

## 对粒子物理标准模型的重新审视\*

焦善庆<sup>1</sup>, 许弟余<sup>2</sup>, 龚自正<sup>3</sup>, 朱永金<sup>2</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. 中国空间技术研究院 总装与环境工程部, 北京 100094)

**摘要:** 鉴于当前实验研究结果不断地给基本粒子标准模型提出疑难, 揭示轻子、夸克存在亚结构的迹象, 例如 EMC 效应预示轻核与重核之间存在差异,  $p\bar{p}$  碰撞单举截面分布在横能  $E_T > 200$  GeV 时与 QCD 计算发生较大偏差, 发现了反轻子-夸克共振事例, 先后发现了夸克的味变中性流和轻子的味变中性流, 轻子的“反常量”等等. 这些实验迹象都迫使我们有必要及时对基本粒子标准模型进行一番全面、系统的审视.

**关键词:** 基本粒子标准模型; 亚夸克; 夸克-轻子对称; 味变中性流; 反常磁矩

**中图分类号:** O 752.32 **文献标识码:** A **文章编号:** 0258-7971(2008)03-0261-04

目前实验不断发现了一些偏离基本粒子标准模型的事例, 如:

在 20 世纪 80 年代, EMC 研究组<sup>[1]</sup>发现: 重核(如 Fe, Al, Ca, ...) 与氘核<sup>2</sup>H 的结构函数有所差异, 违背了原来重核与轻核结构函数无差别的结论, 称为 EMC 效应.

1996 年 CDF 组测量  $p\bar{p}$  碰撞夸克喷注单举截面分布, 当横能  $E_T > 200$  GeV, 实验数据比 QCD 计算结果显著增大, 预示夸克可能存在亚结构迹象<sup>[2]</sup>.

1997 年 HERA 的 H1 和 ZEUS 组同时发现  $\bar{l}-q$ (反轻子-夸克)共振<sup>[3]</sup>, 是由比  $Z^0$  介子重得多的亚夸克构成的传播子把  $\bar{l}-q$  粘合在一起的, 涉及到夸克的亚结构(亚夸克)问题.

1994 年(美)康乃尔大学的 CLEO 组发现了夸克的味变中性流转变过程  $b \rightarrow s + r$ <sup>[4]</sup>.

1995 年日本神冈实验组测得太阳中微子反常, 大气中微子反常事例<sup>[5]</sup>.

1998 年日本超神冈实验明确提出: 中微子有质量、混合和振荡<sup>[6]</sup>, 中微子  $\nu_e$  的质量下限  $m_{\nu_e} \approx (0.07 \pm 0.04)$  eV. 又经不断对实验深化提高后, 于 2002 年获诺贝尔奖.

中微子有质量、有振荡, 对标准模型是绝对禁止的, 这一实验事实对标准模型是一个极大的冲击.

轻子有“反常质量”、“反常电荷”、“反常磁矩”是轻子有结构的可观测效应. 实验显示, 轻子有“反常磁矩”

$$\mu_{\nu_e} \approx 10^{-10} \mu_N^{[7]};$$

$$\Delta\mu_e \approx (2.51 \pm 1.54) \times 10^{-10} \mu_B^{[8]}.$$

另外, 国外多家实验还发现: 光子的夸克/胶子结构是由胶子弦将夸克、反夸克粘合在一起的系统<sup>[9]</sup>, 既有电磁作用, 也有强作用特征. 这是令人们始料不及的. 在文献<sup>[10]</sup>中我们对它的结构函数及中微子的结构函数作了较详尽的表述.

由此可见, 在当前情况下, 对基本粒子的标准模型进行全面而系统的审视, 是十分必要和适时的.

## 1 原子核结构函数的 EMC 效应

20 世纪 60 年代初、中期, 中国科技大学有人提出“三套(色)夸克理论”, 我们则提出“基本粒子的亚夸克结构模型”, 均受到正统派的围攻、打击、封锁. 中国科技大学的同志被取消参加 1965 年北

\* 收稿日期: 2007-11-06

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40474033).

作者简介: 焦善庆(1928- ), 男, 云南人, 教授, 主要从事理论物理教学和研究.

通讯作者: 许弟余(1947- ), 男, 四川人, 教授, 主要从事近代物理学教学和研究.

京国际粒子物理会议的资格. 可惜的是 20 世纪 80 年代国外据类似观点发展了“量子色动力学”, 中国没有参与. 我们除在北京粒子物理国际会上受猛烈围攻外, 在长期封锁诽谤中于 1975 年在兰州大学学报上刊出《基本粒子结构的层次性》一文<sup>[11]</sup>.

继而我们严格证明了夸克、亚夸克两层次间存在的动量可加性法则, 给出亚夸克层次的动量分布函数为  $\beta$  分布<sup>[12]</sup>. 若把强子视为价-海亚夸克混合模型, 价与海亚夸克有源和场的关系, 与  $Q, E, D$  类比, kuti-weisskopf 计算思路可以沿用. 强子内价亚夸克的动量分布确为  $\beta$  分布<sup>[13]</sup>.

我又深入研究了深度非弹性散射的核行为<sup>[14,15]</sup> 及  $e^-e^+$  的截面比<sup>[16]</sup>、稳定的亚夸克数<sup>[17]</sup>, 均与实验相符.

对于重核, 考虑到碰撞时将导致原子核的形变, 且只计及二重重叠奇特成分的概率  $P_{\text{exo}}^{(2)}$ , 考虑到  $\pi$  介子态和双夸克态贡献, 经繁琐计算给出  $F_2^{\text{Fe}}(x, Q^2)/F_2^{\text{D}}(x, Q^2)$ ,  $F_2^{\text{Al}}(x, Q^2)/F_2^{\text{D}}(x, Q^2)$ ,  $F_2^{\text{Ca}}(x, Q^2)/F_2^{\text{D}}(x, Q^2)$ ,  $F_2^{\text{Au}}(x, Q^2)/F_2^{\text{D}}(x, Q^2)\dots$  的 EMC 效应均与实验相符<sup>[8]</sup>.

## 2 中微子质量、混合和振荡——味变中性流问题

传统理论认定, 中微子  $m_{\nu_e} = 0, v_{\nu_e} = c$  无一个参照系比  $\nu_e$  运动快, 故中微子只有左手态, 无右手态. 电子则有左手双态, 右手单态. 所以不能存在中微子的味变中性流. 弱作用以  $SU_L(2)$  表述, 长期成为粒子物理标准模型的基石, 不得违反.

若中微子由亚夸克构成, 即使在静态下静质量将因自然性法则而抵消, 其内亚夸克动态机制还将给中微子贡献“反常质量”, 因此  $\Delta m_{\nu_e} \neq 0, SU_L(2)$  应推广为  $SU_L(2) \otimes SU_R(2)$ , 这样在哈氏量中应有反应中微子质量项的味变中性流.

我们假设轻子、夸克内部本就存在味亚夸克手征二重态, 从而构成三代夸克、轻子对称, 弱超荷应与大统一理论取一致的结果. 则无穷小算符构成的  $SU_L(2) \otimes SU_R(2)$  代数应与左、右二重态是对应的. 经过一番计算, 给出在左右手征对称超荷流中  $m_{\nu_e} \neq 0$ <sup>[18]</sup>.

1994 年, 神冈实验发现中微子  $\nu_e, \nu_\mu$  的反常实验<sup>[5]</sup>. 1998 年又明确指出“中微子有质量、混合和振荡”<sup>[19]</sup>,  $m_{\nu_e \text{ 下限}} \approx (0.07 \pm 0.04) \text{ eV}^{[6]}$ , 2002 年获

诺贝尔奖.

SN1978 给出中微子质量上限  $m_{\nu_e \text{ 上限}} \approx 3.6 \text{ eV}^{[20]}$ , 我们算得  $m_{\nu_e} \approx 0.32 \text{ eV}^{[21,22]}$ .

在轻子、夸克结构的亚夸克模型中引入弱荷流  $J_\mu^+$  和卡比玻角  $\theta_c$ , 可以定义由  $m$  个上亚夸克和  $n$  个下亚夸克构成的混合矩阵  $U_{mn}$ , 经亚夸克流代数计算, 得出轻子具有么正性的混合矩阵元  $U_{mn}$ <sup>[23]</sup>.

在不同代的矩阵元中, 若中微子的质量为零, 则矩阵元  $U_{mn}$  均为无穷大, 无意义. 可见中微子质量与中微子混合是密切相关的, 有质量, 必有混合. 可以得到结论: 中微子态并不是特定的本征态, 而是各中微子态都有一定概率出现的混合态的叠加, 这一结论与神冈组于 1998 年用琴弦振动发声打的比方是一致的.

进而把轻子(或夸克)视为可压缩性极小的量子液滴, 其内的亚夸克运动只能导致等体积的表面形变<sup>[24,25]</sup>. 引入 3 个形变参数  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  在区域  $(0, 1)$  展成形变空间  $E(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$ , 且在  $E(0, 0, 0)$  附近作谐振动<sup>[26,27]</sup>. 引入产生、湮灭算符, 并证明产生、湮灭算符能构成  $SU(3)$  的无穷小生成算符及 3 个  $SU(2)$  子群. 给出了 3 代中微子的相互转化是混合态量子的相互转化<sup>[28]</sup>

太阳中微子振荡:  $\nu_e \longleftrightarrow \nu_\mu$ ,

相应振荡量子数:  $n_1 \longleftrightarrow n_4$ ;

大气中微子振荡:  $\nu_\mu \longleftrightarrow \nu_\tau$ ,

相应振荡量子数:  $n_4 \longleftrightarrow n_6$ .

此即中微子振荡的味变中性流过程.

## 3 轻子“反常量”是轻子有亚结构的可观测效应

在轻子的亚夸克静态模型中, 中微子、电子、 $\mu$  子静质量分别为 0, 0.51, 940 MeV, 在动态模型中, 由于其内的亚夸克运动, 于是出现“反常质量”  $\Delta m_{\text{反}}$ 、“反常电荷”  $\Delta Q_{\text{反}}$ 、“反常磁矩”  $\Delta \mu_{\text{反}}$ . 它们是轻子有亚结构的可观测效应.

中微子及电子的反常质量可视为近似相等, 因为它们为同代粒子, 代场、势场基本相同, 波函数近似重叠. 取  $\Delta m_{\nu_e} \approx \Delta m_e = 0.1 \text{ eV}^{[6]}$ , 据电量、质量的规范式算得  $\Delta Q_{\nu_e} \approx 1.0 \times 10^{-28} \text{ C}$ , 算得反常磁矩为  $\Delta \mu_{\nu_e} \approx 2.8 \times 10^{-10} \mu_N^{[29]}$ , 与文献[30]  $\Delta \mu_{\nu_e} \approx 10^{-10} \mu_N$  相近,  $\mu_N$  为核磁子.

对于电子,可以有几种算法:

(1) 据相对论的动、静质量关系及动、静电量关系给出的质量、电量联合守恒关系式<sup>[30]</sup>

$$\Delta Q_e = \frac{e}{2} \frac{\Delta m_e}{m_e},$$

取  $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ ,  $m_e = 0.51 \text{ MeV}$ ,  $\Delta m_e = 0.1 \text{ eV}$ , 算得

$$\Delta Q_e \approx 1.57 \times 10^{-26} \text{ C},$$

$$\Delta \mu_e = 2.4 \times 10^{-10} \mu_B, \mu_B \text{ 为玻尔磁子.}$$

(2) 由 Planck 大数  $A$  及 Dirac 大数  $D$  的关系式得电磁耦合常数

$$\alpha = \frac{e^2}{\hbar c} = \frac{2Dm_e}{1.49 A^2 m_N} = \frac{1}{137.289},$$

$$\Delta \alpha = \frac{2D\Delta m_e}{1.49 A^2 m_N} \approx 1.4 \times 10^{-9}.$$

实验结果  $\alpha = \frac{1}{137.039}$ .

实验迹象显示,  $\alpha$  是变化的<sup>[29]</sup>, 但其值甚小, 看来  $\alpha$  的变化是“反常质量” $\Delta m_e$  引起, 其值约为  $1.4 \times 10^{-9}$ .

$$\Delta Q_e = 1.57 \times 10^{-26} \text{ C},$$

$$\Delta \mu_e = 2.4 \times 10^{-11} \mu_B.$$

计算结果与实验相符.

## 4 其它

20 世纪 90 年代我们研究在亚夸克层次的粒子组态, 发现在已知的三代费米型夸克、轻子外, 还存在一些不能被三代粒子所包容的新粒子族系<sup>[31]</sup>, 我们称之为“编外粒子”<sup>[8]</sup>. 并详尽地研究了它们的对称性, 是三代费米粒子的超对称伴子(玻色型)<sup>[32]</sup>. 算得中性微子  $\bar{U}_B^0$  的质量为  $320 \text{ GeV}$ <sup>[33]</sup>. 中性微子普遍被认为是宇宙暗物质, 实验预计可能在  $350 \text{ GeV}$  的能区发现<sup>[34]</sup>. 看来超对称可能不是一场梦.

实际上, 粒子物理与宇宙演化是密切相关的, 在宇宙早期由于大群  $SU(N \geq 5)$  破缺为  $SU_C(3) \otimes SU_L(2) \otimes U_Y(1)$  群而形成多粒子宇宙. 由于 CP 破坏, 使宇宙中光子数密度与质子数密度之比  $n_\gamma/n_p = 10^{10}$ , 在文献<sup>[35]</sup>中算得  $n_\gamma/n_p = 10^9$ . 光子平衡态占优势, 宇宙膨胀. 由宇宙演化中核子、暗物质粒子两类自由流阻尼标度导出的天体、粒子质量—半径计算式中, Planck 粒子的标度, 既可用宇观要求计算, 也服从粒子的自然性法则<sup>[8]</sup>. 因此, 粒子

物理的进展必然要引起宇宙演化的变革, 对粒子物理标准模型的重新审视, 必然会导致热大爆炸标准模型审视, 这正是文献<sup>[36]</sup>提出应探索超越 Planck 尺度物理的原因.

## 参考文献:

- [1] CERN Courier. 重原子核的 EMC 效应[C]//中国科学院高能物理研究所参考资料. 1983(4):43-46.
- [2] CDF Collaboration, F. Abe. Inclusive jet cross section in  $p\bar{p}$  collisions at  $\sqrt{s} = 1.8 \text{ TeV}$ [J]. Phys Rev Lett, 1996, 438.
- [3] CERN Courier. HI and ZEUS Collaboration,  $e^+ - p$  Scattering and “Antlepton - Quark” resonance [C]//Reference Material on High Energy Physics, 1997(4): 8-10.
- [4] (美)康乃尔大学 CLEO 组. The FCNC Decay of  $b \rightarrow s + r$ [J]. Phys Rev, 1994(3):87-89.
- [5] 神冈 Collaboration. On an anomaly of cosmic - Ray[J]. Phys Letter, 1994(8):4.
- [6] 超神冈 Collaboration. The mass, mixed and Oscillation of Neutrino [C]//Reference Material on High Energy Physics, 1998(1):1-8.
- [7] 叶子飘, 戴长江, 丁林凯. 中微子振荡能解决太阳中微子问题吗? [J]. 大自然探索, 1999, 18(3):24-28.
- [8] 焦善庆, 蓝其开. 亚夸克理论[M]. 重庆:重庆出版社, 1996.
- [9] 焦善庆, 许弟余, 周勋秀, 等. 光子静质量和光子结构[J]. 云南大学学报:自然科学版, 2005, 27(6):461-463.
- [10] 焦善庆, 龚自正, 许弟余, 等. 中微子结构及其结构函数[J]. 吉首大学学报:自然科学版, 2005, 26(1):15-18.
- [11] 宫学惠, 焦善庆. 基本粒子结构的层次性[J]. 兰州大学学报, 1975, 19(1):11-14.
- [12] 焦善庆, 彭守礼, 赵树松. 亚夸克动量分布的可加性法则[J]. 西南交通大学学报, 1985, 20(1):21-25.
- [13] 焦善庆, 张金伟, 杨本立, 等. 亚夸克粒子的 B 分布、 $\Gamma$  分布和超对称性[J]. 云南大学学报:自然科学版, 2002, 24(1):34-37.
- [14] 焦善庆, 宫学惠.  $e - N$  深度非弹性散射标度函数和高能现象[J]. 兰州大学学报, 1978, 22(3):49-53.
- [15] 焦善庆, 宫学惠. 内含反应强子产生与基本粒子层次结构模型[J]. 兰州大学学报, 1979, 23(4):39-42.
- [16] 张一方, 焦善庆. 亚夸克模型与  $e^- e^+$  截面比 R[J]. 西南师范大学学报:自然科学版, 1986, 11(3):36-40.
- [17] 喻传赞, 焦善庆. 稳定的亚夸克数[J]. 云南大学学

- 报:自然科学版,1983,5(2):131-133.
- [18] JIAO Shan-qing. The symmetry of Quark-Lepton[J]. IL Nuovo Coimento Letts, 1986, 81:40-44.
- [19] 焦善庆,江光佐,王蜀娟,等. 中微子的质量、混合和振荡研究[J]. 商丘师专学报, 1999, 15(4):4-9.
- [20] 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.
- [21] 焦善庆,杨本立,江光佐,等. 光子、暗物质粒子、Planck 粒子与 Dirac 大数[J]. 云南大学学报:自然科学版, 2000, 22(4):263-265.
- [22] 焦善庆,杨本立,江光佐,等. 多成分宇宙中稳定粒子的质量和半径估算[J]. 云南大学学报:自然科学版, 2001, 23(2):119-121.
- [23] JIAO Shan-qing. Some difficulties in establishing standard model [C]//U·S. Popular Works by Centuries World Celebrities, 1998, 10(2):58-62.
- [24] 焦善庆. 轻子结构模型和夸克-轻子对称[J]. 西南师范学院学报:自然科学版, 1984, 9(4):30-40.
- [25] 许弟余,焦善庆. 轻子形变的有效相对线度改变计算[J]. 西南师范大学学报:自然科学版, 2002, 27(5):722-725.
- [26] 许弟余,焦善庆,龚自正. 现时粒子的超对称伴子质量和轻子结构[J]. 西南师范大学学报:自然科学版, 2006, 31(1):61-65.
- [27] 许弟余,焦善庆,龚自正. 夸克、轻子的广义旋量及形变振荡量子[J]. 西南大学学报:自然科学版, 2007, 29(9):42-46.
- [28] JIAO Shan-qing, YANG Ben-li, WANG Shu-juan. The deformation of quark-lepton and spinor space[J]. TAP-PC, 1997, 1(1):113-116.
- [29] 焦善庆,许弟余,王璐. 电磁作用常数及电子“反常荷”计算[J]. 云南大学学报:自然科学版, 2007, 29(2):152-155.
- [30] 焦善庆. 质-荷联合守恒律[J]. 湘潭大学学报:自然科学版, 2001, 18(2):23-27.
- [31] 焦善庆,唐敏. 焦-宫亚夸克模型中的粒子新族系[J]. 云南工学院学报, 1990, 11(2):46-49.
- [32] 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.
- [33] 焦善庆,许弟余,龚自正. 物质的对称性及超对称性与大质量标度[J]. 吉首大学学报:自然科学版, 2007, 28(1):59-62.
- [34] 焦善庆,许弟余,龚自正. 暗物质、暗能量对宇宙未来命运的影响[J]. 云南大学学报:自然科学版, 2006, 28(4):316-318.
- [35] 焦善庆,许弟余,龚自正,等. 编内与“编外”粒子的超对称性及某些奇异现象[J]. 西南交通大学学报, 2005, 40(5):616-620.
- [36] CERN Courier. 理论物理在积蓄力量[C]//中国科学院高能物理研究所参考资料, 1999(2):47-50.

## Reexamination of the standard model of particle physics

JIAO Shan-qing<sup>1</sup>, XU Di-yu<sup>2</sup>, GONG Zi-zheng<sup>3</sup>, ZHU Yong-jin<sup>2</sup>

(1. Department of Physics, Science College, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;

2. Department of Physics, Sichuan Vocational and Technical College, Suining 629000, China;

3 Department of Integration & Spacecraft Environmental, CAST, Beijing 100094, China)

**Abstract:** In view of the fact that experimental research results continually put some puzzles to the standard model of elementary particle model and reveal signs of sub-structure in a lepton and a quark, for example, EMC effect means the differences between a light nucleus and a heavy one, the distribution of the inclusive cross-section of  $p\bar{p}$  collision quite deviates from that calculated by QCD when the transverse energy  $E_T > 200$  GeV, the resonance case of the antilepton-quark is discovered, early or late the neutral current of flavor change of a quark and that of a lepton, and the anomalous quantity of a lepton are discovered, and so on, it is necessary and in time for us to reexamine all-sidedly and systematically the standard model of the elementary particle.

**Key words:** standard model of elementary particle; subquark; quark-lepton symmetry; flavor-changing neutral current; anomalous magnetic moment