

变形介子云口袋中的核子-核子相互作用

杨新华 程檀生 钟毓澍

(北京大学)

摘 要

采用介子云口袋模型,在相对论性多体理论的框架中计算了短程核力。综合胶子交换、 π 介子交换及其它贡献,给出了强度约为250 MeV的软排斥心。

从夸克水平来研究核子-核子相互作用已经不是一个新课题。由于量子色动力学中还没有可靠的计算方法,现有的核力夸克理论都还采用着半唯象的模型。各种理论各有其成功与不足之处,但有两个基本要求是都要考虑的:①尽可能多地把量子色动力学的一些基本结论包括进去,诸如禁闭、渐近自由以及手征不变性等;②使新的理论与已有的、成功的核子相互作用理论,特别是介子交换理论,相容,或是建立起之间的某种联系,并能尽可能多地拟合实验数据。

介子云口袋模型^[1](一般的手征口袋模型也类似)看来是研究核子-核子相互作用一个有吸引力的出发点。这种模型引入了充满在全空间的 Goldstone 玻色子场(π 介子场),因而易于统一地描述不同力程情况下的核力。

本文介绍了采用相对论性多体理论的方法计算短程核力的结果。出发点是体系的拉氏量密度。

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_B^0 + \mathcal{L}_G^0 + \mathcal{L}_\pi^0 + \mathcal{L}_{\theta G}^1 + \mathcal{L}_{\theta\pi}^1 \quad (1)$$

(1)式中的五项依次是口袋、胶子场、Goldstone 玻色子场、夸克-胶子相互作用与夸克-Goldstone 玻色子相互作用的拉氏量密度。在过去的计算中^[2],已经给出了禁闭在空腔中的夸克、胶子的传播子与相应的顶点函数。所需要的是介子云口袋模型中 π 场的传播子及相关的顶点函数。由于 π 场充满在全空间,所以可写成

$$\pi_i(x) = (2\pi)^{-3/2} \int \frac{d^4k}{(2\omega_k)^{1/2}} [a_{ki} e^{iKx} + a_{ki}^\dagger e^{-iKx}] \quad (2)$$

其中 $\omega_k = (k^2 + m_\pi^2)^{1/2}$, 对 Goldstone 玻色子 $m_\pi = 0$ 。

由于所处理的是核力的短程部份,球形空腔仍是一个好的近似。在这种情况下,可以求出传播函数的傅氏变换是

$$\Delta^0(\mathbf{r}\mathbf{r}', \omega) = \sum_{lm} \Delta_l^0(\mathbf{r}\mathbf{r}', \omega) Y_{lm}^*(\theta', \varphi') Y_{lm}(\theta, \varphi) \quad (3)$$

其中

$$\begin{aligned} \Delta_i^0(r r', \omega) &= \frac{2}{\pi} \int_0^\infty dk \cdot k^2 \cdot \frac{j_l(kr)j_l(kr')}{\omega^2 - (\omega_k - iy)^2} \\ &= (i\omega) \cdot j_l(\omega r_<)h_l^{(2)}(\omega r_>) \end{aligned} \quad (4)$$

这里 $j_l(\omega r_<)$ 、 $h_l^{(2)}(\omega r_>)$ 分别是球贝塞尔函数与第二类球汉哥函数,特别有用的它们在口袋表面的函数形式。这是

$$\Delta_i^0(RR, \omega) = \begin{cases} \frac{1}{R} [\xi j_l(\xi)n_l(\xi) + i\xi j_l'(\xi)]. & \xi = \omega R \approx 0 \\ -\frac{1}{2l+1} \cdot \frac{1}{R} & \omega = 0 \end{cases} \quad (5)$$

$n_l(\xi)$ 是球诺依曼函数。在导出这些之后,就可以在我们原来给出的理论框架中计算不同效应对核力作出的贡献并给出有效核势。这种理论框架原则上适用于描写两核子处于不同距离的六夸克态,为与过去的结果比较,在具体计算中采用的是 DETAR 的六夸克态^[3]。采用的口袋模型参数是拟合强子谱时给出的,即 $\alpha_s=1.41$, $B^{1/4}=0.151$, $Z_0=1.31$ 。另外还加上了质心运动修正。

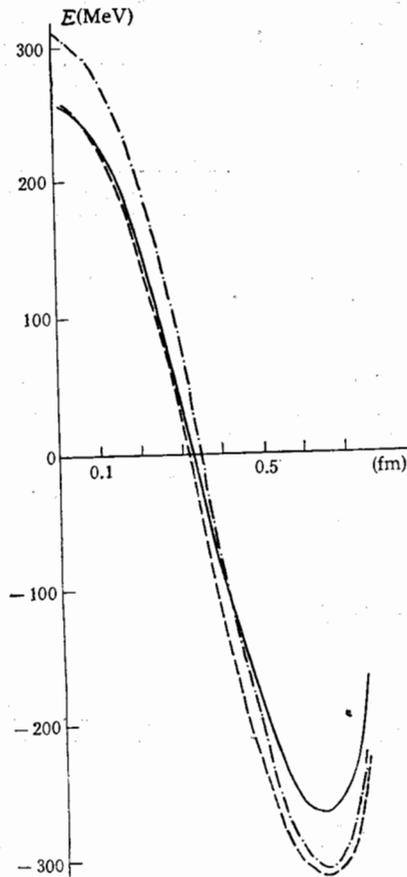


图 1 不同 (T, M_T, S, M_S) 道的有效核势。图中实线、虚线及中心线分别表示 $(0, 0, 1, 1)$ 、 $(0, 0, 1, 0)$ 及 $(1, 0, 0, 0)$ 的情况

计算的主要结果表示在图 1—3 中。图 1 画出了不同道的短程有效核势。图 2 特别画出了 π 介子交换的贡献。当两个核子处于不同距离时,由压强平衡求出的核子大小,表示在图 3 中。

从计算结果可以看到以下几点:

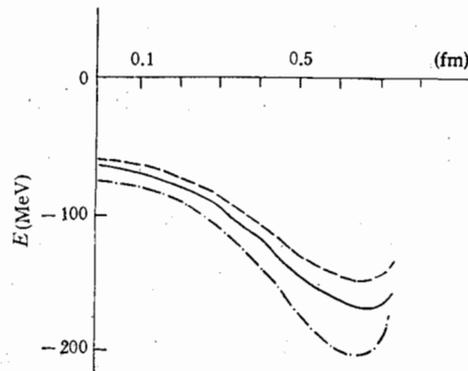


图 2 夸克- π 介子相互作用对有效核势的贡献。图中曲线的标记法与图(1)相同

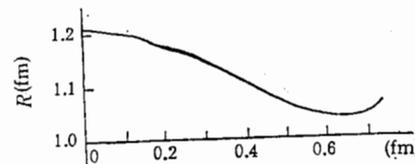


图 3 $(0, 0, 1, 1)$ 道六夸克口袋半径随核子距离的变化。其它两个道基本与之相似

度
这
开
中
克
的
两
分
1:
看

{ 1
[2
[3
[4
[5
[6

mu
exc

1. 对于 (J, M_T, S, M_S) 的值为 $(0, 0, 1, 1)$ 、 $(0, 0, 1, 0)$ 和 $(1, 0, 0, 0)$ 的两核子道, 有强度从 250MeV 到 300MeV 的软排斥心, 在中程表现出吸引势行为。

2. 夸克间交换 π 介子在短程部份提供了 100—120MeV 的排斥, 它总的贡献是负值。这与早先采用手征口袋模型所作的计算定性上相符^[4]。但这里, 这个贡献在 0.7fm 左右开始表现出吸引的行为。

郑挺方等人^[5]曾用经典场的方法计算过介子云口袋模型中 π 场的贡献, 在文章的图中看到大体在小于 0.7fm 时, 这个贡献是排斥的并取正值。这个结果看来与作者假定夸克分布不因 π 场存在而改变的近似有关。Myhrer 等人^[6]曾证明 π 场的能量与 π 场导致的夸克能量的改变是同数量级的而正负号相反。在考虑 π 场与夸克相互作用时, 需要把两者同时包括在内。

3. 六夸克口袋的平衡半径 R 是根据口袋表面压强平衡条件由体系能量在给定两核子分离下对 R 求极值得到的。图 3 画出了口袋半径随两核子距离的变化。口袋半径在 1.21fm 到 1.05fm 左右范围内变化。这相应地也给出了体积能对有效核势的贡献。可以看到, 它在短程是排斥的, 而在 0.6fm-0.65fm 区间变为吸引。

类似的方法可用以讨论核力的长程部份, 此项工作正在进行中。

作者感谢杨立铭教授对此项工作的关心与鼓励。

参 考 文 献

- [1] G. A. Miller et al., *Comm. Nucl. Part. Phys.*, **10**(1981), 101; A. W. Thomas, *Adv. Nucl. Phys.*, **13**(1984), 1.
- [2] X. H. Yang and Y. S. Zhong, *Commun. in Theor. Phys.*, **3**(1984), 297.
- [3] C. DeTar, *Phys. Rev.*, **D17**(1978), 302, 323; **D19**(1979), 1451.
- [4] Z. Y. Ma, *Commun. in Theor. Phys.*, **4**(1985), 297; X. H. Yang, PUTP Preprint (March, 1987).
- [5] 郑挺方、毕品镇、苏汝铿, *高能物理与核物理*, **10**(1986), 47.
- [6] F. Myhrer, G. E. Brown and Z. Xu, *Nucl. Phys.*, **A362**(1981), 317.

N-N INTERACTION IN THE DEFORMED MESON CLOUD BAG MODEL

YANG XINHUA CHENG TANSHEG ZHONG YUSHU
(Beijing University)

ABSTRACT

By using meson cloud bag model we calculate the short range nuclear force in the formulation of the relativistic many body theory. Combination of the contributions from gluon exchange, pion exchange and others, leads to a soft repulsive core of a strength about 250 MeV.