

QMC模型的介质相关参数的确定 及核物质中的夸克凝聚*

郭 华

(北京大学技术物理系 北京 100871)

(北京大学重离子物理研究所 北京 100871)

摘要 通过把QMC模型参数展到 σ 场的一阶项来引入模型参数的核介质效应,并利用核子袋在介质中的平衡条件自洽地确定展开系数.计算结果表明袋参数及核子半径受介质影响较大,而零点运动参数则保持不变.在此基础上,分析了介质相关的模型参数对核物质状态方程及夸克凝聚的影响.

关键词 QMC模型 介质相关的模型参数 核物质

1 引言

相对论重离子碰撞的实验进展,要求人们从理论方面更为精确地研究强子的物质状态方程.在中能区Walecka模型^[1]成功地描述了核物质的饱和性质及有限核的特性,但其缺点是在平均场近似下给出的核物质在饱和密度处的压缩模数太大 $K = 540\text{MeV}$,而核子的有效质量又太小 $M^* \approx 0.55M$.为了克服Walecka模型的缺陷,Zimanyi等人^[2]提出了微分耦合(也称为ZM)模型,在平均场近似下,它给出了合理的核物质压缩模数 $K = 224\text{MeV}$ 及较大的有效核子质量 $M^* \approx 0.85M$,但由于该模型不可重整,不能对平均场近似进行高阶修正.虽然核物质的饱和性质也能用非线性模型来描述,但必须引入更多的自由参数^[3].从另一方面说,所有这些模型都是在强子层次上的有效模型,没有考虑到核子的结构效应.

目前直接从QCD理论出发来计算核物质的性质仍然存在着很大困难,但在有效强子模型中输入强子的结构效应无疑是必要的.在这方面的研究中,Guichon^[4]认为核物质可以看作是由非重叠的核子袋组成的,而束缚于袋内的夸克又与标量及矢量介子相耦合(又称为QMC模型),它提供了一种考虑核子夸克结构的简单框架.在此基础上,Saito等人研究了核物质的特性^[5],核物质中强子质量的变化^[6]以及有限核的性质等问题^[7],与

1998-04-13收稿

* 周培元科学基金和北大重离子所所长基金资助

Walecka 模型相比较, QMC 模型包含了 3 个附加参数, 即核子的袋常数, 核子半径及零点运动参数, 它们反映了核子的内部结构, 可以根据核子的真空质量及经验半径来确定, 计算结果则表明 QMC 模型成为中能区又一成功的模型. 但是正像文献 [8] 所指出的, Saito 等人的工作没有考虑 QMC 模型参数随核物质密度的变化. 根据 QCD 求和规则方法的启示, 文献 [8] 给出了核子袋常数与核介质密度变化的唯像公式, 并分析了其对核物质状态方程的影响, 其缺点是没有考察零点运动参数是否与核介质密度有关, 而且参数确定缺乏动力学机制. 在确定介质相关的模型参数方面, Aguirre 等人^[9]认为核子在核介质中, 需要满足两个动态平衡条件, 即由 QMC 模型计算出来的核子有效质量应与由核介质的有效模型(如 Walecka 或 ZM 模型)给出的核子有效质量相等; 而核子的内部压强也应与外部核介质的压强平衡, 由此可以引入介质相关的模型参数. 但仅这两个条件还不足以确定 3 个模型参数, 并且在计算核子内部压强时又忽略了由于袋边界条件而引入的夸克本征值与核子袋半径的依赖关系. 当然要全面考虑 3 个模型参数的介质效应困难在于不知如何引入介质效应.

本文根据标量介子无结构的特点^[10], 认为袋常数, 核子半径及零点运动参数可以按标量介子场来展示, 展开系数由核子的三个动态平衡条件自洽地确定, 并进一步讨论核介质相关的模型参数对核物质状态方程及夸克凝聚的影响.

2 QMC 模型及其介质相关的模型参数

QMC 的拉氏函数为^[4-8]

$$\mathcal{L}_q = \bar{\psi}_q [i\gamma_\mu \partial^\mu - m_q + g_\sigma^q \sigma(x) - g_\omega^q \gamma_\mu \omega^\mu(x)] \psi_q, \quad (1)$$

在平均场近似下, 介子场可用其平均值来代替, 即 $\sigma = \bar{\sigma}$, $\omega = \bar{\omega} \delta_{\mu 0}$.

对于半径为 R 的核子袋归一化的夸克波函数可表示为

$$\psi_q(\mathbf{r}, t) = \mathcal{N} e^{-i\frac{\epsilon_q t}{R}} \begin{pmatrix} j_0\left(x\frac{r}{R}\right) \\ i\beta_q \boldsymbol{\sigma} \cdot \hat{\mathbf{r}} j_1\left(x\frac{r}{R}\right) \end{pmatrix} \frac{\chi_q}{\sqrt{4\pi}}, \quad (2)$$

其中, \mathcal{N} 为归一化常数 $\mathcal{N}^{-2} = 2R^3 j_0^2(x) [\Omega(\Omega - 1) + Rm_q^* / 2] / x^2$, 其它量可表示为

$$\beta_q = \sqrt{\frac{\Omega - Rm_q^*}{\Omega + Rm_q^*}}, \quad \Omega = \sqrt{x^2 + (Rm_q^*)^2}, \quad (3)$$

有效夸克质量定义为 $m_q^* = m_q - g_\sigma^q \bar{\sigma}$, 夸克的本征值 x 由在核子袋表面满足的线性边界条件来确定

$$j_0(x) = \beta_q j_1(x), \quad (4)$$

核子袋的能量为

$$E_b = \frac{3\Omega - Z}{R} + \frac{4}{3} \pi BR^3, \quad (5)$$

其中, B 为单位体积能, Z 表示袋的零点运动参数. 考虑了质心运动修正后的核子有效质量为

$$M_b^* = \sqrt{E_b^2 - 3\left(\frac{x}{R}\right)^2}. \quad (6)$$

为了引入介质相关的模型参数, 假设 B, Z 与 R 可以展开为

$$\begin{aligned} B &= B_0 \left(1 - \alpha \frac{g_\sigma \sigma}{M}\right), \\ Z &= Z_0 \left(1 - \beta \frac{g_\sigma \sigma}{M}\right), \\ R &= R_0 \left(1 - \gamma \frac{g_\sigma \sigma}{M}\right), \end{aligned} \quad (7)$$

其中, B_0, Z_0 和 R_0 是 QMC 模型参数的真空值, M 为自由核子质量. α, β 和 γ 可以通过核子袋的动态平衡条件来确定. 核子袋在核环境中的质量自洽方程可以表示为^[9]

$$M_b^*(\sigma) = M^*(\sigma), \quad (8)$$

其中, $M^*(\sigma)$ 为由有效强子模型计算出的核子有效质量, M_b^* 由 (6) 式确定, 同时核子袋也应满足如下的压强平衡条件

$$p_b(\sigma) = p_h(\sigma), \quad (9)$$

其中, $p_h(\sigma)$ 为由有效强子模型计算出来的压强, $p_b(\sigma)$ 为 QMC 模型给出的压强

$$p_b(\sigma) = -\frac{E_b}{M_b^*} \frac{1}{4\pi R^2} \left[-\frac{E_b}{R} + \frac{16\pi}{3} R^2 B + \frac{3m_q^2}{\Omega} + C_x \right] - \frac{3x^2}{4\pi R^5 M_b^*}, \quad (10)$$

式中, 因子 C_x 反映了由方程 (4) 给出的 x 与 R 的相关性, 而文献 [9] 忽略该因子的贡献

$$C_x = \left(\frac{1}{\Omega} - \frac{1}{E_b R} \right) \frac{3x^2 m_q^*}{2R(\Omega(\Omega - 1) + Rm_q^*/2)}. \quad (11)$$

强子物质的压强为^[9]

$$\begin{aligned} p_h(\sigma) &= \frac{2M^{*3}}{\pi^2} \left[\frac{K_F}{M^*} \left(\frac{5}{24} \sqrt{K_F^2 + M^{*2}} - \frac{(K_F^2 + M^{*2})^{\frac{3}{2}}}{12M^*} \right) - \right. \\ &\quad \left. \frac{M^*}{8} \text{Ln} \left(\frac{K_F + \sqrt{K_F^2 + M^{*2}}}{M^*} \right) \right], \end{aligned} \quad (12)$$

而本文引入的第 3 个平衡条件为

$$\frac{\partial M_b^*(\sigma)}{\partial \sigma} = \frac{\partial M^*(\sigma)}{\partial \sigma} . \quad (13)$$

实际上它可以由方程(8)推导出来. 这样方程组(8)、(9)和(13)可以完全确定3个介质相关的模型参数.

在 QMC 模型中核子的有效质量对 σ 场的微分为

$$\frac{\partial M_b^*(\sigma)}{\partial \sigma} = -g_\sigma C(\bar{\sigma}) = -\frac{E_b}{M_b^*} g_\sigma \left[S_q \left(1 - \frac{\Omega}{E_b R} \right) + \frac{m_q^*}{E_b} + C_\alpha \alpha + C_\beta \beta + C_\gamma \gamma \right], \quad (14)$$

这里使用的简化记号为

$$C_\alpha = \frac{4}{3} \pi B_0 R^3 / M, \quad C_\beta = -\frac{Z_0}{MR},$$

$$C_\gamma = \left[S_q \left(1 - \frac{\Omega}{E_b R} \right) 3m_q^* + 4\pi BR^3 - \frac{3\Omega - Z}{R} + \frac{3m_q^{*2}}{E_b} + \frac{3x}{E_b R^2} \right] \frac{R_0}{RM},$$

$$S_q = \frac{\Omega / 2 + Rm_q^*(\Omega - 1)}{\Omega(\Omega - 1) + Rm_q^* / 2}, \quad (15)$$

如果 α, β 与 γ 都为零, 则此式退化为文献 [5—7] 的形式.

在强子层次上, 本文选择常用的 Walecka 模型与 ZM 模型来分别确定介质相关的 QMC3 个模型参数, 这也为检验这两个常用模型的可靠性提供了一个新的途径. 对于

Walecka 模型相互作用取为 $V_{No} = g_\sigma \sigma$, 对于 ZM 模型则取为 $V_{No} = \frac{g_\sigma \sigma}{1 + \frac{g_\sigma \sigma}{M}}$, 在平均场近似

下, 它们的运动方程可统一表示为

$$(i\gamma_\mu \partial^\mu - M) \psi(x) = (g_\omega \omega_0 \gamma_0 - V_{No}) \psi(x),$$

$$m_\sigma^2 \bar{\sigma}^2 = \frac{dV_{No}}{d\sigma} \rho_s, \quad m_\omega^2 \omega_0 = g_\omega \rho. \quad (16)$$

其中, $\rho_s = \langle \bar{\psi}(x) \psi(x) \rangle$ 为核物质的标量密度, $\rho = \frac{2K_F^3}{3\pi}$ 为核物质的密度. 在强子层次上有效核子质量为

$$M^*(\sigma) = M - V_{No}(\sigma), \quad (17)$$

因此, 介质相关的 QMC 模型参数可重写为

$$\sqrt{E_b^2 - 3\left(\frac{x}{R}\right)^2} = M - V_{No}(\sigma), \quad (18)$$

$$-\frac{E_b}{M_b^*} \frac{1}{4\pi R^2} \left[-\frac{E_b}{R} + \frac{16\pi}{3} R^2 B + \frac{3m_q^{*2}}{\Omega} + C_x \right] - \frac{3x^2}{4\pi R^5 M_b^*} = p_h(\sigma), \quad (19)$$

$$\frac{E_b}{M_b^*} \left[S_q \left(1 - \frac{\Omega}{E_b R} \right) + \frac{m_q^*}{E_b} + C_\alpha \alpha + C_\beta \beta + C_\gamma \gamma \right] = V'_{No}, \quad (20)$$

从方程(19)中可以得到袋常数为

$$B = \frac{3}{16\pi R^2} \left[\frac{E_b}{R} - \frac{3m_q^*}{\Omega} - \frac{3x^2}{R^3 E_b} - C_x - p_h(\sigma) \frac{4\pi R^2 M_b^*}{E_b} \right], \quad (21)$$

其中, $V'_{N_0} = \frac{1}{g_\sigma} \frac{dV_{N_0}}{d\sigma}$. 利用方程(20)和(7)可得到零点运动参数为

$$Z = Z_0 - Z_0 \frac{g_\sigma \sigma}{M} \left\{ \frac{M_b^* V'_{N_0}}{E_b C_\beta} - \left[\frac{\left(E_b - \frac{\Omega}{R}\right) S_q + m_q^*}{E_b C_\beta} + \frac{C_\alpha}{C_\beta} \alpha + \frac{C_\gamma}{C_\beta} \gamma \right] \right\}. \quad (22)$$

把方程(21)和(22)代入(18)式中,可得到核子袋半径 R 所满足的方程,从中可以自洽地求出 R ,进而可以得到 QMC 的模型参数 B 与 R .

3 状态方程及核物质中的夸克凝聚

在第二节中得到了介质相关的模型参数,数值结果见图 1—3,从中可知, B 与 R 受介质影响较大,而零点运动参数则与介质密度无关. 为此本文仅选 B 随 $\frac{\rho}{\rho_0}$ 的变化作为 QMC

的输入参数,来分析它对核物质状态方程及夸克凝聚的影响.

由 QMC 的拉氏函数得到每核子能量为^[5—8]

$$E_{\text{tot}} = \frac{\gamma}{(2\pi)^3 \rho} \int^{K_F} d^3k \sqrt{k^2 + M^{*2}} + \frac{g_\omega^2}{2m_\omega^2} \rho + \frac{m_\sigma^2}{2\rho} \bar{\sigma}^2, \quad (23)$$

式中, γ 为核子的自旋同位旋简并因子,对于核物质取 $\gamma = 4$. 有效核子质量由(6)式确定,相应的核子半径由下式决定

$$\frac{\partial M^*}{\partial R} = 0, \quad (24)$$

平均矢量场及标量场可分别表示为

$$\bar{\omega} = \frac{3g_\omega^4 \rho}{m_\omega^2} = \frac{g_\omega \rho}{m_\omega^2}, \quad (25)$$

$$\bar{\sigma} = \frac{g_\sigma}{m_\sigma^2} C(\bar{\sigma}) \frac{\gamma}{(2\pi)^3} \int^{K_F} d^3k \frac{M^*}{\sqrt{k^2 + M^{*2}}}, \quad (26)$$

式中,因子 $C(\bar{\sigma})$ 由(14)式给出.

核子由夸克组成,随着核物质密度的变化,在核物质中可以讨论夸克凝聚问题,而核介质中的夸克凝聚与真空中夸克凝聚的差可由 Hellman-Feynman 定理给出^[5,6,11—13]

$$Q(\rho) - Q(0) = \frac{1}{2} \frac{d\epsilon}{dm_q} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \epsilon}{\partial M^*} \frac{dM^*}{dm_q} + \frac{\partial \epsilon}{\partial m_\sigma} \frac{dm_\sigma}{dm_q} + \frac{\partial \epsilon}{\partial m_\omega} \frac{dm_\omega}{dm_q} \right), \quad (27)$$

其中, $\epsilon = \rho E_{\text{tot}}$. 在推导上式中忽略了耦合常数与流夸克质量之间的关系^[11—13],而介子质

量对流夸克质量的微分可以唯象地表示为^[11-13]

$$\frac{dm_i}{dm_q} = \frac{m_i}{M} \frac{\sigma_N}{m_q} \quad (i = \sigma, \omega) \quad (28)$$

式中, σ_N 为 pion-nucleon-sigma 项^[5,6,11-13]. 由方程 (23) 和 (26) 得到

$$\begin{aligned} \frac{\partial \epsilon}{\partial M^*} &= \frac{1}{C(\bar{\sigma})} \left(\frac{m_\sigma}{g_\sigma} \right)^2 (g_\sigma \bar{\sigma}), \\ \frac{dM^*}{dm_q} &= 3C(\bar{\sigma}) \left(1 - \frac{dV_\sigma}{dm_q} \right). \end{aligned} \quad (29)$$

在 QMC 模型中可以定义 $\sigma_N = 3m_q C(0)$ ^[5,6]. 根据 Gell-Mann-Oakes-Renner 关系 $2m_q Q(0) = -m_\pi^2 f_\pi^2$, 介质中与真空中夸克凝聚的比率可以表示为

$$\frac{Q(\rho)}{Q(0)} = 1 - \frac{\sigma_N \rho_0}{m_\pi^2 f_\pi^2} \left[\frac{m_\sigma^2}{g_\sigma^2 \rho_0 C(0)} g_\sigma \bar{\sigma} \left(1 - \frac{dV_\sigma}{dm_q} \right) + \frac{\chi_\sigma m_\sigma}{g_\sigma \rho_0} (g_\sigma \bar{\sigma})^2 - \frac{\chi_\omega g_\omega^2 \rho_0}{m_\omega^3} \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^2 \right], \quad (30)$$

式中, $\chi_i = \frac{m_i}{M}$ ($i = \sigma$ 或 ω). 夸克的标量势定义为 $V_\sigma \equiv g_\sigma^q \bar{\sigma}$, 而 $\frac{dV_\sigma}{dm_q}$ 则可以通过数值分析来得

到. 如果取 $C(0) = 1$ 和 $\frac{dV_\sigma}{dm_q} = 0$, 则方程 (30) 退化成与 Walecka 模型公式一样的形式.

4 结果与讨论

本文首先确定介质相关的 QMC 模型参数, 输入的耦合常数取为^[9]: 对于 Walecka 模型取 $g_\sigma = 11.04$ 和 $g_\omega = 13.74$; 对于 ZM 模型取为 $g_\sigma = 7.84$ 和 $g_\omega = 6.67$, 流夸克质量取为 $m_q = 10\text{MeV}$, 自由核子质量为 $M = 939\text{MeV}$, 核物质的饱和密度为 $\rho_0 = 0.15\text{fm}^{-3}$.

图 1(a) 计算了核子袋常数随介质密度的变化. 由 Walecka 模型确定的袋常数随 $\frac{\rho}{\rho_0}$ 的增加很快地减小, 在 $\rho \approx 1.5\rho_0$ 处达到最小值之后又迅速增加, 这一点似乎不合理, 因为核子袋不可能在如此低的密度下有解体的迹象. 如果用 ZM 模型来确定介质相关的袋参数, 可以看出核子袋参数随密度的变化而递减, 与真空值的偏离亦不大.

图 1(b) 计算了介质中与真空中核子半径的比值. 由 Walecka 模型确定的核子半径 R 随 $\frac{\rho}{\rho_0}$ 增大到约为 2 后, 又进而减小, 但其半径仍远大于核子半径的真空值, 因而可能导致

核子袋在核物质中的重叠, 从而使 QMC 模型失效. 从另一方面说, 虽然核子袋在核物质中有可能“发胖”^[8], 但其半径远离经验值是不合理的, 这可能与 Walecka 模型把核子描述成无结构的点粒子从而导致核物质的压缩模数太大等缺陷有关. 从这一点上说, Walecka 模型似乎不如 ZM 模型好.

同时我们也计算了核子在介质中与在真空中的零点运动参数的比率. 无论从

Walecka 或 ZM 模型的计算结果都表明 Z 都与核介质密度无关, 这可能是由于核子的零点运动参数仅与核子的真空性质有关所造成的。

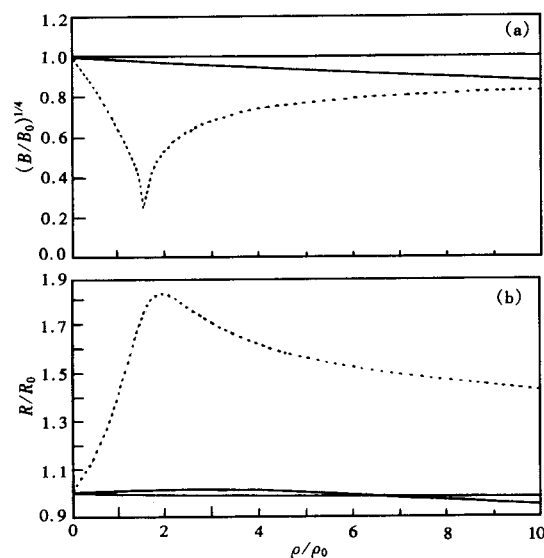


图 1 在介质中与在真空中核子袋常数(a)和核子半径(b)的比率随密度 $\frac{\rho}{\rho_0}$ 的变化

实线为 ZM 模型决定的结果; 点线为 Walecka 模型的结果。

从图 1(a, b)可以看出核介质对由 ZM 或 Walecka 模型确定的袋常数有一定的影响, 而零点运动参数则不受影响, 同时亦可以得出结论: 由 Walecka 模型确定的袋常数似乎不合理, 这可能是该模型一些缺陷的反映, 实际上如果用由 Walecka 模型确定的介质相关袋参数作为 QMC 的输入, 无法找到合理的核物质饱和能. 为此下面的计算, 将取由 ZM 模型决定的袋参数作为 QMC 模型的输入参数来分析它对核物质状态方程及夸克凝聚的影响.

由于引入了介质相关的袋模型参数, 核物质的饱和密度偏离了 $\rho_0 = 0.15\text{fm}^{-3}$, 因此必

表 1 不同模型耦合常数与核物质的结果

	g_σ	g_ω	$\frac{M^*}{M}$	K/MeV	$\frac{x}{x_0}$	$\frac{R}{R_0}$	$\frac{B}{B_0}$
模型 I	15.472	4.428	0.89	256	0.928	0.980	1.0
模型 II	16.245	6.140	0.870	348	0.919	0.995	0.920
模型 III	15.614	4.756	0.887	330	0.925	0.983	0.989
Walecka模型	11.04	13.74	0.55	554	-	-	-

模型 I 为无介质修正的 QMC 袋模型参数的结果; 模型 II 为有介质修正的 QMC 袋模型参数的结果; 模型 III 为文献 [8] 的结果; 自由核子半径取为 $R_0 = 0.6\text{fm}$, 每核子能量为 $\bar{\epsilon} = -16.0\text{MeV}$, K 为核物质的压缩模数. 质量参数分别为: 核子自由质量为 $M = 939\text{MeV}$, 标量介子为 $m_\sigma = 550\text{MeV}$, 矢量介子为 $m_\omega = 783\text{MeV}$, pion 介子质量为 $m_\pi = 138\text{MeV}$, 流夸克质量为 $m_q = 10\text{MeV}$, $f_\pi = 93\text{MeV}$, pion-nucleon-sigma 项为 $\sigma_N = 45\text{MeV}$.

须调节 QMC 模型的耦合常数使核物质在 $\rho_0 = 0.15\text{fm}^{-3}$ 处达到饱和. 为了比较起见, 本文亦根据文献 [8] 所给出的介质相关的袋模型参数公式即取 ($g_s^B = 1$, 且 $\delta = 4$) 计算了它对核物质状态方程及夸克凝聚的影响. 不同模型的耦合常数由表 1 给出.

图 2 计算了核子袋内夸克有效作用势随 $\frac{\rho}{\rho_0}$ 的变化结果. 可见在低密度区 $\rho < \rho_0$ 介质效应不大. 随着 $\frac{\rho}{\rho_0}$ 的增加, 介质效应变大. 从图中可见由模型 II 模型给出的介质效应更强.

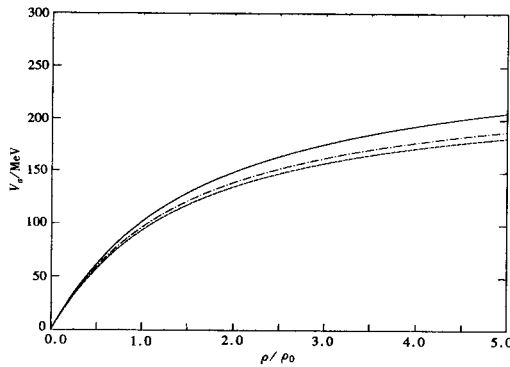


图 2 标量势 $V_s(\rho)$ 随 $\frac{\rho}{\rho_0}$ 的变化曲线

耦合常数由表 1 给出; 实线为由模型 II 给出的结果, 虚线为模型 I 的结果, 虚点线为模型 III 的结果.

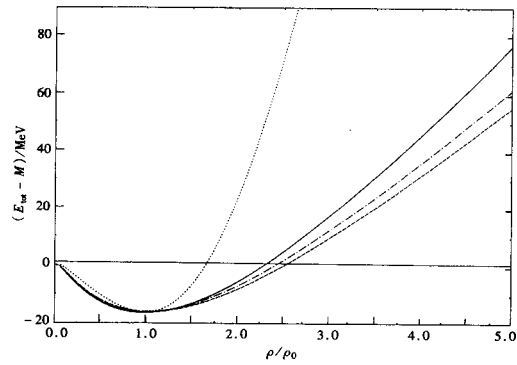


图 3 每核子能量随 $\frac{\rho}{\rho_0}$ 的变化曲线

耦合常数由表 (1) 给出; 实线为由模型 II 给出的结果, 虚线为模型 I 的结果, 虚点线为模型 III 的结果, 点线为 Walecka 模型的结果.

图 3 计算了不同模型每核子能量随密度的变化. 为了比较起见, 图中也给出了 Walecka 模型的结果, 可见有介质效应的 QMC 结果介于 Walecka 模型与无介质效应的 QMC 结果之间. 正像文献 [8] 指出的 Walecka 模型的矢量场比 QMC 的为强, 这导致 Walecka 模型的结果为这组曲线的上限. 由于介质效应增强了核子间的吸引作用, 有介质效应的 QMC 曲线 II 与 III 比无介质效应的 model I 在密度 $\rho > \rho_0$ 时有所抬高.

图 4 分析了核子有效质量随 $\frac{\rho}{\rho_0}$ 的变化. 不同情况下的 QMC 模型, 在低密度区对核子有效质量影响不大, 随着密度的增加, 介质效应使核子的有效质量减小, 模型 II 的结果比模型 III 的结果的介质效应更强. 可见介质相关的袋参数提供了一个新的吸引机制, 使得模型 II 与 III 的核子有效质量比无介质效应的模型 I 为小. 图中也给出了 Walecka 模型的结果, 有效核子质量随密度的增加变得太小.

图 5 计算了夸克凝聚在有无介质时的比率. 在低密度区 $\rho < \rho_0$, 夸克凝聚随密度的变化接近线性近似^[11-13]. 随着密度的增加, 介质效应使夸克凝聚减小, 并偏离线性近似. 在高密度区 $\rho > 3\rho_0$ 模型 II 比模型 III 结果的介质效应更强一些. 在图中也给出了 Walecka 的结果, 表明在 $\rho > 1.5\rho_0$ 之后, 夸克凝聚随密度的变化而反常地增加, 这一点也是 Walecka 模型的缺陷详见文献 [11-13] 的讨论.

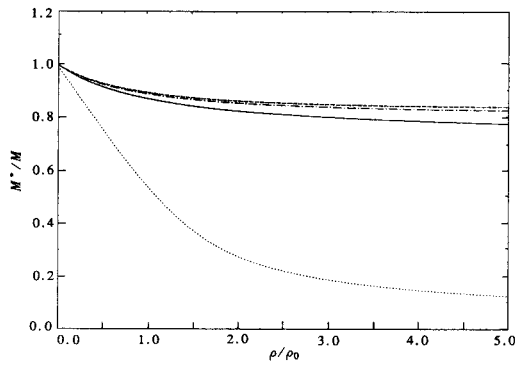


图 4 核子有效质量的比率 $\frac{M^*}{M}$ 随 $\frac{\rho}{\rho_0}$ 的变化曲线

耦合常数由表(1)给出;实线为由模型 II 给出的结果,虚线为模型 I 的结果,虚点线为模型 III 的结果,点线为 Walecka 模型的结果.

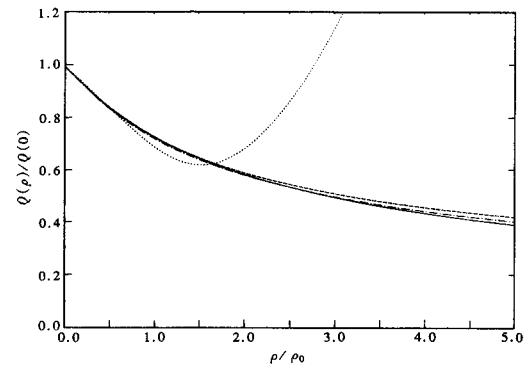


图 5 在介质中与在真空中夸克凝聚的比率随 $\frac{\rho}{\rho_0}$ 的变化曲线

耦合常数由表 1 给出;实线为由模型 II 给出的结果,虚线为模型 I 的结果,虚点线为模型 III 的结果,点线为 Walecka 模型的结果.

总之, QMC 模型考虑了核子的夸克结构,对核物质问题的计算是比较成功的,本文的结果表明应该考虑 QMC 模型参数的介质效应,或许在此基础上有助于 QMC 模型在计算有限核自旋轨道耦合能级分裂过小、EMC 效应以及随密度的增大有可能导致的核子袋重叠等问题的研究.

参 考 文 献

- 1 Serot B D, Walecka J D. Adv. Nucl. Phys., 1986, **16**:1—321
- 2 Zimanyi J, Moszkowski S. Phys. Rev., 1990, **C42**:1416—1420
- 3 Boguta J, Bodmer A R. Nucl. Phys., 1977, **A292**:413—429; Boguta J. Phys. Lett., 1981, **106B**:255—260
- 4 Guichon P A M. Phys. Lett., 1988, **B200**:235—239
- 5 Saito K, Thomas A W. Phys. Lett., 1994, **B327**:9—16
- 6 Saito K, Thomas A W. Phys. Rev., 1995, **C51**:2757—2764
- 7 Saito K, Tsushima K, Thomas A W. Nucl. Phys., 1996, **A609**:339—363
- 8 Jin X, Jennings B K. Phys. Rev., 1996, **C54**:1427—1436; Phys. Lett., 1996, **B374**:13—19
- 9 Aguirre R M, Schveliger M. Phys. Lett., 1997, **B400**:245—249
- 10 Saito K, Tsushima K, Thomas A W. Phys. Rev., 1997, **C55**:2637—2648
- 11 Cohen T D, Furnstahl R J, Giregel K. Phys. Rev., 1992; **C4**:1881—1893
- 12 Li G Q, Ko C M. Phys. Lett., 1994, **B338**:118—122
- 13 Delfino A, Jishnu Dey, Mira Dey, Malheiro M. Phys. Lett., 1995, **B363**:17—23

In-medium QMC Model Parameters and Quark Condensation in Nuclear Matter *

Guo Hua

(*Department of Technical Physics, Peking University, Beijing 100871*)

(*Institute of Heavy-Ion Physics, Peking University, Beijing 100871*)

Abstract We proposed a new method to determine the in-medium QMC parameters consistently. Our results illustrate that the bag constant and the nucleon radius are greatly influenced by the nuclear medium, however, the parameter for zero-point motion keeps its vacuum value. Then we discuss the effects of in-medium QMC parameters on the equation of state of nuclear matter and quark condensation in nuclear matter.

Key words QMC model, in-medium parameters, nuclear matter

Received 13 April 1998

* Supported by the Zhou Peiyuan Science Foundation and Institute of Heavy-Ion Physics of Peking University