}{2} a,
 \end{aligned} \right\} \quad (29)$$

由此给出能级关系公式:

$$m^2_{\chi^{00}} = \frac{m^2_{\pi^{00}} + 3m^2_{\eta^{00}}}{4} \quad (30)$$

在重子-反重子系统中, 同一个 SU_3 多重态的能级必须遵从上述关系。

如果重子-反重子系统具有 SU_3 么正对称性, 那末实验测量的重子-反重子系统能级的么旋波函数应按 SU_3 群分类, 即:

$$\begin{aligned} p\bar{p} &= \frac{p\bar{p} - N\bar{N}}{2} + \frac{p\bar{p} + N\bar{N} - 2\Lambda\bar{\Lambda}}{6} + \frac{p\bar{p} + N\bar{N} + \Lambda\bar{\Lambda}}{3} \\ &= \frac{“\pi^{00}”}{\sqrt{2}} + \frac{“\eta^{00}”}{\sqrt{6}} + \frac{“\chi^{00}”}{\sqrt{3}}, \end{aligned} \quad (31)$$

$$\begin{aligned} N\bar{N} &= -\frac{p\bar{p} - N\bar{N}}{2} + \frac{p\bar{p} + N\bar{N} - 2\Lambda\bar{\Lambda}}{6} + \frac{p\bar{p} + N\bar{N} + \Lambda\bar{\Lambda}}{3} \\ &= -\frac{“\pi^{00}”}{\sqrt{2}} + \frac{“\eta^{00}”}{\sqrt{6}} + \frac{“\chi^{00}”}{\sqrt{3}}, \end{aligned} \quad (32)$$

$$\Lambda\bar{\Lambda} = -\frac{p\bar{p} + N\bar{N} - 2\Lambda\bar{\Lambda}}{3} + \frac{p\bar{p} + N\bar{N} + \Lambda\bar{\Lambda}}{3} = -\frac{2}{\sqrt{6}} “\eta^{00}” + \frac{“\chi^{00}”}{\sqrt{3}}, \quad (33)$$

上式代表 $p\bar{p}$ 、 $N\bar{N}$ 系统应该具有三种 SU_3 态: “ π^{00} ”、“ η^{00} ”、“ χ^{00} ”, $\Lambda\bar{\Lambda}$ 系统具有两种 SU_3 态: “ η^{00} ”、“ χ^{00} ”。我们将 “ π^{00} ”、“ η^{00} ”、“ χ^{00} ” 形式改写一下:

$$\left. \begin{aligned} “\pi^{00}” &= \frac{p\bar{p} - N\bar{N}}{\sqrt{2}}, \\ “\eta^{00}” &= \sqrt{\frac{1}{3}} \frac{p\bar{p} + N\bar{N}}{\sqrt{2}} - \sqrt{\frac{2}{3}} \Lambda, \bar{\Lambda} \\ “\chi^{00}” &= \sqrt{\frac{2}{3}} \frac{p\bar{p} + N\bar{N}}{\sqrt{2}} + \sqrt{\frac{1}{3}} \Lambda, \bar{\Lambda}. \end{aligned} \right\} \quad (34)$$

在 SU_3 不变的强作用下, 这几个状态在同一条能级上(退化), 但在 T_3 破坏下, 这几条能级应该分裂, 我们把它称为 SU_3 么正对称能带, 如图 1 所示。

这三条能级的量子数如主量子(径向激发)、角量子数(轨道激发)和电荷、宇称、电荷共轭宇称等等是相同的。标志内部对称的量子数如同位旋、奇异量子数、卡什米尔算子等等是不同的。

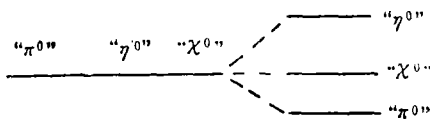


图 1

为了估计能级 “ χ^{00} ” 的值, 引入 SU_3 单态与八重态的混合, 根据波函数展开式(34), 引入质量混合:

$$m^2_{\pi^{00}} = b, \quad m^2_{\eta^{00}} = \frac{1}{3} b + \frac{2}{3} c, \quad m^2_{\chi^{00}} = \frac{2}{3} b + \frac{1}{3} c, \quad (35)$$

求解之得:

$$m^2_{\chi^{00}} = \frac{m^2_{\pi^{00}} + m^2_{\eta^{00}}}{2} \quad (36)$$

上式称 “Okubo” 混合, 我们将以质量公式(36)讨论重子-反重子系统的能级 “ π ”、“ η ”、“ χ^{00} ” 的关系, 这里我们将 “ π^{00} ”、“ η^{00} ” 上的指标省略掉。目前从重子反重子相互作用的实

验中^[3,4],已经得到一些共振态和束缚态,这些能级大部分是属于 $p\bar{p}$ 系统,也有几条属于 $S = \pm 1$ 的 $N\bar{\Lambda}$, $p\bar{\Lambda}$, $\Lambda\bar{N}$, $\Lambda\bar{p}$ 系统和 $N\bar{p}$ 系统. 这些能级对应的态由(21)–(25)式给出.

三、计算结果及讨论

由重子-反重子系统的么正对称理论,我们得到如下结果:

1. 重子-反重子系统组成九种重子-反重子系统,但它们的能谱只有四种类型.

第一类: $p\bar{p}$ 、 $N\bar{N}$; 第二类: $p\bar{\Lambda}$ 、 $N\bar{p}$; 第三类: $p\bar{\Lambda}$ 、 $N\bar{\Lambda}$ 、 $\Lambda\bar{p}$ 、 $\Lambda\bar{N}$; 第四类: $\Lambda\bar{\Lambda}$.

同一类型的能谱结构相同.

2. 第一类能谱每三条能级“ π^0 ”、“ η ”、“ χ^0 ”形成一个么正对称能带,由(30)式可以看出,知道同一么正带中任意两条能级,就可以预言另一条能级的位置. “ π ”能级同位旋 $T = 1$, “ χ^0 ”和“ η ”的同位旋 $T = 0$. 它们的奇异量子数 $S = 0$.

3. 第二类能谱的能级位置和么正对称带的能级“ π^0 ”相同. 同位旋 $T = 1$, 奇异量子数 $S = 0$.

4. 和每一么正带对应的“K”能级形成第三类能谱, 它和么正带能级关系由(36)式决定. 它的同位旋 $T = 1/2$, $S = \pm 1$.

5. $\Lambda\bar{\Lambda}$ 谱自成一类,每两条能级形成一个“么正对称子带”,它的位置由么正带“ χ^0 ”和

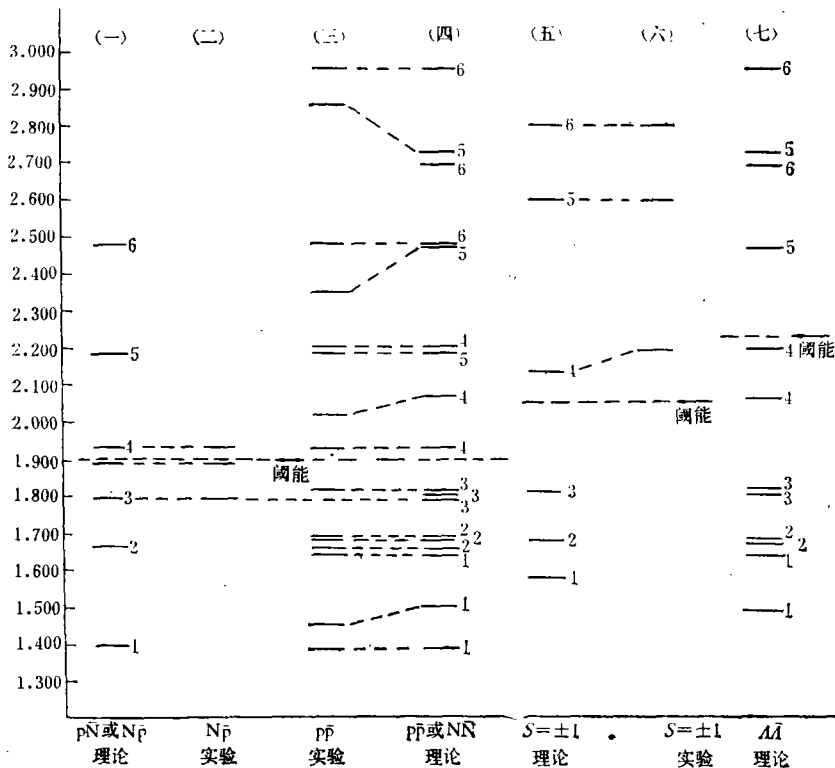


图2 重子-反重子系统能级图

“ η ”决定。子带能级比么正对称带能级少 $1/3$, 同位旋 $T = 0$, 奇异量子数 $S = 0$ 。

近年来, 实验上已测出了一些重子-反重子系统的能级数据^[1-6], 其中 $p\bar{p}$ 能级比较肯定的有 16 条, $p\bar{n}$ 能级比较肯定的有三条, 实验上分析 $S = \pm 1$ 的能级有 3—4 条, 我们将这些能级画在图 2 上, 分析这些能级结构, 对重子-反重子系统的 SU_3 么正对称理论是十分重要的。

我们将 $p\bar{p}$ 重子素能谱分成 6 个么正对称带, 分别称它们为第一么正带, 第二么正带, 第三么正带……。按 (30) 式及 (36) 式, 由两条能级预言另一条能级。我们将计算结果和实验结果都列在表 4 中, 并画成图 2, 实验能级分别填在适当的么正带, 各么正带都有一条相应的“K”能级。1.897 GeV 及 3.050 GeV 这两条能级, 因其附近实验上尚未发现同一带的其它能级, 我们暂不讨论它们。

表 4 重子素的能级分类 (单位 GeV)

么正带次序	“ π ” 实验值	“ η ”		“ χ^0 ”		“K”	
		实验值	理论值	实验值	理论值	实验值	理论值
1	1.395 $\begin{smallmatrix} \Delta \\ \leq 15 \end{smallmatrix}$	1.646 $\begin{smallmatrix} \Delta \\ \leq 15 \end{smallmatrix}$	—	1.457 ₃₄	1.505		1.587
2	1.660 $\begin{smallmatrix} \Delta \\ 21 \end{smallmatrix}$	1.694 $\begin{smallmatrix} \Delta \\ 19 \end{smallmatrix}$	—	1.684 ≤ 15	1.676		1.685
3	1.794 $\begin{smallmatrix} \Delta \\ 7 \end{smallmatrix}$	1.820 $\begin{smallmatrix} \Delta \\ 30 \end{smallmatrix}$	—		1.806		1.813
4	1.936 $\begin{smallmatrix} \Delta \\ 8 \end{smallmatrix}$	2.204 $\begin{smallmatrix} \Delta \\ 16 \end{smallmatrix}$	—	2.020 ₂₄	2.074	2.200 ₂₅₀	2.139
5	2.190 $\begin{smallmatrix} \Delta \\ 200 \end{smallmatrix}$	2.850 ≤ 40	2.722	2.350 ₂₁₀	2.470	2.600 $\begin{smallmatrix} \Delta \\ 18 \end{smallmatrix}$	—
6	2.480 $\begin{smallmatrix} \Delta \\ 280 \end{smallmatrix}$	2.950 ≤ 15	2.897		2.697	2.800 Δ	—

表 4 中, 能级右下边数字是实验测得的能级宽度 (单位: MeV), 右上角 Δ 符号表示这条能作为输入值。表中么正带次序是按“ π ”能级高低排列的。

图 2 上能级旁的小数字是表示这条能级属于第几么正对称带。

我们认为, 同一么正带能级比较靠近, “ π ”的位置最低, “ χ^0 ”次之, “ η ”较高。

在表 4 和图 2 中, 所有的“ π ”能级都对应于实验能级, 在前四个么正带中, 我们取“ η ”对应于实验能级, 后两个么正带中取“K”能级对应于实验能级, 而从 (30) 式及 (36) 式预言其它能级的位置。在表格中有“—”符号表示取实验上相当的能级作为“ η ”和“K”的输入值。空格是目前实验尚未发现的能级位置。按么正对称理论, 我们期待实验去发现。

从表 4 和图 2 中可以看出, 第一、二、三么正带是重子-反重子系统束缚态能级。通过“ π ”、“ η ”预言的实验能级确在 4% 的误差范围内在实验上有相应的能级。第四、五、六么正带是共振态的能谱, 第四么正带我们预言的能级已从实验上找到相应的能级。第五么正带将实验上测到的宽度为 $\Gamma \sim 210\text{keV}$ 的能级暂填在“ χ^0 ”的位置。第五、六能带的“ η ”能级都能在实验上找到。

必须强调指出,在 $p\bar{N}$ 中实验上测到 1.932GeV 能级,在 $p\bar{p}$ 系统中测到 1.936GeV 能级.前者应属“ π^- ”,后者属于“ π^0 ”.这和 SU_3 么正对称理论预言“ π^0 ”、“ π^\pm ”是退化的结果是一致的.在 $p\bar{N}$ 系统中,实验上测到了能级 1.797GeV,在 $p\bar{p}$ 实验上应有相应的能级,但目前还未测到,我们在计算 $p\bar{p}$ 能级的第三么正带时,取“ π^- ”作为实验输入值.

从上述计算结果表明, SU_3 么正对称理论预言的重子-反重子系统能谱结构、同位旋、奇异量子数都和实验给出的数据符合得较好,而且预言了一些新的能级.如果实验上能测到这些能级,特别是束缚态的能级,那将是很有意义的.

理论与实验的一致,说明重子-反重子系统是具有 SU_3 么正对称性的.

参 考 文 献

- [1] I. S. Shapiro, *Phys. Report*, **35C**(1978), 131.
- [2] K. Kilian and B. Pietrzok, 7th International Conference on High-Energy Physics and Nuclear Structure (1977).
- [3] L. Montanet, *CERN/EP/Phys.*, 77—22.
- [4] L. Montanet, CERN-To-124.
- [5] A. Apostolakis et al., *Phys. Lett.*, **66B**(1977), 185.
- [6] XIX International Conference on High Energy Physics, (1978).

UNITARY SYMMETRY IN BARYON-ANTIBARYON SYSTEMS

CHEN XIAO-TIAN YUAN TU-NAN

(University of Science and Technology of China)

ZHANG YU-SHUN LI YANG-GUO

(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica)

ABSTRACT

In this paper, we assume that proton, neutron and Λ hyperon are the basic particles which belong to the fundamental triplet of the group SU_3 . Thus baryonium are to be classified in the representations of SU_3 . Besides, the “original” mass difference between Λ hyperon and nucleon exhibits the violation of unitary symmetry which causes the splittings of energy levels and leads to the formations of the “unitary symmetrical energy band”. The analysis in this paper of the energy levels of $B\bar{B}$ systems shows the existence of the energy band. Furthermore, we find that the theoretical values obtained are consistent with the experimental ones quite well.