

共振区极化结构函数与 QCD 高扭曲效应*

董宇兵

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

摘要 考虑到共振区附近的极化核子结构函数既可以由重子共振态来解释,又可以利用非弹性物理的语言来说明这个二重性,低能区 QCD 扭曲效应对极化结构函数的影响可以得到预言.

关键词 扭曲效应 二重性 结构函数

1 引言

对共振区极化核子结构函数的研究越来越为人们所重视^[1-3]. 已经表明极化核子结构函数 $g_1(x, Q^2)$ 有两个求和规则,一个是实光子极限下的 DHG^[4]求和规则,另一个是深度非弹性散射区的 Ellos-Jaffe 求和规则^[5]. 大量的分析说明了 DHG 求和规则对解释极化核子结构函数 Q^2 相关的行为起着重要的作用^[6].

最近 E143^[7]组发表的共振区极化核子的结构函数为理论研究提供了最新的数据. 理论与实验的比较,不但可以使我们对重子共振态的性质有更深入的了解,也使得对 QCD 高扭曲的效应有了较好的预言.

我们知道 QCD 高扭曲效应的研究是非常重要的. 在共振区附近对极化结构函数的研究可以了解它的效应. 这是因为对结构函数的解释既可用重子性质,也可以用非弹性散射的语言来说明^[8]. 这个二重性也说明了 DHG 求和规则的重要. 本文的目的就是要利用这个二重性求得高扭曲效应在结构函数中的贡献.

2 具体计算

极化核子的结构函数可写为

$$g_1(x, Q^2) = \frac{MK}{8\pi^2\alpha \left(1 + \frac{Q^2}{\omega^2}\right)} \left[\sigma_{1/2}(\omega, Q^2) - \sigma_{3/2}(\omega, Q^2) + \frac{2\sqrt{Q^2}}{\omega} \sigma_{TS}(\omega, Q^2) \right], \quad (1)$$

1997-08-21收稿, 1997-12-29收修改稿

*国家自然科学基金资助

其中 ω 是入射光子能量, M 是核子质量. $\sigma_{1/2}$ 和 $\sigma_{3/2}$ 是自旋相关的光吸收截面, σ_{TS} 是横向和纵向干涉的吸收截面. 在实光子极限下 $Q^2 \rightarrow 0$, DHG 求合规则可写为

$$I_1(Q^2) = \int_0^1 g_1(x, Q^2) dx = -\frac{Q^2}{8M^2} K^2, \quad (2)$$

K 是核子的反常磁矩. 横向的光吸收截面可写为

$$\sigma_{1/2(3/2)} = \sum_R \frac{2M}{W + W_R} R(W, \Gamma) |A_{1/2(3/2)}(\omega, Q^2)|^2, \quad (3)$$

其中 \sum_R 表示对重子共振态求和, W 是质心能量, 下标 R 代表在壳上. 利用唯象的 Breit-

Wigner 形状因子 $R(W, \Gamma) = \frac{\Gamma}{(W - W_R)^2 + \frac{\Gamma^2}{4}}$ (Γ 是总的衰变宽度), 可分别计算出 $\sigma_{1/2}$

和 $\sigma_{3/2}$. 实际上在计算中需要做模型空间的截断, 这样 $I_1(Q^2)$ 应含有两部分的贡献, 即共振态和非共振态的贡献. 另外还要指出的是为了抽出高扭曲效应, 需要加入弹性散射对结构函数的影响^[8]. 这部分的作用可由核子的形状因子来描述:

$$I_{cl}(Q^2) = \frac{1}{2} F_1(Q^2) (F_1(Q^2) + F_2(Q^2)). \quad (4)$$

在具体计算中利用文献 [9] 的参数化形式来描述核子的形状因子.

考虑到二重性的另一方面, 已知 3 圈近似下扭曲为 2 的对 Ellis-Jaffe 求和规则的 QCD 计算结果为^[10]

$$I_1^{p,n}(Q^2) = \left[1 - \left(\frac{\alpha_s}{\pi}\right) - 3.5833 \left(\frac{\alpha_s^2}{\pi^2}\right) - 20.2153 \left(\frac{\alpha_s^3}{\pi^3}\right) \right] \left(\pm \frac{g_A}{12} + \frac{a_8}{36} \right) + \left[1 - 0.3333 \left(\frac{\alpha_s}{\pi}\right) - 0.54959 \left(\frac{\alpha_s}{\pi}\right)^2 - 4.44725 \left(\frac{\alpha_s}{\pi}\right)^3 \right] \frac{1}{9} \sum_{\infty}, \quad (5)$$

其中 \pm 号分别代表质子和中子, $\alpha_s(Q^2)$ 是跑动耦合常数. (5) 式中 $g_A = 1.2573 \pm 0.0028$; $a_8 = 0.579 \pm 0.025$; $\sum_{\infty} \simeq 0.15 \pm 0.12$. 利用 Isgur 和 Godfrey 对介子和重子的计算^[11], 可以假设 $\alpha_s(Q^2)$ 有饱和值 $\alpha_s^{\text{critical}} = \alpha_s(Q^2 \rightarrow 0)$. 这样可把 $\alpha_s(Q^2)$ 取为如下的参数化形式

$$\alpha_s(Q^2) = 0.24e^{-Q^2} + 0.11e^{-0.15Q^2} + 0.25e^{-0.00009Q^2}, \quad (Q \text{ 为 GeV}) \quad (6)$$

可以验证在 $Q^2 = 1, 2.5, 7, M_Z^2$ 时 (5) 式给出的 $\alpha_s(Q^2)$ 值分别为 0.433, 0.352, 0.288, 0.118. 这些值与 QCD 计算结果 $\alpha_s(1\text{GeV}^2) = 0.45 \pm 0.05$ ^[12], 从深度非弹中抽出的值^[13] $\alpha_s(2.5\text{GeV}^2) = 0.375_{-0.081}^{+0.062}$, $\alpha_s(M_Z^2) = 0.118_{-0.014}^{+0.007}$, 以及 NMC 所给出的 $\alpha_s(\text{TGeV}^2) = 0.264 \pm 0.018 \pm 0.070$ ^[14] 是一致的. 另外 (5) 式中 $\alpha_s^{\text{critical}}$ 与 Godfrey 和 Isgur 的结果相同. 以

上分析表明 (5) 式对 $\alpha_s(Q^2)$ 的唯象描述是合理的. 图 1 给出了 (6) 式 $\alpha_s(Q^2)$ 与 Godfrey 和 Isgur 的结果的比较.

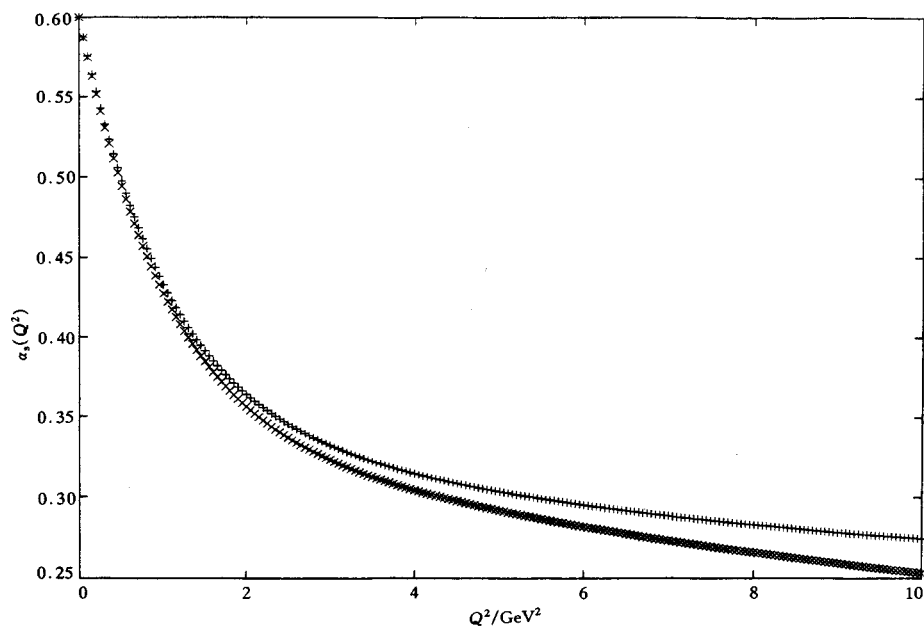


图 1 Godfrey 和 Isgur 以及本工作 (Eq. (6)) 对 $\alpha_s(Q^2)$ 的模拟
+ 和 \times 分别表示 Eq. (6) 的结果以及 Godfrey 和 Isgur 的预言.

3 结论

图 2 中给出了共振态对质子结构函数的计算结果, 同时也给出了弹性贡献等式 (4) 的计算结果. 图 3 中给出了扭曲 2 即 (5) 式的贡献以及利用二重性所得到的高扭曲的效应.

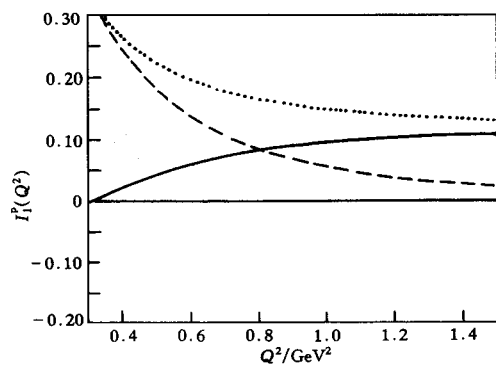


图 2 共振态和弹性散射对 F_1^p 的贡献
图中实线, 虚线以及点划线分别代表非弹性共振态, 弹性以及总的贡献. 实验数据引自文献 [7].

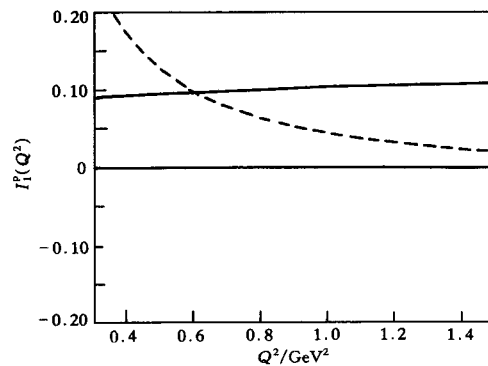


图 3 等式 (5) 对 F_2^p 的贡献以及高扭曲效应
实线和虚线分别代表 (5) 式以及高扭曲的效应.

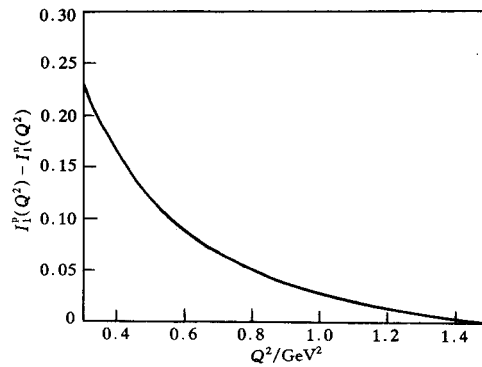


图4 高扭曲效应对 Bjorken 求和规则的贡献

图 4 则给出了高扭曲效应对 Bjorken 求和规则 $I_1^p - I_1^n$ 的影响.

由图 2 可见, 本文的计算结果与最新的 E143 数据是一致的. 另外, 在小 Q^2 区, 弹性贡献是重要的. 图 3 则表明高扭曲效应在小动量转移区 Q^2 是重要的. 随着 Q^2 的增大, 其效应变小. 同样, 高扭曲效应对 Bjorken 求和规则 $I_1^p - I_1^n$ 的贡献也是如此. 这可由图 3 看出. 以上的计算结果是与 diquark 模型^[15]、MIT 袋模型^[8]以及 QCD 求和规则^[16]的计算相一致的. 可以看出共振区极化结构函数对研究 QCD 高扭曲效应以及非微扰区内强耦合常数 $\alpha_s(Q^2)$ 都是非常重要的.

参 考 文 献

- [1] Asham J et al. Phys. Lett., 1998, **B204**:364; Nucl. Phys., 1989, **B328**:1
- [2] Adams D et al. Phys. Lett., 1994, **B329**:399
- [3] Anselmino M, Ioffe B L, Leader E. Sov. J. Nucl. Phys., 1989, **49**:136; Anselmino M, Efremov A, Leadre E. Phys. Rept., 1995, **261**:1; Burkert V, Ioffe B L. Phys. Lett., 1992, **B296**:223; Dreschel D et al. J. Phys., 1992, **G18**:449; Dreschel D. Prof. Nucl. Phys. 1995, **34**:1981; Soffer J, Teryaev O. Phys. Rev. Lett., 1995, **70**:3373.
- [4] Gerasimov S B. Sov. J. Nucl. Phys., 1966, **2**:430; Drell S D, Hearn A C. Phys. Rev. Lett., 1966, **16**:908.
- [5] Ellis J, Jaffe R L. Phys. Rev., 1974, **D9**:1444; 1974, **D10**:1669
- [6] Burkert V, Li Z J. Phys. Rev., 1993, **D47**:47; Burkert V, Ioffe B L. Phys. Lett., 1992, **B296**:223; Li Z P, Phys. Rev., 1993, **D48**:R3945; Li Z P, Dong Y B, Phys. Rev., 1996, **D54**:4301
- [7] Abe K et al. Phys. Rev. Lett., 1997, **78**:815
- [8] Ji X. Phys. Lett., 1993, **B309**:1987; Ji X, Unrau P. Phys. Lett., 1994 **B333**:228; Ji X, Melnitchouk W. Phys. Rev., 1997, **D56**:1
- [9] Mergell P, Meib U-G, Dreschel D. Nucl. Phys., 1996, **A596**:367
- [10] Larin A. Phys. Lett., 1994, **B334**:192
- [11] Godfrey S, Isgur N. Phys. Rev., 1985, **D32**:189
- [12] Schmelling M. Plenary talk given at the X X V III Internation Conference on High Energy Physics, Warsaw, 1996, July 25—31
- [13] Ellis J, Karliner M. Phys. Lett., 1995, **B341**:397
- [14] Arneodo M, Phys. Lett., 1993, **B309**:222
- [15] Anselmino M, Caruso F, Levien E. Phys. Lett., 1995, **B358**:109

- [16] Mankiewicz L, Stein F, Schafer A. "Q²-dependence of the Bjorken sum rule", Talk given at the Workshop on the Prospects of Spin Physics, Zeuthen, Germany, 1995, Aug. 28—31

Polarized Structure Functions in the Resonance Region and Higher-Twist Effects *

Dong Yubing

(*Institute of High Energy Physics, The Chinese Academy of Sciences Beijing 100039*)

Abstract Based on the duality that both the inelastic and resonance physics language work for the explanation of nucleon polarized structure functions at moderate Q^2 , the higher-twist effect on the nucleon g_1 is predicted.

Key words twist, duality, structure function