

# 核环境中部分子演化与重组 效应下的核内胶子分布

朱 亚 波

(中国矿业大学物理教研室 徐州 221008)

杨 建 军

(南京师范大学物理系 南京 210024)

**摘要** 在既考虑到泄漏在束缚核子外的海夸克与胶子间的重组,又考虑到仍束缚在核子内的部分子由于其禁闭空间的变化而发生的演化的基础上,给出了核内胶子分布函数的普遍形式,并具体计算了锡核与碳核的胶子分布比,结果与 NMC 实验合作组的最新实验相一致.

**关键词** 核效应 胶子分布 部分子演化 重组效应

## 1 引言

众所周知,束缚核子的结构函数与自由核子的结构函数明显不同,即 EMC 效应<sup>[1]</sup>. 为解释这一现象,人们已提出了各种理论模型,其中,“部分子演化模型”<sup>[2]</sup>在解释 EMC 效应上取得了一定的成功. 已有的研究表明<sup>[2,3]</sup>,该模型不仅很好地解释了 EMC 效应,而且在核 Drell-Yan 过程中,也得到了较好的检验. 随着在部分子横向动量分布以及小  $x$  区域核遮蔽问题上的进一步探讨,部分子演化模型得以改进<sup>[4]</sup>.

EMC 效应已证实,核内核子的夸克分布与自由核子的夸克分布明显不同. 而核内核子的胶子分布与自由核子的胶子分布相比有何不同呢? 虽然,在这方面早有一些理论预言<sup>[5-8]</sup>,但实验上的可靠数据却很少. 最近, NMC 实验合作组<sup>[9]</sup>利用色单态模型分析了  $\mu$  子在锡核和碳核上的非弹性  $J/\psi$  光生过程的实验数据,获得了实验上的锡核对碳核的胶子分布比,这一工作的意义在于揭示了核内核子中胶子分布的核效应. 实验结果表明“胶子的 EMC 效应”是存在的. 本文指出:进入核环境的部分海夸克和胶子将发生重组,而仍被禁闭在核子内的部分子由于禁闭空间的变化而发生演化. 在此基础上,我们给出束缚核子中胶子分布函数的普遍形式,并具体计算了锡核对碳核的胶子分布比,与 NMC 实验合作组提供的最新实验数据比较,结果令人满意.

## 2 由核环境中部分子演化与重组效应所导致的核内胶子分布的修正

为了探寻核内核子中部分子的分布与自由核子中部分子分布间的差异,设想核子从自由状态过渡到束缚状态,核环境的影响,尤其核禁闭空间的变化,引起核内核子的部分子横向动量分布的变化,这势必又影响其纵向动量分布,导致部分子按纵向动量重新分布,这便是核子内部分子的演化的物理图象.与此同时,进入核环境的另一些部分子(指小  $x$  区域的部分海夸克及胶子)有可能渗透出核子与来自邻近核子中的部分子发生空间重叠,并相互作用而重新组合,这导致小  $x$  区域部分子的分布移向中  $x$  区,小  $x$  区域分布压低,出现“核遮蔽现象”.

下面仅就在演化和重组效应后,束缚核子内胶子的分布进行具体讨论.通过对轻子在束缚核子上的深度非弹性过程的分析,若假设  $q^{A(0)}(x, Q^2)$ ,  $G^{A(0)}(x, Q^2)$  代表束缚核子内夸克和胶子的分布,则束缚核子内夸克和胶子的横向动量分布<sup>[4]</sup>为:

$$\langle K_{\perp}^{*2}(x, Q^2) \rangle^{q^{A(0)}} = \frac{x^3 m_N^{*2}}{xq^{A(0)}(x, Q^2)} \int_x^1 dx' \frac{x' q^{A(0)}(x', Q^2)}{x^2}, \quad (1)$$

$$\langle K_{\perp}^{*2}(x, Q^2) \rangle^{G^{A(0)}} = \frac{x^3 m_N^{*2}}{xG^{A(0)}(x, Q^2)} \int_x^1 dx' \frac{x' G^{A(0)}(x', Q^2)}{x^2}. \quad (2)$$

类似地,将自由核子内夸克及胶子的横向动量分布表示为:

$$\langle K_{\perp}^2(x, Q^2) \rangle^{q^{N(0)}} = \frac{x^3 m_N^2}{xq^{N(0)}(x, Q^2)} \int_x^1 dx' \frac{x' q^{N(0)}(x', Q^2)}{x^2}, \quad (3)$$

$$\langle K_{\perp}^2(x, Q^2) \rangle^{G^{N(0)}} = \frac{x^3 m_N^2}{xG^{N(0)}(x, Q^2)} \int_x^1 dx' \frac{x' G^{N(0)}(x', Q^2)}{x^2}. \quad (4)$$

$m_N^*$ ,  $m_N$  分别代表束缚核子与自由核子的质量.由上面(1)–(4)式可看出,仅  $m_N^* < m_N$  这一因素就已引起束缚子和自由核子中横向动量分布的差异,进一步带来纵向动量分布的变化.可以求出核子内携带纵向动量份数为  $y$  的部分子演化为携带纵向动量份数为  $x$  的部分子的演化几率<sup>[2]</sup>(这里我们仅给出与胶子分布有关的演化几率)为:

$$F_{q_f^{N(0)} \rightarrow G^{A(0)}}(x, y) = \frac{\alpha_s}{2\pi} C_2(R) \frac{1 + (1-z)^2}{z} \ln \frac{\langle K_{\perp}^2(x, Q^2) \rangle^{q_f^{N(0)}}}{\langle K_{\perp}^{*2}(x, Q^2) \rangle^{G^{A(0)}}}, \quad (5)$$

$$F_{G^{N(0)} \rightarrow G^{A(0)}}(x, y) = \frac{\alpha_s}{\pi} C_2(G) \left[ \frac{z}{1+z} + \frac{1-z}{z} + z(1-z) + \frac{1}{12} \left( 11 - \frac{2N_f}{3} \right) \delta(1-z) \right] \ln \frac{\langle K_{\perp}^2(x, Q^2) \rangle^{G^{N(0)}}}{\langle K_{\perp}^{*2}(x, Q^2) \rangle^{G^{A(0)}}}. \quad (6)$$

式中,  $\alpha_s$  是精细结构常数,  $C_2(R) = 4/3$ ,  $C_2(G) = 3$ ,  $z = x/y$ , 下标  $f$  表示夸克的味.由(5)式和(6)式,可求得发生演化后束缚核子内的胶子分布函数为:

$$G^{A(0)}(x, Q^2) = G^{N(0)}(x, Q^2) + \int_x^1 F_{G^{N(0)} \rightarrow G^{A(0)}} G^{N(0)}(y, Q^2) \frac{dy}{y} + \sum_f \int_x^1 F_{q_f^{N(0)} \rightarrow G^{A(0)}} q_f^{N(0)}(y, Q^2) \frac{dy}{y}. \quad (7)$$

对于进入核环境后,渗透出束缚核子的胶子,由于其与来自邻近核子的胶子发生空间重叠,而相互作用导致重新组合,类似于文献 [10],重组后,重叠区域的胶子分布为:

$$G^{A(e)}(x, Q^2) = G^{N(e)}(x, Q^2) + \Delta G(x), \quad (8)$$

$$\Delta G(x) = \Delta G^{(1)}(x) + \Delta G^{(2)}(x) + \Delta G^{(3)}(x), \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \Delta G^{(1)}(x) = & \frac{3}{4} k \int_0^x dx_1 x_1 G^{N(e)}(x_1)(x-x_1)G^{N(e)}(x-x_1) \cdot \frac{1}{x^2} \left[ \frac{x_1}{x-x_1} + \frac{x-x_1}{x_1} + \frac{x_1(x-x_1)}{x^2} \right] - \\ & \frac{3}{4} k \int_0^1 dx_2 x G^{N(e)}(x) x_2 G^{N(e)}(x_2) \cdot \frac{1}{(x+x_2)^2} \left[ \frac{x}{x_2} + \frac{x_2}{x} + \frac{xx_2}{(x+x_2)^2} \right] - \\ & \frac{3}{4} k \int_0^1 dx_2 x G^{N(e)}(x) x_2 G^{N(e)}(x_2) \cdot \frac{1}{(x+x_2)^2} \left[ \frac{x}{x_2} + \frac{x_2}{x} + \frac{xx_2}{(x+x_2)^2} \right], \quad (10) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta G^{(2)}(x) = & \frac{4}{9} k \int_0^x \sum_f [x_1 q_f^{N(e)}(x_1) \cdot (x-x_1) \cdot \bar{q}_f^{N(e)}(x-x_1) + \\ & x_1 \bar{q}_f^{N(e)}(x_1) \cdot (x-x_1) \cdot q_f^{N(e)}(x-x_1)] \frac{x_1^2 + (x-x_1)^2}{x^4}, \quad (11) \end{aligned}$$

$$\Delta G^{(3)}(x) = -\frac{k}{3} \int_0^1 dx_2 G^{N(e)}(x) \sum_f [x_2 q_f^{N(e)}(x_2) + x_2 \bar{q}_f^{N(e)}(x_2)] \cdot \frac{1}{x+x_2} \left[ 1 + \left( \frac{x_2}{x+x_2} \right)^2 \right], \quad (12)$$

式中  $k = \frac{9\alpha_s A^{1/3}}{2R_0^2 Q^2}$ ,  $R_0 = 11/5$ ,  $A$  是原子质量数. 在考虑了演化和重组两个效应之后,核环境里核内胶子的总的分布为:

$$G^A(x, Q^2) = G^{A(i)}(x, Q^2) + G^{A(e)}(x, Q^2). \quad (13)$$

要说明的是,若用  $q_f^N(x, Q^2)$  和  $G^N(x, Q^2)$  分别表示自由核子内海夸克和胶子的分布函数,通过动量截断函数<sup>[10]</sup>:

$$W(x) = \exp(-m_N^2 z_0^2 x^2 / 2). \quad (14)$$

定义:

$$G^{N(e)}(x, Q^2) = G^N(x, Q^2)W(x), \quad (15)$$

$$G^{N(i)}(x, Q^2) = G^N(x, Q^2)[1 - W(x)], \quad (16)$$

$$q_f^{N(e)}(x, Q^2) = q_f^N(x, Q^2)W(x), \quad (17)$$

$$q_f^{N(i)}(x, Q^2) = q_f^N(x, Q^2)[1 - W(x)], \quad (18)$$

$G^{N(e)}(q_f^{N(e)})$  表示泄漏至束缚核子外的胶子(夸克)初始分布,  $G^{N(i)}(q_f^{N(i)})$  表示禁闭在束缚核子内的胶子(夸克)初始分布.

### 3 J/ψ 光生过程及结果讨论

在  $\mu$  子轰击靶核并与之相互作用产生 J/ψ 粒子的反应中,应考虑到同时存在三种过程,即相干产生,准弹性散射和非弹性散射,因而 J/ψ 产生过程的总截面应是上述三种过程的截面之和. NMC 实验合作组对非弹性散射过程进行实验研究<sup>[9]</sup>,根据色单态模型他

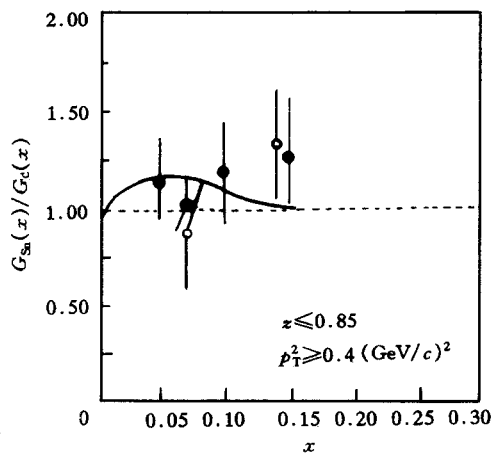


图 1

○ 200GeV; ● 280GeV.

结果,与实验数据符合较好.

#### 4 结论

当核子进入核环境,核子内的夸克及胶子有可能发生演化或重组效应,导致其动量重新分布,这可能是束缚核子中夸克与胶子的分布与自由核子的不同的物理本质所在.通过考虑上述两种效应,我们对 NMC 关于核内胶子分布的实验数据作了满意的解释.

感谢中科院高能物理研究所厉光烈教授对本工作的支持和有益讨论.

#### 参 考 文 献

- [1] Auber J J et al. Phys. Lett., 1983, **B123**:275
- [2] Yang J J et al. Commun Theor. Phys., 1992, **17**:61
- [3] Shen Hongqing et al. Journal of Nanjing Normal University (in Chinese), 1991, **14**(4):41  
(沈洪清等. 南京师大学报, 1991, **14**(4):41)
- [4] Mu linghui et al. Journal of Nanjing Normal University (in Chinese), 1995, **18**(4):29;  
(睦琳晖等. 南京师大学报, 1995, **18**(4):29)  
Yang J J, Li G L. The Nuclear Effect Induced by Additional Parton Evolution and Recombination in Nuclear Medium, Z. Phys. C, to be published
- [5] Mueller A H, Qiu J. Nucl. Phys., 1986, **B268**:427; Qiu J. Nucl. Phys., 1987, **B291**:746
- [6] Close F E, Qiu J, Roberts R G. Phys. Rev., 1989, **D40**:2820
- [7] Frankfurt L L, Strikman M I. Phys. Rev. Lett., 1990, **65**:1725
- [8] Kwiecinski J. Z. Phys., 1990, **C45**:461; Collins J. Kwiecinski J, Nucl. Phys., 1990, **B335**:89
- [9] Collab N M., Amaudruz P. et al. Nucl. Phys., 1992, **B371**:553
- [10] Kumano S. Phys. Rev., 1993, **C48**:2016
- [11] Kwiecinski J, Martin A D, Stirling W J. et al. Phys. Rev., 1990, **D42**:3645

们认为,靶核内胶子的动量分布与光生过程产生  $J/\psi$  粒子的散射截面成正比,他们分别用能量为 200GeV 和 280GeV 的  $\mu$  子束轰击锡核和碳核,获得锡核对碳核的胶子分布比,见图 1 实验点所示,实验表明此比值的平均值为  $1.13 \pm 0.08$ . 利用公式 (13) 分别计算了锡核和碳核的胶子分布以及它们的分布比:

$$R_{in}(\text{Sn} / \text{C}) = \frac{G_{\text{Sn}}(x, Q^2)}{G_{\text{C}}(x, Q^2)}. \quad (19)$$

计算中,  $Q^2$  取为 4GeV, (14) 式中的截断常数  $z_0$  取为 4fm, 自由核子的部分子分布取自文献 [11]. 图 1 上的曲线即为我们的理论

## Nuclear Gluon Distribution Due to Parton Evolution and Recombination in Nuclear Environment

Zhu Yabo

*(Department of Physics, China Mining University, Xuzhou 221008)*

Yang Jianjun

*(Department of Physics, Nanjing Normal University, Nanjing 210024)*

**Abstract** In this paper, in consideration of the recombination among sea quarks and gluons leaking out of the bound nucleon, and the evolution of partons confined in the nucleon due to the change of confinement size, we give a general description of nuclear gluon distribution and calculate the gluon ratio of nuclei Sn to C, which is in agreement with NMC experimental data.

**Key words** nuclear effect, gluon distribution, parton evolution, recombination effect