

文章编号: 1007-4627(2004)02-0081-02

直接从 QCD 拉氏量研究禁闭的尝试*

朱重远

(中国科学院理论物理研究所, 北京 100080)

摘要: 对 $SU(N)$ 情形, 应用法捷耶夫和尼米的非阿贝尔规范势的拓扑分解, 在路径积分中, 将除拓扑自由度以外的其它自由度积掉, 求出单圈和低能近似下的有效作用量. 结果支持由对偶迈斯纳效应造成色禁闭的图像. 也讨论了费米子场的效应.

关键词: 色禁闭; 量子色动力学; 拓扑分解

中图分类号: O441 **文献标识码:** A

量子色动力学(QCD)的色禁闭问题是当前理论物理最重大的基本问题之一. 虽然 QCD 提出已有近 30 年了, 但对这一基本问题至今还没有令人满意的回答.

早在提出 QCD 的早期, Nambu, Polyakov, t Hooft^[1] 等就提出过用对偶迈斯纳效应解释色禁闭的图像. 在现代超导理论中, 磁通量禁闭的迈斯纳效应可以用金斯堡-朗道方程唯象描述, 这是一个有质量的电磁势方程. BCS 理论从微观基本理论出发, 证明了库柏电子对凝聚的存在, 这一凝聚产生的质量隙就是金斯堡-朗道方程中的质量尺度的来源. 按照上述逻辑步骤, 如果确实 QCD 的禁闭是由对偶迈斯纳效应造成, 就应当从 QCD 的基本理论出发, 去证明存在着磁单极子的凝聚, 产生质量隙造成磁单极子势的有效质量, 产生对偶迈斯纳效应, 从而产生色禁闭. 但是这一方面多年的努力迄今尚未取得成功, 说明这是一件困难的事情.

最近几年, 法捷耶夫和尼米^[2] 提出了一种非阿贝尔规范势的新的拓扑分解, 按照他们的观点, 新的变数更适于描述非阿贝尔规范理论的低能极限. 他们猜测新变量的低能有效拉氏量存在着孤子解并有着质量隙. 我们^[3] 用一个简单的方法导出了 $SU(N)$ 情形下一般的 $SU(N)$ 联络的拓扑分解. 然后用积掉拓扑自由度外其他自由度的方法在单圈以及其它一些近似下求出了低能有效拉氏量. 此研究结果支持对偶迈斯纳效应造成禁闭的图像, 同时讨论了费米子场加入的效应.

我们定义 $SU(N)$ 单位矢量场

$$m_i = m_i^a T^a = g(x) H_i g^{-1}(x), \quad (1)$$

其中, T^a 是 $SU(N)$ 生成元矩阵, H_i 是加当矩阵; $g(X)$ 是 $SU(N)$ 规范群的一般元素, 单位矢量场 $m_i^a(x)$ 的协变导数为

$$D_\mu m_i^a(x) = \partial_\mu m_i^a(x) + g f^{abc} A_\mu^b(x) m_i^c. \quad (2)$$

可以将(2)式中的 $A_\mu^a(x)$ 反解写为

$$A_\mu^a(x) = A_{\mu a} m_i^a + \frac{1}{g} f^{abc} \partial_\mu m_i^b m_i^c - \frac{1}{g} f^{abc} D_\mu m_i^b m_i^c, \quad (3)$$

上式中的最后一项, 是在与 m_i 正交的李代数空间中. 选择此正交空间中的完备的量, 即包括 f 及 d 型的组合, 可得到(3)式反解的一般形式为

$$A_\mu^a(x) = A_{\mu a} m_i^a + \frac{1}{g} f^{abc} \partial_\mu m_i^b m_i^c + \frac{1}{g} \rho^{ij} f^{abc} r_{\mu} m_i^b m_j^c + \sigma^{ij} d^{abc} \partial_\mu m_i^b m_j^c, \quad (4)$$

其中 ρ^{ij} 及 σ^{ij} 是标量场, 它们又分别包含 $SO(N-1)$ 变换下的对称无迹张量、单态、矢量及反对称张量.

在拓扑分解式(4)式中, $m_i^a(x)$ 是描述低能大距离极限时的序参量. 为了讨论 $SU(N)$ 的禁闭性质, 需要得到 $m_i^a(x)$ 的有效理论, 并从中研究质量隙是否存在. 为此, 我们在路径积分中积掉除掉 $m_i^a(x)$

收稿日期: 2003 - 12 - 08; 修改日期: 2004 - 03 - 15

* 基金项目: 国家自然科学基金委重大研究计划资助项目(90103004)

作者简介: 朱重远(1942-), 男(汉族), 江苏江阴人, 研究生毕业, 研究员, 从事理论物理研究.

以外所有的其他自由度, 在选取规范并采用通常的法捷耶夫-波波夫手续得出正确的鬼作用量及规范固定项后, 完成路径积分. 在单圈低能近似以及其它一些假定下, 略去高阶导数项, 最后得到有效拉氏量的形式为

$$L_{\text{eff}} = -\frac{\mu_0^2 \delta^2 N}{\delta \epsilon} (C_\mu^a)^2 - \frac{N}{16\pi^2 \epsilon} (H_{\mu\nu}^a)^2, \quad (5)$$

其中

$$H_{\mu\nu}^a \equiv \partial_\mu C_\nu^a - \partial_\nu C_\mu^a + f^{abc} C_\mu^b C_\nu^c, \\ C_\mu^a = \frac{1}{g} f^{abc} \partial_\mu m_i^b m_i^c.$$

重整化以后的有效拉氏量为

$$L_{\text{eff}} = -\frac{\mu_0^2}{2} (C_\mu^a)^2 - \frac{1}{4} (H_{\mu\nu}^a)^2, \quad (6)$$

此式中第一项给出了质量隙, 这是在树图近似中没有的, 是量子修正. (6)式的作用量正是法捷耶夫及尼米猜测的孤子类型作用量.

将费米子作用量加入 $SU(2)$ 的作用量, 在完成路径积分时, 先对费米子场积分, 再对于除 $n_{(c)}$ 以外的其它场的路径积分, 在单圈近似下, 可以看到与渐近自由研究时同样的 $((22/3) - (2/3))N_f$ 的因子出现于系数中. 这表示费米子数的增加将改变有效理论中相关系数的符号, 从而使孤子解的稳定性及存在性产生问题. 因此, 费米子数的增加是退禁闭的.

采用法捷耶夫-尼米分解去讨论禁闭问题是一种很有趣的新研究途径. 究竟什么量是低能 QCD 的序参量是一个重要问题, 值得以多种形式试探. 上面进行的研究还存在着许多问题. 例如, 单圈近似的正确性和稳定性问题等. 不过, 单圈计算给出了质量隙的事实应当看作是对色禁闭机制的支持, 进一步的研究是有意义的.

致谢 对张勇、李晟、范吉阳、姜颖等的合作表示感谢!

参 考 文 献:

- [1] Nambu Y B. Phys Rev, 1974, **D10**: 4 642; Mandelstam S. Phys Rep, 1976, **C23**: 245; Polyakov A. Nucl Phys, 1997, **B120**: 429; Hooft G T. Nucl Phys, 1981, **B190**: 455.
 [2] Fadeev L, Niemi A. Phys Lett, 1999, **B449**: 214; Phys Rev Lett, 1999, **82**: 1 624.
 [3] Li S, Y Zhang, Zhu Z Y. Phys Lett, 2000, **B487**: 210; Fan J Y, Jiang Y, Zhu Z Y. Comm Theor Phys, 2002, **37**: 575.

A Try to Investigate Color Confinement Directly from QCD Lagrangian*

ZHU Zhong-yuan

(Institute of Theoretical Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract: In the $SU(N)$ case we use the Fadeev-Niemi topological decomposition of nonabelian gauge potentials to derive the low energy effective Lagrangian under one loop approximation by integrating all degrees of freedom except the topological ones in its path integral. The result supports a mechanism on color confinement which comes from the dual Misner Effect. The effect from fermion fields is also discussed.

Key words: color confinement; quantum color dynamics; topological decomposition

* **Foundation item:** National Natural Science Foundation of China (90103004)