

光子的夸克-胶子结构与结构函数分析*

The Quark-gluon Structure of a Photon and the Analysis of the Structure Function

许弟余¹, 刘力¹, 蒋从元¹, 焦善庆², 龚自正³

XU Di-yu¹, LIU Li¹, JIANG Cong-yuan¹, JIAO Shan-qing², GONG Zi-zheng³

(1. 四川职业技术学院物理系, 四川遂宁 629000; 2. 西南交通大学理学院物理系, 四川成都 610031; 3. 中国空间技术研究院总装与环境工程部, 北京 100094)

(1. Department of Physics, Sichuan Vocational and Technical College, Suining, Sichuan, 629000, China; 2. Department of Physics, Science College, Southwest Jiaotong University, Chengdu, Sichuan, 610031, China; 3. Department of Integration & Spacecraft Environmental, China Academy of Space Technology, Beijing, 100094, China)

摘要: 给出光子的夸克 $u_F^{+\frac{2}{3}}$ (或 $d_F^{-\frac{1}{3}}$) 和它的超对称性伴子 $y_{e,B}^{-\frac{2}{3}}$ (或 $y_{e,B}^{+\frac{1}{3}}$) 由胶子弦粘合在一起的夸克-胶子结构, 分析光子的结构函数. 所得光子结构与实验观测事实相符; 光子结构函数在动量分数 $x \doteq 2.5 \times 10^{-3}$ 时没有出现象质子结构函数那样的上升迹象, 其原因可能是 $u_F^{+\frac{2}{3}}$ 的超对称性伴子 $y_{e,B}^{-\frac{2}{3}}$ 质量标度很高所致.

关键词: 光子 结构函数 宇宙早期粒子 超对称性伴子 大质量标度

中图分类号: O572.32 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-9164(2009)03-0283-03

Abstract: The quark-gluon structure of a photon that quark $u_F^{+\frac{2}{3}}$ (or $d_F^{-\frac{1}{3}}$) and its supersymmetry companion $y_{e,B}^{-\frac{2}{3}}$ (or $y_{e,B}^{+\frac{1}{3}}$) glueing by gluon-strings is given, the structure function of a photon is analysed. The results from this structure coincide with the experiments. At the momentum function $x \doteq 2.5 \times 10^{-3}$, the rising sign of the structure function similar to that of protons can't be seen. The large mass scale of the supersymmetry companion may be the reason.

Key words: photon, structure function, early universe particles, supersymmetry companions, large mass scale

光子有质量的观点已有文献作过一些讨论^[1~3]. 光子若有质量, 则它必有结构. 有实验事实指出: 光子的夸克-胶子结构是由胶子弦把夸克和它的反夸克粘合在一起的系统, 光子不仅是电、磁相互作用的载体, 还具有强相互作用的特征^[4].

本文认为, 若现时夸克 $u_F^{+\frac{2}{3}}$ 与现时反夸克 $\bar{u}_F^{-\frac{2}{3}}$ 结合在一起则应转化为光子 γ_B^0 , 不能构成以胶子弦粘合在一起的夸克-反夸克、胶子结构. 光子有结构的问题应涉及到现时光子 γ_B^0 (玻色型) 的宇宙早期超对称性伴子 $\gamma_{S,F}^0([q_1, q_2], g)$, $\gamma_{S,F}^0([q_1, q_2], g)$ 可以转化

为夸克 $u_F^{+\frac{2}{3}}$ 及其超对称性伴子 $y_{e,B}^{-\frac{2}{3}}$ (或 $d_F^{-\frac{1}{3}}$ 及 $y_{e,B}^{+\frac{1}{3}}$), 再由胶子弦将它们粘合在一起, 从而构成夸克-胶子结构图像, 这样才能较好地解释实验事实^[4].

另外, 考虑到超对称性伴子具有大质量标度的性质, 本文对夸克的动量分数重新标定, 分析光子结构函数在动量分数 $x \doteq 2.5 \times 10^{-3}$ 时仍然看不到象质子结构函数那样出现上升迹象的原因^[5].

1 光子的夸克-胶子结构

在亚夸克模型中, 已知现时光子 γ_B^0 (玻色型) 的超对称性伴子为 $\gamma_{S,F}^0([q_1, q_2], g)$ (费米型), 它们的关系为

$$\gamma_B^0 \xleftrightarrow{\text{超对称性}} \gamma_{S,F}^0([q_1, q_2], g) \quad (1)$$

$Q = 0, I_3 = 0, Y = 0; \quad Q = 0, I_3 = 0, Y = 0.$

现时夸克 $u_F^{+\frac{2}{3}}$ 、 $d_F^{-\frac{1}{3}}$ 的超对称性伴子为 $y_{e,B}^{-\frac{2}{3}}$,

收稿日期: 2008-06-03

修回日期: 2008-12-02

作者简介: 许弟余(1947-), 男, 教授, 主要从事近代物理学的教学和研究工作。

* 国家自然科学基金项目(40474033)资助。

$y_{e,B}^{+\frac{1}{3}}$ (以第一代为例). $y_{e,B}$ 为宇宙早期的玻色型反夸克, 由于不能被三代粒子所包容, 被称为“编外”粒子^[6~8].

$$\begin{array}{ccc} \text{费米子(夸克)} & & \text{玻色子(反夸克)} \\ u_F^{+\frac{2}{3}}(q_1, b_c, g) & \xleftrightarrow{\text{超对称性伴子}} & y_{e,B}^{-\frac{2}{3}}(q_2, \bar{b}_c); \\ Q = +\frac{2}{3}, I_3 = +\frac{1}{2}, & & Q = -\frac{2}{3}, I_3 = -\frac{1}{2}, \\ Y = +\frac{1}{3}; & & Y = -\frac{1}{3}. \end{array} \quad (2)$$

$$\begin{array}{ccc} & & \text{超对称性伴子} \\ d_F^{-\frac{1}{3}}(q_2, b_c, g) & \xleftrightarrow{\text{超对称性伴子}} & y_{e,B}^{+\frac{1}{3}}(q_1, \bar{b}_c). \\ Q = -\frac{1}{3}, I_3 = -\frac{1}{2}, & & Q = +\frac{1}{3}, I_3 = +\frac{1}{2}, \\ Y = +\frac{1}{3}; & & Y = -\frac{1}{3}. \end{array} \quad (3)$$

若光子 γ_B^0 的超对称性伴子 $\gamma_{S,F}^0([q_1, q_2], g)$ 从亚夸克海中俘获两对胶子, 一对用于组成夸克及反夸克, 另一对作为胶子弦将两者粘合在一起, 即构成光子结构:

$$\gamma_{S,F}^0([q_1, q_2], g) + 2b_c\bar{b}_c \rightarrow \left[u_F^{+\frac{2}{3}}(q_1, b_c, g) + y_{e,B}^{-\frac{2}{3}}(q_2, \bar{b}_c) \right] + b_c\bar{b}_c. \quad (4)$$

(4) 式中 $y_{e,B}^{-\frac{2}{3}}$ (玻色型反夸克) 是 $u_F^{+\frac{2}{3}}$ 夸克的超对称性伴子, $y_{e,B}^{+\frac{1}{3}}$ 是 $d_F^{-\frac{1}{3}}$ 的超对称性伴子, 由胶子弦 $b_c\bar{b}_c$ 将 $u_F^{+\frac{2}{3}}, y_{e,B}^{-\frac{2}{3}}$ 或 $d_F^{-\frac{1}{3}}, y_{e,B}^{+\frac{1}{3}}$ 粘合在一起, 构成光子的夸克-胶子结构图像. 显然(4)式的光子结构实际上是一个等电荷且互为反号的谐振子结构, 且胶子弦是振动的, 所以它既是电磁作用的载体, 又具有强相互作用的性质. 这一结果是宇宙早期粒子的特殊属性, 是光子的超对称性伴子物理性质的反映.

由文献[9]的光子结构图像(图1)可知, 光子是现时夸克与它的超对称性伴子由胶子弦粘合而成的等电荷反号的谐振子系统, 胶子弦是振动的弦, 具有电磁作用性质, 夸克-胶子之间又具有强相互作用的

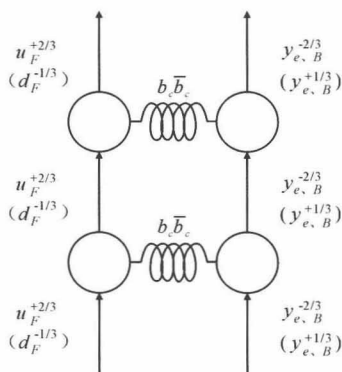


图1 光子结构^[9]

Fig. 1 The structure of a photon^[9]

特性. 这说明我们给出的光子结构与实验事实^[10~12]相符.

2 光子结构函数分析

现时质子由3个现时夸克组成, 即 $P_F^{+1}(u_F, u_F, d_F)$. 光子是 $(u_F^{+\frac{2}{3}}, y_{e,B}^{-\frac{2}{3}})$ 或 $(d_F^{-\frac{1}{3}}, y_{e,B}^{+\frac{1}{3}})$ 由胶子粘合而成, $y_{e,B}^{-\frac{2}{3}}$ 和 $y_{e,B}^{+\frac{1}{3}}$ 是宇宙早期粒子, 有很大的质量标度. 有学者预测^[13], 在 $4 \times 10^3 \text{ GeV}$ 限上可能观测到超对称性夸克和胶子, 而现时质子质量与该预测值之比为

$$\frac{m_p}{m_{y_{e,B}}} = \frac{1 \text{ GeV}}{4 \times 10^3 \text{ GeV}} = 0.25 \times 10^{-3}. \quad (5)$$

(5) 式只表示大质量标度对质子动量分数的标度系数修正, 它并不表示由胶子弦将现时夸克 $u_F^{+\frac{2}{3}}$ 与其超对称性伴子 $y_{e,B}^{-\frac{2}{3}}$ (或 $d_F^{-\frac{1}{3}}, y_{e,B}^{+\frac{1}{3}}$) 粘合在一起而形成的光子的夸克-超对称反夸克结构的动量分数. 若令光子的动量分数为 x' , 则在亚夸克模型中用类似分析质子结构函数的原理和方法, 具体给出构成光子的亚夸克结构函数, 则光子动量分数 x' 与相当于质子动量分数 x 两者的关系为

$$x' = 0.25 \times 10^{-3} x. \quad (6)$$

在亚夸克层次, 由 n 个价亚夸克组成的系统中, 动量分布函数表示为^[6]

$$f_{\text{光}}^v(x) = \frac{\Gamma(n\delta)}{\Gamma(\beta)\Gamma(n\delta - \beta)} x^{\beta-1} (1-x)^{n\delta-\beta-1}, \quad (7)$$

其中 $\Gamma(\dots)$ 为 Γ 函数, 高能下取 β 分布, $\delta = \frac{1}{2}, \beta = \frac{1}{2}$. 根据(4)式及图1, 光子共有7个亚夸克构成, $x = \frac{-Q^2}{2M\nu}$, Q^2 为虚光子的动量, ν 为能量转移, M 为核子能量, 则(7)式可表示为

$$f_{\text{光}}^v(x) = \frac{15}{8} x^{-\frac{1}{2}} (1-x)^2. \quad (8)$$

对(8)式进行 $\sum_i q_i^2 x$ 处理, $\sum_i q_i^2$ 是对光子中所有亚夸克的电荷平方求合, 得到光子的标度函数为

$$F_2(x) = 9.4 x^{+\frac{1}{2}} (1-x)^2, \quad (9)$$

取极值得 $x = 0.2$, 代入(6)式得

$$x' = 0.5 \times 10^{-4}. \quad (10)$$

如果标度破坏来源于夸克的形状因子, 夸克的形状因子用下式计算^[6],

$$[Q^2]^q = [Q^2]^{-\frac{1}{2}[n\delta-\beta]}. \quad (11)$$

对三体亚夸克结构 $u_F^{+\frac{2}{3}}$, 形状因子为

$$[Q^2]^{u_F^{+\frac{2}{3}}} = [Q^2]^{-\frac{1}{2}}; \quad (12)$$

对二体亚夸克结构 $y_{e,B}^{-\frac{2}{3}}$, 形状因子为

$$[Q^2]_{\nu_{e,\beta}}^{-\frac{2}{3}} = [Q^2]^{-\frac{1}{4}}. \quad (13)$$

在标度极限下平均等价形状因子可以表示为

$$\begin{aligned} \overline{(Q^2)} &= \frac{(Q^2)^{-\frac{1}{2}} + (Q^2)^{-\frac{1}{4}}}{2} = \\ &= \frac{(Q^2)^{-\frac{1}{2}}[1 + (Q^2)^{\frac{1}{4}}]}{2} = \\ &= \frac{(1 + \frac{Q^2}{\Lambda^2})^{-\frac{1}{2}}[1 + (1 + \frac{Q^2}{\Lambda^2})^{\frac{1}{4}}]}{2}. \end{aligned} \quad (14)$$

(14) 式中 Λ^2 为截断动量。

于是光子结构函数在重新标度下, 可以表示为

$$\begin{aligned} \nu W_2^\gamma(x, Q^2) &= \overline{(Q^2)}^2 F_2(x) = (1 - \frac{Q^2}{\Lambda^2})(1 + \\ &= \frac{1}{4} \frac{Q^2}{\Lambda^2}) \times 9.4x^{\frac{1}{2}}(1-x)^2 = (1 - \frac{3}{4} \frac{Q^2}{\Lambda^2}) \times \\ &= 9.4x^{\frac{1}{2}}(1-x)^2. \end{aligned} \quad (15)$$

(15) 式中精确到 $\frac{Q^2}{\Lambda^2}$ 项。

可见, 在光子结构中, $u_F^{\frac{2}{3}}$ 夸克的超对称性伴子 $y_{e,\beta}^{-\frac{2}{3}}$ (二体玻色型) 的形状因子不能略去, 从而出现了一个 $\frac{3}{4}$ 的因子。

再考虑结构函数的微分, 并应用 Perkins 公式^[9]

$$\frac{\partial[\ln \nu W_2^\gamma(x', Q^2)]}{\partial \ln Q^2} = g(x'), \quad (16)$$

函数 $g(x')$ 确定为 $g(x') = 0.5 \times 10^{-4} - x'$, 方程 (16) 与结构函数的

$$\nu W_2^\gamma(x', Q^2) = \nu W_2^\gamma(x', Q_0^2) (\frac{Q^2}{Q_0^2})^{g(x')} \quad (17)$$

形式等同。由 (15) 式和 (17) 式可得

$$\begin{aligned} \nu W_2^\gamma(x', Q^2) &= (1 - \frac{3}{4} \frac{Q_0^2}{\Lambda^2}) (\frac{3}{4} \frac{Q_0^2}{\Lambda^2})^{(0.5 \times 10^{-4} - x')} \times \\ &= 9.4x'^{\frac{1}{2}}(1-x')^2. \end{aligned} \quad (18)$$

(18) 式表明 $x' < 0.5 \times 10^{-4}$, $\nu W_2^\gamma(x', Q^2)$ 随 x' 增大而上升, 称正标度破坏; $x' = 0.5 \times 10^{-4}$ 出现极值; $x' > 0.5 \times 10^{-4}$, $\nu W_2^\gamma(x', Q^2)$ 随 x' 增大而下降, 称负标度破坏。

由此可见, 光子的结构函数也应象质子那样出现类似上升迹象, 但是可能 $u_F^{\frac{2}{3}}$ 的超对称性伴子 $y_{e,\beta}^{-\frac{2}{3}}$ 质标很高, 使新的动量分数 $x' = 0.5 \times 10^{-4}$, 致使实验方面无法测出。

3 结束语

综上所述, 光子是现时夸克与它的超对称性伴子由胶子弦粘合而成的等电荷反号的谐振子系统, 光子

具有夸克-胶子结构。通过对光子结构函数的分析, 说明光子的夸克-胶子结构与实验事实相符。本文的研究使人类对光子的认识更深入了一步。

参考文献:

- [1] 焦善庆, 江光佐. 光子质量问题讨论[C]//焦善庆. M M P H 研究进展. 成都: 西南交通大学出版社, 2000: 226-228.
- [2] 焦善庆, 杨本立, 江光佐. 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.
- [3] 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.
- [4] CERN Courier. The quark-gluon structure of a photon [C]//Information office of books. Reference Material on High Energy Physics. Beijing: Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, 1997: 1-8, 14-15, 23-24.
- [5] CERN Courier. The structure function of a photon[C]//Information office of books. Reference Material on High Energy Physics. Beijing: Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, 1996: 21-24.
- [6] 焦善庆, 唐敏. 在亚夸克模型中的新粒子族系[J]. 云南工学院学报, 1990, 8(2): 87-96.
- [7] 焦善庆, 兰其开. 亚夸克理论[M]. 重庆: 重庆出版社, 1996.
- [8] 焦善庆. 轻子形变和夸克-轻子对称[J]. 西南师范学院学报: 自然科学版, 1984, 9(4): 30-40.
- [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] 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.
- [11] 许弟余, 焦善庆, 龚自正, 等. 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.
- [12] 许弟余, 焦善庆, 龚自正, 等. CP 破坏、超对称性及结构讨论[J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2008, 30(11): 44-48.
- [13] 焦善庆, 许弟余, 龚自正. 物质的对称性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.

(责任编辑: 韦廷宗)