

文章编号: 1007-4627(2007)04-0258-03

# 夸克的真空凝聚值和张量感应率及参数化的夸克传播子\*

潘继环<sup>1</sup>, 蒙成举<sup>1</sup>, 周丽娟<sup>2</sup>, 马维兴<sup>3, #</sup>

(1 河池学院物理与电子工程系, 广西 宜州 546300;

2 广西工学院强子物理与非微扰 QCD 研究组, 广西 柳州 545006;

3 中国科学院高能物理研究所, 北京 100049)

**摘要:** 利用以前提出的参数化的夸克传播子, 计算了夸克的真空凝聚值和 QCD 真空的张量感应率。结果表明, 张量感应率对不同味道的夸克的依赖是很明显的, 而几乎不依赖于夸克的真空凝聚值的变化。但夸克凝聚值却明显地与积分的截断值有关, 即依赖于微扰区与非微扰区的分界线, 在常用的积分截断值 1—2 GeV<sup>2</sup> 之间计算得到的夸克凝聚值与文献中常用的值及其他理论的预言值是一致的。理论预言的张量感应率也与其他理论结果相一致。

**关键词:** 参数化的夸克传播子; 夸克凝聚值; 张量感应率

中图分类号: O572.33

文献标识码: A

## 1 引言

夸克凝聚值和张量感应率是反映 QCD 真空非微扰性质的两个重要的物理量。例如, 夸克凝聚值反映了 QCD 基态手征对称性的破缺, 形成了 Goldstone 玻色子和夸克的动力学质量。也是 QCD 求和规则的重要输入参数, 表达了 QCD 理论的非微扰特征。张量感应率反映了外场对 QCD 真空的极化, 或 QCD 真空态对外场存在的感应率。这两个物理量都是描述 QCD 的非微扰特征的。所以计算这两个物理量是 QCD 研究的重要课题。

在文献[1]中, 我们提出了一个参数化的夸克传播子  $S_f(p)$ , 它描述了禁闭夸克的传播, 具有解析的代数形式, 在有限的  $p^2$  的复平面上没有夸克产生的奇异点。相当精确地近似了夸克传播子的 Dyson-Schwinger 方程的解。本文将用这个参数化的夸克传播子来计算夸克的凝聚值和 QCD 真空的张量感应率。本文的第 2 节给出了夸克凝聚值与夸克传播子的关系, QCD 真空极化和张量感应率的定义。第 3 节介绍了我们数值计算的结果。第 4 节介绍了本研究的初步结论。

## 2 夸克的真空凝聚和 QCD 真空的张量感应率

### 2.1 夸克的参数化的传播子 $S_f(p^2)$

Dyson-Schwinger 方程<sup>[2]</sup>很好地描述了 QCD 的非微扰特征和夸克的传播子。但是, 求解 Dyson-Schwinger 方程是一件非常复杂和困难的事情, 不但要知道完全穿衣服的胶子传播子, 而且也要求解 Bethe-Salpeter 方程, 得到夸克-反夸克-胶子的耦合顶点相互作用。在文献[1, 3]中, 我们提出了一个能很好地近似 Dyson-Schwinger 方程解的一个参数化的夸克传播子, 即

$$S_f(p^2) = \frac{1}{i\gamma p A_f^2(p^2) + B_f^2(p^2)} = i\gamma p \sigma_v^f + \sigma_s^f, \quad (1)$$

其中

$$A_f(p^2) = \frac{\sigma_v^f}{(\sigma_s^f)^2 [p^2 (\sigma_v^f / \sigma_s^f)^2 + 1]}, \quad (2)$$

$$B_f(p^2) = \frac{1}{\sigma_s^f [p^2 (\sigma_v^f / \sigma_s^f)^2 + 1]}. \quad (3)$$

\* 收稿日期: 2007 - 01 - 08; 修改日期: 2007 - 03 - 12

\* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(10565001, 10647002); 广西科技厅自然科学基金资助项目(0481030, 0542042, 0575020)

作者简介: 潘继环(1972-), 男(壮族), 广西河池人, 讲师, 从事强子物理及其非微扰 QCD 的研究;

E-mail: panjihuan@126.com

# 通讯联系人: 马维兴, E-mail: weixing\_ma2002@sina.com

这里定义

$$\sigma'_s = \frac{\bar{\sigma}'_s}{\Lambda}, \quad \sigma'_v = \frac{\bar{\sigma}'_v}{\Lambda^2}, \quad (4)$$

而

$$\sigma'_s(x_1) = \frac{[1 - \exp(-b'_1 x_1)] [1 - \exp(-b'_3 x_1)]}{b'_1 b'_3 x_1} \cdot \left[ b'_0 + b'_2 \frac{1 - \exp(-\Lambda' x_1)}{\Lambda' x_1} \right] + \frac{\bar{m}_f}{m_f} \frac{1 - \exp[-2(x_1 + \bar{m}_f)]}{x_1 + \bar{m}_f^2}, \quad (5)$$

$$\sigma'_v(x_1) = \frac{2(x_1 + \bar{m}_f^2) - 1 + \exp[-2(x_1 + \bar{m}_f^2)]}{2(x_1 + \bar{m}_f^2)^2}, \quad (6)$$

其中,  $\bar{m}_f = m_f/\Lambda$ ,  $x_1 = p^2/\Lambda$ ,  $\Lambda' = 10^{-4}$  和  $\Lambda = 0.566$  GeV, 参数  $b'_i (i=0, 1, 2, 3; f=u, d, s)$  和  $m_f$  见表 1 所示。

表 1 参数  $b'_i$  的值

味道( $f$ )	$b'_0$	$b'_1$	$b'_2$	$b'_3$	$m_f/\text{MeV}$
u	0.131	2.90	0.603	0.185	5.1
d	0.131	2.90	0.603	0.185	5.1
s	0.105	2.90	0.740	0.185	127.5

### 2.2 QCD 真空凝聚

精确地计算 QCD 真空凝聚值对确定夸克的质量是十分重要的。夸克的质量是 QCD 的基本输入参数, 它对于研究许多物理问题是至关重要的。非零的夸克凝聚值反映了手征对称性的自发破缺。非定域的夸克真空凝聚描述了夸克在 QCD 真空中的分布。夸克场  $q(x)$  的单态结合的真空矩阵元  $\langle 0 | : \bar{q}(0)q(0) : | 0 \rangle_f$  叫做夸克真空凝聚。

### 2.3 夸克凝聚值和夸克传播子的关系

算符乘积展开的研究表明, 夸克凝聚与夸克传播子的自能函数  $A_f(p^2)$  和  $B_f(p^2)$  的关系<sup>[4]</sup> 是

$$\langle 0 | : \bar{q}(0)q(0) : | 0 \rangle_f = -\frac{3}{4\pi^2} \int_0^\infty s ds \frac{B_f(s)}{sA_f^2(s) + B_f^2(s)}, \quad (7)$$

这里  $s = p^2$ 。

### 2.4 张量感应率的定义

整体色对称模型告诉我们, 真空极化  $\Pi_\chi(0)$  可

以写成<sup>[5]</sup>

$$\frac{1}{12} \Pi_\chi(0) \equiv -\frac{3}{4\pi^2} \int_0^\infty s ds \left[ \frac{B(s)}{sA^2(s) + B^2(s)} \right]^2. \quad (8)$$

利用夸克凝聚值和 QCD 真空极化量, 我们定义 QCD 真空的张量感应率为

$$\chi = \frac{\Pi_\chi(0)}{6 \langle 0 | : \bar{q}(0)q(0) : | 0 \rangle}. \quad (9)$$

因此, 应用方程式(2)和(3), 并通过方程(7)我们计算了夸克的真空凝聚值, 通过方程(8)可计算真空极化, 最后通过方程(9)可计算 QCD 张量感应率  $\chi$ 。

## 3 理论计算的结果

利用(2)式和(3)式的自能函数  $A_f(p^2)$  和  $B_f(p^2)$  和方程(7)给出的夸克的凝聚值  $\langle 0 | : \bar{q}(0)q(0) : | 0 \rangle_f$  以及方程(8)给出的真空极化值  $\Pi_\chi(0)$ , 我们得到了(9)式所定义的张量感应率  $\chi$ 。表 2 和表 3 是我们的理论预言的数值结果。

表 2 u, d 夸克的真空凝聚值和张量感应率及其与积分截断值的关系

$-\langle \bar{q}q \rangle^{1/3}$ /MeV	$-\Pi_\chi(0)/12$ ( $\times 10^3$ )/MeV <sup>2</sup>	$\chi = \frac{\Pi_\chi(0)}{6 \langle \bar{q}q \rangle}$ ( $\times 10^{-3}$ )/MeV <sup>-1</sup>	截断值 /GeV <sup>2</sup>
212.6	3.0	0.63	1.0
229.0	3.3	0.55	1.2
236.4	3.5	0.53	1.3
250.4	3.8	0.48	1.5
263.1	4.0	0.44	1.7
275.0	4.3	0.41	1.9
280.2	4.4	0.40	2.0

表 3 s 夸克的真空凝聚值和张量感应率及其与积分截断值的关系

$-\langle \bar{q}q \rangle^{1/3}$ /MeV	$-\Pi_\chi(0)/12$ ( $\times 10^3$ )/MeV <sup>2</sup>	$\chi = \frac{\Pi_\chi(0)}{6 \langle \bar{q}q \rangle}$ ( $\times 10^{-3}$ )/MeV <sup>-1</sup>	截断值 /GeV <sup>2</sup>
267.3	12.4	1.30	1.0
286.9	13.6	1.15	1.2
295.9	14.1	1.08	1.3
312.5	15.1	0.99	1.5
327.5	16.0	0.91	1.7
341.2	16.8	0.85	1.9
347.9	17.2	0.81	2.0

这里, 计算结果对不同味道夸克的依赖, 是通过参数化的夸克传播子的不同参数来体现的。

## 4 讨论和结论

我们利用参数化的夸克传播子  $S_f(p^2)$  计算了夸克的真空凝聚值和 QCD 真空极化, 进而预言了 QCD 真空的张量感应率。表 2 和表 3 的结果表明:

(1) 参数化的夸克传播子  $S_f(p^2)$  成功地预言了夸克的真空凝聚值, 但这些值依赖方程(7)中积分的截断值, 即依赖于微扰区域和非微扰区域的划分界限。原因是 QCD 的真空凝聚值是夸克场的单态结合对非微扰区域的平均值。所以正确地确定截断值是非常重要的。

(2) QCD 真空极化  $\Pi_\chi(0)$  明显与夸克的味道有关, 对 u, d 夸克与 s 夸克我们预言的极化值差 4 倍左右。但是对于夸克的真空凝聚值而言, 则没有数量级的差别。

(3) 无论对 u, d 夸克或对 s 夸克, 取不同的积分截断值( $1 - 2 \text{ GeV}^2$ ), QCD 真空的张量感应率  $\chi$  的变化是不太明显的。这反映了 QCD 真空对外场的感应大致是相同的。

## 参考文献 (References):

- [1] Zhou Lijuan, Ma Weixing. *Commun Theor Phys*, 2006, **45**(4): 675.
- [2] Dyson F J. *Phys Rev*, 1949, **75**: 1 736; Schwinger L S. *Proc Nat Acad Sci*, 1951, **37**: 452.
- [3] Pan Jihuan, Meng Chengju, Zhou Lijuan, *et al.* *Nuclear Physics Review*, 2007, **24**(3): 175 (in Chinese). (潘继环, 蒙成举, 周丽娟等. *原子核物理评论*, 2007, **24**(3): 175.)
- [4] Zhou Lijuan, Ma Weixing. *Chinese Physics Letters*, 2004, **21**: 1 471.
- [5] Cahill R T, Roberts C D. *Phys Rev*, 1985, **D32**: 2 419.

# Quark Vacuum Condensates, Tensor Susceptibility and Parameterized Quark Propagator\*

PAN Ji-huan<sup>1</sup>, MENG Cheng-ju<sup>1</sup>, ZHOU Li-juan<sup>2</sup>, MA Wei-xing<sup>3, #</sup>

(1 *Department of Physics and Electronic Engineering, Hechi College, Yizhou 546300, Guangxi, China;*

2 *Collaboration Group of Hadron Physics and Non-perturbative QCD Study;*

*Guangxi University of Technology, Liuzhou 545006, Guangxi, China;*

3 *Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)*

**Abstract:** Using the parameterized quark propagator proposed by us in our previous publication, the quark vacuum condensates and tensor susceptibility of QCD vacuum have been calculated. The results show that the tensor susceptibility strongly depends on the flavors of quark, but not on the variation of quark vacuum condensate. The quark vacuum condensate, however, is very sensitive to the change of cut off value of integration up-limit, that is, it depends on the point of perturbative and non-perturbative QCD separation. Within the cut off region of 1 to 2  $\text{GeV}^2$  used commonly, our calculated values of quark vacuum condensates are consistent with the empirical values and the predictions of other theoretical models. The prediction of the tensor susceptibility of this work is also consistent with other's results.

**Key words:** parameterized quark propagator; quark condensate; tensor susceptibility

\* **Received date:** 8 Jan. 2007; **Revised date:** 12 Mar. 2007

\* **Foundation item:** National Natural Science Foundation of China (10565001, 10647002); Natural Science Foundation of Guangxi Province (0481030, 0542042, 0575020)

# **Corresponding author:** Ma Wei-xing, E-mail: weixing\_ma2002@sina.com