

# CP 破坏与超对称模型\* CP Violation and Supersymmetry Model

焦善庆<sup>1</sup>,许弟余<sup>2</sup>,周勋秀<sup>1</sup>,龚自正<sup>3</sup>

JIAO Shan-qing<sup>1</sup>,XU Di-yu<sup>2</sup>,ZHOU Xun-xiu<sup>1</sup>,GONG Zi-zheng<sup>3</sup>

(1. 西南交通大学理学院物理系,四川成都 610031;2. 四川职业技术学院物理系,四川遂宁 629000;3. 西南交通大学理学院物理研究所,四川成都 610031)

(1. Department of Physics, Science College, Southwest Jiaotong University, Chengdu, Sichuan, 610031, China; 2. Department of Physics, Sichuan Vocational and Technical College, Suining, Sichuan, 629000, China; 3. Institute of Physics, Science College, Southwest Jiaotong University, Chengdu, Sichuan, 610031, China)

摘要:分析 CP 破坏与超对称模型,然后由超对称模型出发,认为  $u, d$  夸克有两类反夸克: Fermi 型和 Bose 型反夸克,质子  $P_F^{+1}$  也有两类反质子  $\bar{P}_F^{+1}$  及  $\bar{P}_B^{+1}$ ,且  $\bar{P}_B^{+1} = \bar{P}_F^{+1} + 3l_{S,F}^0([q_1q_2]g)$ . 当  $P_F^{+1}\bar{P}_B^{+1}$  对湮灭时,只有  $\bar{P}_B^{+1}$  中的  $\bar{P}_F^{+1}$  与  $P_F^{+1}$  被湮灭而转化的光子,  $l_{S,F}^0([q_1q_2]g)$  组分将被保留下来.  $q_1, q_2, g$  等亚夸克都只是正物质的组分. 因此,宇宙中正物质应多于反物质.

关键词:CP 破坏 超对称 费米子 玻色子 反轻子夸克

中图分类号:O752.32 文献标识码:A 文章编号:1005-9164(2006)03-0196-03

**Abstract:** CP violation and the supersymmetry model are analysed. Based on the model, it is considered that there are two types of antiquarks about  $u$  and  $d$  quarks, namely Fermi type and Bose one. About the proton  $P_F^{+1}$ , there are also two types of antiprotons,  $\bar{P}_F^{+1}$  and  $\bar{P}_B^{+1}$ , and  $\bar{P}_B^{+1} = \bar{P}_F^{+1} + 3l_{S,F}^0([q_1q_2]g)$ . When the pair of  $P_F^{+1}\bar{P}_B^{+1}$  are annihilated, only the component part  $\bar{P}_F^{+1}$  of  $\bar{P}_B^{+1}$  is annihilated together with  $P_F^{+1}$  and they are converted into photons, but the component part  $l_{S,F}^0([q_1q_2]g)$  is left. Subquarks  $q_1, q_2, g$  etc. are the component part of matter, so the matter is more than the antimatter in the universe.

**Key words:** CP violation, supersymmetry, fermion, boson, antilepton quark

CP 破坏, C 表电荷共轭, P 表粒子结构性量子数发生反转. 在 CP 破坏下粒子的完美对称性将发生偏离.

超对称是费米子与玻色子间正、反两界粒子具有一一对应关系. 因此, CP 破坏与超对称模型之间应存在相互关联. 宇宙早期因 CP 破坏构成的多成分粒子是现时粒子的超对称伴子.

文献[1]给出的“编外”粒子,即现时粒子的超对称伴子<sup>[2]</sup>,满足  $SU_C(3) \otimes SU_L(2) \otimes U_{eM}(1)$  对称. 上世纪中期日本学者提出的  $\epsilon_c^-$  物质、 $B_c^-$  物质在粒子相互转变中起着重要作用,轻子-夸克对称是轻子、夸

克间的  $B_c$  物质交换过程. 上世纪 90 年代末实验发现的“反轻子-夸克共振态”<sup>[3,4]</sup>,其基础粒子看来是“反轻子/夸克”粒子,它的亚夸克结构为  $B_c^{+\frac{2}{3}}(b_c\bar{g})$ ,是  $B_c^-$  物质. 本文分析 CP 破坏与超对称模型,然后由超对称模型出发,认为  $u, d$  夸克有两类反夸克: Fermi 型和 Bose 型反夸克,质子  $P_F^{+1}$  也有两类反质子  $\bar{P}_F^{+1}$  及  $\bar{P}_B^{+1}$ ,且  $\bar{P}_B^{+1} = \bar{P}_F^{+1} + 3l_{S,F}^0([q_1q_2]g)$ . 当  $P_F^{+1}\bar{P}_B^{+1}$  对湮灭时,只有  $\bar{P}_B^{+1}$  中的  $\bar{P}_F^{+1}$  与  $P_F^{+1}$  被湮灭而转化的光子,  $l_{S,F}^0([q_1q_2]g)$  组分将被保留下来.  $q_1, q_2, g$  等亚夸克都只是正物质的组分. 因此,宇宙中正物质应多于反物质.

## 1 CP 破坏与超对称

粒子标准模型中,场的度规(外在)空间  $x_\mu$  和场的状态(内禀)空间  $A(x_\mu)$  是分离的,彼此不能互变.

收稿日期:2005-11-15

作者简介:焦善庆(1928-),男,云南南涧人,教授,主要从事理论物理研究.

\* 国家自然科学基金资助项目(19635010,40474033).

“源荷”场  $\psi(x_\mu)$  与作用场  $A_\mu(x_\mu)$  及其量子(即费米子与玻色子)也是分离的,也不能互变。

超对称则认为:在场的状态空间 Hilbert 表示中有种反对易算子,它作用在费米子上会把它变成玻色子,再作用一次又变成费米子,且场在度规空间中发生了位移,从而把场的状态空间和度规空间联系起来,使费米子和玻色子正、反两界粒子,具有一一对应的关系。该理论已受到普遍关注。全球大型国际实验正积极开发超对称粒子的低能端<sup>[5]</sup>,不久可望获得成果。

费米型质子  $P_F^{+1}$  和反质子  $\bar{P}_F^{+1}$  间有很好的对称性,两者湮灭可转化为两个光子。若如此,则宇宙将是一个全由光子组成的世界。但事实并非如此,由于宇宙早期出现 CP 破坏,在宇宙早期构成多成分宇宙的粒子是现时粒子的超对称伴子,使  $P_F^{+1}$  与  $\bar{P}_F^{+1}$  的对称性发生偏离, $P_F^{+1}\bar{P}_F^{+1}$  湮灭不能完全转变为光子,约  $10^{10}$  个质子湮灭会有一个质子存活下来。即宇宙中光子数密度  $n_\gamma$  与质子数密度  $n_p$  之比为<sup>[5~7]</sup>

$$\frac{n_\gamma}{n_p} \doteq 10^{10}. \quad (1)$$

对(1)式作严格理论计算是不可能的。若假设宇宙是光子热平衡态和引力束缚态并存的系统,利用统计力学中玻尔兹曼分布,结合观测数据的唯象分析,初步能给出(1)式的结果。

“编外”粒子<sup>[1]</sup>的结构性完全符合超对称条件,是现时粒子的超对称伴子<sup>[2]</sup>。以第一代粒子为例,本文主要用到的一些结果有:

现时费米型正粒子      玻色型超对称反粒子

$$\text{夸克} \left\{ \begin{array}{l} u_F^{+\frac{2}{3}}(q_1 b_c g) \\ d_F^{-\frac{1}{3}}(q_2 b_c g) \end{array} \right\} \longleftrightarrow \left\{ \begin{array}{l} \bar{y}_B^{+\frac{2}{3}}(q_2 \bar{b}_c) \\ \bar{y}_B^{-\frac{1}{3}}(q_1 \bar{b}_c) \end{array} \right\}. \quad (2)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Q = +\frac{2}{3}, I_3 = +\frac{1}{2}, y = +\frac{1}{3} \\ Q = -\frac{1}{3}, I_3 = -\frac{1}{2}, y = +\frac{1}{3} \\ Q = -\frac{2}{3}, I_3 = -\frac{1}{2}, y = -\frac{1}{3} \\ Q = +\frac{1}{3}, I_3 = +\frac{1}{2}, y = -\frac{1}{3} \end{array} \right\}. \quad (3)$$

$$\text{轻子} \left\{ \begin{array}{l} \nu_{e,F}(q_1 g g) \\ e_F^{-1}(q_2 g g) \end{array} \right\} \longleftrightarrow \left\{ \begin{array}{l} \bar{U}_{e,B}^0(q_2 \bar{g}), \text{中性微子} \\ \bar{U}_{e,B}^{-1}(q_1 \bar{g}), \text{荷电微子} \end{array} \right\}. \quad (4)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Q = 0, I_3 = +\frac{1}{2}, y = -1 \\ Q = -1, I_3 = -\frac{1}{2}, y = -1 \\ Q = 0, I_3 = -\frac{1}{2}, y = +1 \\ Q = +1, I_3 = +\frac{1}{2}, y = +1 \end{array} \right\}. \quad (5)$$

(2)~(5)式完全符合超对称条件的要求,另外还有

$$\text{矢量轻子 } l_T = \left\{ \begin{array}{l} l_{T,F}^{+\frac{1}{2}}(q_1 q_1 g) \\ l_{T,F}^0(\{q_1 q_2\} g) \\ l^{-1} T, F(q_2 q_2 g) \end{array} \right\},$$

$$Q = \begin{cases} +1 \\ 0 \\ -1 \end{cases}, I_3 = \begin{cases} +1 \\ 0 \\ -1 \end{cases}, Y = \begin{cases} 0 \\ 0 \\ 0 \end{cases}. \quad (6)$$

$$\text{双轻子 } (l')_F^{-1}(g g g), Q = -1, I_3 = 0, N = 0, \\ L = 2, Y = -2. \quad (7)$$

$$\text{双夸克 } (q'')_F(b_c b_c g), Q = +\frac{1}{3}, I_3 = 0, \\ N = +\frac{2}{3}, L = 0, Y = +\frac{2}{3}. \quad (8)$$

$$\text{轻子夸克 } (q')_F^{-\frac{1}{3}}(b_c g g), Q = -\frac{1}{3}, I_3 = 0, \\ N = +\frac{1}{3}, L = +1, Y = -\frac{2}{3}. \quad (9)$$

$B_c$ -物质(反轻子夸克)及  $\epsilon_e$ -物质

$$B_c^{+\frac{2}{3}}(b_c \bar{g}), Q = +\frac{2}{3}, I_3 = 0, N = +\frac{1}{3}, \\ L = -1, Y = +\frac{4}{3}; \quad (10)$$

$$\epsilon_e^{-1}(\bar{q}_1 q_2), Q = -1, I_3 = -1, N = 0, L = 0, \\ Y = 0. \quad (11)$$

超对称粒子都有很大质标,  $B_c$ -物质、 $\epsilon_e$ -物质则是名古屋模型和统一中微子模型的基础,在现时三代费米子及它们的超对称玻色子中都起着重要作用。

## 2 $\epsilon_e^{-1}$ -物质、 $B_c$ -物质与超对称模型

较早前人们提出了  $\epsilon_e^{-1}$ -物质、 $B_c$ -物质概念,建立了统一中微子模型和名古屋模型。对现时费米子表示为

$$e_F^{-1}(q_2 g g) = \nu_{e,F}^0(q_1 g g) + \epsilon_e^{-1}(\bar{q}_1 q_2); \quad (12)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} u_F^{+\frac{2}{3}}(q_1 b_c g) \\ d_F^{-\frac{1}{3}}(q_2 b_c g) \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \nu_{e,F}^0(q_1 g g) \\ e_F^{-1}(q_2 g g) \end{array} \right\} + B_c^{+\frac{2}{3}}(b_c \bar{g}). \quad (13)$$

在它们的超对称伴子族系中则可表示为<sup>[2]</sup>

$$\bar{U}_{e,B}^{-1}(q_1 \bar{g}) = \bar{U}_{e,B}^0(q_2 \bar{g}) + \bar{\epsilon}_e^{-1}(q_1 \bar{q}_2); \quad (14)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{y}_{e,B}^{+\frac{2}{3}}(q_2 \bar{b}_c) \\ \bar{y}_{e,B}^{-\frac{1}{3}}(q_1 \bar{b}_c) \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \bar{U}_{e,B}^0(q_2 \bar{g}) \\ \bar{U}_{e,B}^{-1}(q_1 \bar{g}) \end{array} \right\} + \bar{B}_c^{+\frac{2}{3}}(b_c \bar{g}). \quad (15)$$

(12)式、(13)式把费米族中的夸克、轻子、中微子联系在一起,且电子可以衰变。(14)式、(15)式则通过反  $B_c$ -物质、反  $\epsilon_e^{-1}$ -物质将超对称伴子中的玻色型反夸克、反轻子、反中性微子联系在一起,荷电微子也可以衰变为中性微子。中性微子目前普遍认为是构成宇宙暗物质的最佳候选者。实验家预示可能在

350GeV 的限上探测到中性微子  $\bar{U}_{e,B}^0$  [6], 算得  $m_{U_{e,B}^0} \doteq 320\text{GeV}$ , 与实验估计较好相符。

理论家对“反轻子夸克”粒子  $B_c(b_c\bar{g})$  情有独钟, 因为它是在非常早期的宇宙大爆炸中, 用来解释可见宇宙中物质比反物质多的最佳方案. 1997 年 HERA 的 HI 与 ZEUS 两探测器同时发现  $\bar{l} - q$  反轻子夸克共振态 [3], 人们开始认为它可能是“反轻子夸克”, 但测得的质量  $m_{\bar{l}-q} \doteq 200\text{GeV}$ , 太小, 这种轻子夸克会使质子都衰变掉, 所以人们开始的认为是错误的。

实验发现的是  $\bar{l} - q$  共振态, 是一种与当前 4 种力不同的新力, 可能是比  $Z^0$  粒子更重的超标准模型的  $\epsilon$ -物质传播而将  $\bar{l} - q$  结合在一起的共振态 [3]. 它涉及到亚夸克结构, 属于新层次物理。

如果“反轻子夸克”是“反轻子-夸克”共振的基础粒子, 它在海中俘获一对  $q_1 \bar{q}_1$  对 (或  $q_2 \bar{q}_2$  对), 一对  $g\bar{g}$  对, 则可构成“反轻子-夸克”共振

$$B_c^{+\frac{2}{3}}(b_c\bar{g}) + \left\{ \begin{array}{c} q_1 \bar{q}_1 \\ q_2 \bar{q}_2 \end{array} \right\} + (g\bar{g}) \rightarrow \left\{ \begin{array}{c} \bar{\nu}_{e,F}^0(\bar{q}_1\bar{g}\bar{g}) + u_F^{+\frac{2}{3}}(q_1 b_c g) \\ \bar{e}_F^{-1}(\bar{q}_2\bar{g}\bar{g}) + d_F^{-\frac{1}{3}}(q_2 b_c g) \end{array} \right\}. \quad (16)$$

反轻子-夸克共振是通过比  $m_z^0 \doteq 90\text{GeV}$  重得多的  $\epsilon_e^0(q_1 \bar{q}_1)$  或  $\epsilon_e^0(q_2 \bar{q}_2)$  相互交换而形成的。

### 3 关于正、反物质世界的讨论

反物质的存在已被实验发现正电子、反质子、反氢原子、反氦等事实所证实。

可能会出现一种认识, 由于中微子  $\nu_{e,F}^0$  有两类反中微子  $\bar{\nu}_{e,F}^0$  (费米型) 和  $\bar{U}_{e,B}^0$  (玻色型); 电子  $e_F^{-1}$  也有两类; 夸克  $u_F^{+\frac{2}{3}}, d_F^{-\frac{1}{3}}$  也有两类反夸克, 即  $\bar{u}_F^{+\frac{2}{3}}, \bar{y}_{e,B}^{+\frac{2}{3}}(q_2 \bar{b}_c), \bar{d}_F^{-\frac{1}{3}}, \bar{y}_{e,B}^{-\frac{1}{3}}(q_1 \bar{b}_c)$ ; 因此质子  $P_F^{+1}$  也有两类反质子  $\bar{P}_F^{+1}$  及  $\bar{P}_B^{+1}$ . 于是与正物质世界对应的反物质世界应有两类, 一为费米型的, 另一个为玻色型的。

考虑费米型轻子与它的伴子玻色型反轻子正、反两界的一一对应条件, 显然下式成立。

$$\left\{ \begin{array}{c} \bar{U}_{e,B}^0(q_2\bar{g}) \\ \bar{U}_{e,B}^{-1}(q_1\bar{g}) \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{c} \bar{\nu}_{e,F}^0(q_1gg) \\ e_F^{-1}(q_2gg) \end{array} \right\} + (\bar{l}')^{-1}(\bar{g}\bar{g}\bar{g}) + \left\{ \begin{array}{c} \epsilon_e^{-1}(\bar{q}_1q_2) \\ \bar{\epsilon}_e^{-1}(q_1\bar{q}_2) \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{c} \bar{\nu}_{e,F}^0(\bar{q}_1\bar{g}\bar{g}) \\ \bar{e}_F^{-1}(\bar{q}_2\bar{g}\bar{g}) \end{array} \right\} + l_{S,F}^0([q_1q_2]g). \quad (17)$$

$\epsilon_e$ -物质

对于夸克, 则有

$$\left\{ \begin{array}{c} \bar{y}_{e,B}^{+\frac{2}{3}}(q_2\bar{b}_c) \\ \bar{y}_{e,B}^{-\frac{1}{3}}(q_1\bar{b}_c) \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{c} u_F^{+\frac{2}{3}}(q_1 b_c g) \\ d_F^{-\frac{1}{3}}(q_2 b_c g) \end{array} \right\} + (\bar{q}'')_F^{+\frac{1}{3}}(\bar{b}_c \bar{b}_c \bar{g}) + \left\{ \begin{array}{c} \epsilon_e^{-1}(\bar{q}_1q_2) \\ \bar{\epsilon}_e^{-1}(q_1\bar{q}_2) \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{c} \bar{u}_F^{+\frac{2}{3}}(\bar{q}_1\bar{b}_c\bar{g}) \\ \bar{d}_F^{-\frac{1}{3}}(\bar{q}_2\bar{b}_c\bar{g}) \end{array} \right\} + l_{S,F}^0([q_1q_2]g). \quad (18)$$

玻色型反夸克      费米型夸克      费米型双反夸克

$\epsilon_e$ -物质

可见费米型反夸克  $\left\{ \begin{array}{c} \bar{u}_F \\ \bar{d}_F \end{array} \right\}$  只是玻色型反夸克

$\left\{ \begin{array}{c} \bar{y}_{e,B}^{+\frac{2}{3}} \\ \bar{y}_{e,B}^{-\frac{1}{3}} \end{array} \right\}$  的一个组分, 另一组分是  $l_{S,F}^0$  粒子. 费米型反轻子  $\left\{ \begin{array}{c} \bar{\nu}_{e,F}^0 \\ \bar{e}_F^{-1} \end{array} \right\}$  也只是玻色型反轻子  $\left\{ \begin{array}{c} \bar{U}_{e,B}^0 \\ \bar{U}_{e,B}^{-1} \end{array} \right\}$  的一个组分, 另一组分是  $l_{S,F}^0$ . 于是由 (18) 式易得

$$\left\{ \begin{array}{c} \bar{P}_B^{+1}(y_{e,B}^{-\frac{2}{3}}y_{e,B}^{-\frac{2}{3}}y_{e,B}^{+\frac{1}{3}}) \\ \bar{n}_B^0(y_{e,B}^{-\frac{2}{3}}y_{e,B}^{+\frac{1}{3}}y_{e,B}^{+\frac{1}{3}}) \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{c} \bar{P}_F^{+1}(u_F^{+\frac{2}{3}}u_F^{+\frac{2}{3}}d_F^{-\frac{1}{3}}) \\ \bar{n}_F^0(u_F^{+\frac{2}{3}}d_F^{-\frac{1}{3}}d_F^{-\frac{1}{3}}) \end{array} \right\} + 3l_{S,F}^0([q_1q_2]g). \quad (19)$$

由此可知, 当  $P_F^{+1}\bar{P}_B^{+1}$  对发生湮灭时, 只有  $\bar{P}_B^{+1}$  中的  $\bar{P}_F^{+1}$  组分与  $P_F^{+1}$  被湮灭掉而转化为光子,  $l_{S,F}^0([q_1q_2]g)$  的组分将保留下来.  $q_1, q_2, g$  等亚夸克, 都只能是构成正物质的组分, 因此宇宙中正物质应多于反物质。

#### 参考文献:

- [1] 焦善庆, 蓝其开. 亚夸克理论[M]. 重庆: 重庆出版社, 1996.
- [2] 焦善庆, 蓝其开, 江光佐. 编内费米子反物质和“编外”玻色子反物质对称性的讨论[J]. 江西师范大学学报: 自然科学版, 2002, 26(4): 288-293.
- [3] 沈经. 场与粒子理论的实验问题[C]//世界学术文库. 北京: 世界学术文库出版社, 2000, 1(2): 563-584.
- [4] 焦善庆, 江光佐.  $\epsilon$ 物质、B物质与“编外”粒子[J]. 湘潭师范学院学报: 自然科学版, 2002, 24(4): 12-17.
- [5] CERN COURIER. The quark-gluon structure of a photon[C]. Reference Material on High Energy Physics of Chinese Academy of Sciences, Beijing: Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, 1997, 8: 1-8, 14-15, 23-24.
- [6] 焦善庆. 粒子物理学研究进展[J]. 大自然探索, 1992, 11(4): 16-19.
- [7] 张邦固. 宇宙奥秘[M]. 北京: 科学出版社, 2002.

(责任编辑: 邓大玉 凌汉恩)