

极端条件下原子核中对关联的一种处理方法*

蒋维洲 朱志远

(兰州重离子加速器国家实验室原子核理论中心 兰州 730000)

(中国科学院上海原子核研究所 上海 201800)

0571-1

摘 要 对关联是原子核中最重要的剩余相互作用, 阐述了用多体关联方法研究原子核中对关联效应的可能性, 并以中子晕核¹¹Li、¹¹Be 为例, 阐述了此方法的可行性.

关键词 对关联 剩余相互作用 高自旋态 晕核

分类号 O571.1

极端条件. 原子核

在原子核高自旋态的研究中, 因对力本质的认识尚不清楚以及如计算量大等原因, 考虑对力对原子核单粒子性质和集体性质的贡献并不容易, 因此在轻核的处理中, 一般认为它不重要而不予考虑^[1]. 但对重核而言, 由于转速较慢, Coriolis 力的拆对效应不强, 因此对关联效应必须予以关注, 以给出与实验一致的描述. 另一方面, 处在滴线附近的轻核, 对关联对于核性质的描述是很重要的, 也必须予以关注.

用对力解释原子核性质的奇偶差异, 这可从核子质量的半经验公式看出. 1957 年, 低温超导体中电子 Cooper 对的 Bardeen-Cooper-Schrieffer (BCS) 理论^[2]确立以后, 配对导致超导的观念也被用来分析原子核奇偶差异的一系列性质. 从原则上说, 电磁现象可以由标准的量子电动力学解释. 但是在 BCS 理论确立以前, 超导现象却并没有被认识清楚. 这并不是说直接从量子电动力学出发考虑多体相互作用解释不了超导现象, 而是这样会很复杂, 不能很好地区分主要的与次要的贡献. BCS 理论确立以后, 粒子物理学家用以研究了真空的自发对称破缺、质量起源等问题^[3].

在原子核对关联的处理中, 最直接的方法

就是借用超导中的 BCS 理论, 但是在 BCS 的处理中会有假态, 即其中包含了许多非物理态, 同时还面临着粒子数不守恒的问题. 进一步的发展将需克服这些问题, 甚至考虑包含其它机制的物理贡献, 比如考虑粒子数守恒, 以及研究滴线核时考虑束缚态与连续区的耦合等^[4]. 所有这些, 类比于超导机制, 其唯象图景都比较清楚, 但原子核中对关联的实质还需更深入的探究.

对关联是原子核中最重要的剩余相互作用, 至今尚见一种将剩余相互作用完全考虑进去的框架, 虽然从原则上说剩余相互作用的处理是一种技术问题, 事实上, 却并不简单. 剩余相互作用一般是用多体理论研究的, 而往往采用只考虑两空穴线的高阶展开——Brueckner-Hartree-Fock (BHF) 方法. 在用相对论性 BHF 处理低密度的时候, 例如由于结合能等的计算是不稳定的, 因此在很低密度的情况下需要用外推的方法. 即使是这样, 在相对论性的 BHF 的基础上, 对有限核给出了很好的描述^[5,6]. 最近, 在非相对论的框架中, 有作者在两空穴线近似的基础上加上三空穴线间的两体相互作用, 给出了相当好的理论结果^[7]. 其结果表明不依赖于不同辅助势的选择, 如果在相对论性的框架中考虑三

收稿日期: 1999-03-30.

* 兰州重离子加速器国家实验室原子核理论中心'99 首次学术讨论会论文.

空穴线的两体关联作用或者三体关联甚至三体以上的多体关联，将有可能给出与辅助势选择无关的结果。虽然文献[8]中提到：在相对论性框架中，三空穴线的贡献是比较小的，而且研究表明，它部分地被包含在最低阶的计算中，但是还没有明显包含三空穴线的工作。在相对论性框架中加入三空穴线的贡献，将会给出一个有意义的改进，这当然是一件很复杂的工作，但原则上可以通过它来研究剩余相互作用的贡献。一般来说，三空穴线间的两体关联或三体关联比之于两空穴线间的关联贡献是一个小量。对具体的物理过程，一般只考虑主要的贡献，给出合理的结果。

通常，在相对论性多体关联的框架中研究有限核性质是很复杂的，所以常将核物质中相对论性多体关联方法(如相对论性的BHF)中获得的核子自能折合成单体势，而使耦合常数密度依赖。密度依赖的耦合常数被认为是折合了多体关联即剩余相互作用的贡献，所以在相对论性平均场近似或者再加上Fock项的情况下，用以研究核的性质，得到与实验一致的结果。密度依赖的耦合常数示意在图1中， g_ω 、 g_σ 分别为标量介子、矢量介子与核子间的耦合常数。从图中看出，密度从小到大，耦合常数有从大到小的连续变化。在开壳核的费米面附近，核子密度有一连续分布(图2所示)。而对关联的贡献主要在费米面附近，可以看出，这时比较大的耦合常数起码在定性上能说明对关联的贡献。

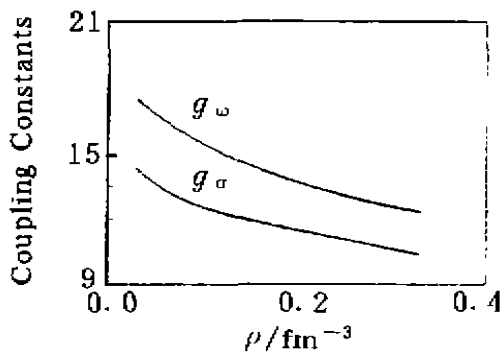


图1 密度依赖的耦合常数

如上文提到的，在原子核如 $A \approx 190$ 区或者更重的核的高自旋态的研究中，对关联是很重要的，所以在一般的相对论平均场框架加入剩余相互作用的贡献，将会很好地改善以前的描述。另一方面，如滴线核，也是可以用以上方法关注的一个方向。在中子皮和晕核的研究中，已有作者引入密度相关的唯象参数的理论处理[9]。

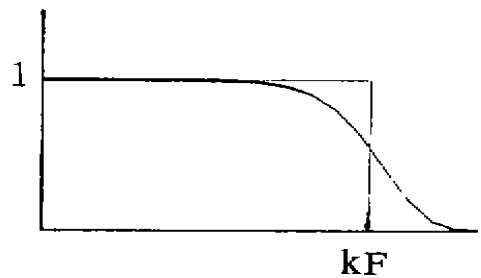


图2 原子核中核子分布

作为一个例子，用目前的方法考察中子晕核 ^{11}Li 与 ^{11}Be 的性质。 ^{11}Li 由核心的9个核子与外面的两个结合松散的晕中子构成， ^{11}Be 由核心的10个核子与外面的一个结合松散的晕中子构成。实验上， ^{11}Li 的晕中子的质量均方根半径为5.6 fm左右[10]。晕中子与核心核子间的关联作用很弱，可以不考虑它们间排斥芯的作用；而在晕上，对关联的作用虽然不是很大，但对晕核的整体性质的描述有着非常重要的贡献。在目前的方法中，将考虑晕中子的两体关联作用。认为两体关联作用是对力最主要的贡献，即对力是用两体关联来处理的。这样的描述是在相对论平均场框架中给出的，而两体关联的贡献折合到了单粒子势中，使得核子-介子的耦合常数(作用顶角)与密度相关。这时，核心与晕上的核子的空间分布在各自相对的定义域中，核心的核子数密度由核心的核子数贡献，晕上的核子数密度由晕上的核子数贡献。核心与晕上的核子-介子耦合常数由各自的定义域密度决定。晕中子除了它们间的关联之外，还有它们与核心所提供的势之间的耦合，而耦合并不需要考虑排斥芯的作用，所以与核心

的核子间的耦合常数是由相移实验确定的实验值. 晕中子的耦合常数是晕中子间密度依赖的耦合常数与晕中子与核心核子间耦合常数的平均值. 值得注意的是, 这里的核心是冻结的, 即没有直接考虑晕对核心的作用.

图3给出了 ^{11}Li 与 ^{11}Be 符合实验的核子质量分布. 这里算得的 ^{11}Li 单中子分离能为

0.73 MeV, 两中子分离能为 0.36 MeV. 质量均方根半径为 3.16 fm, 这些值与实验值符合很好. ^{11}Be 的理论结果同样也给出了与实验一致的结果, 这里不再赘述. 结果表明: 用相对论性多体关联的方法研究中子晕核中的对关联是合适的、可行的.

总之, 原子核中对关联效应的研究, 首

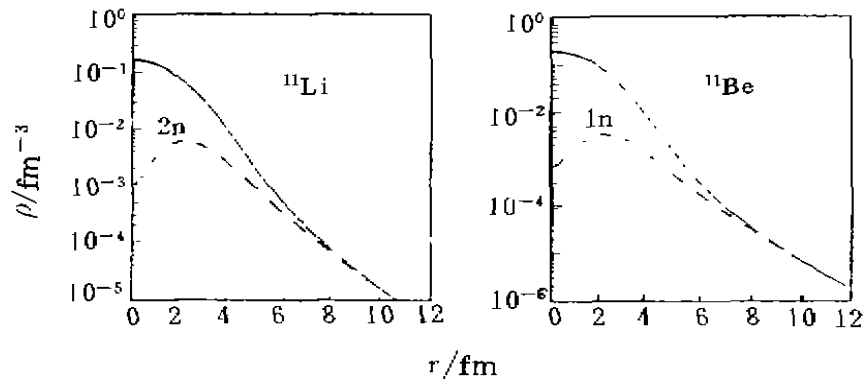


图3 晕核 ^{11}Li 与 ^{11}Be 的密度分布

先需要尽可能地处理好核物质中的多体关联, 然后再用来描述有限核在极端条件下的一系列性质. 这里只是罗列了研究的思路和一些简单的例子, 具体而细致的工作还需要

进一步的深入和商榷讨论.

致谢 感谢兰州重离子加速器国家实验室原子核理论中心的资助.

参 考 文 献

- 1 König J, Ring P. Identical Bands in Superdeformed Nuclei, a Relativistic Description. *Phys Rev Lett*, 1993, 71: 3 079~3 082; Afanasjev A V, König J, Ring P. Cranked Relativistic Mean Field Description of Superdeformed Bands in ^{83}Sr . *Phys Lett*, 1996, B367: 11~16
- 2 Bardeen J, Cooper L N, Schrieffer J R. Microscopic Theory of Superconductivity. *Phys Rev*, 1957, 100: 162~165
- 3 Nambu Y, Jona-Lasinio G. Dynamical Model of Elementary Particles Based on an Analogy with Superconductivity. *Phys Rev*, 1961, 122: 345~358
- 4 Meng J. Relativistic Continuum Hartree-Bogoliubov Theory with Both Zero Range Gogny Force and Their Application. *Nucl Phys*, 1998, A635: 3~42
- 5 Brockmann R, Toki H. Relativistic Density-dependent Hartree Approach for Finite Nuclei. *Phys Rev Lett*, 1992, 68: 3 408~3 411
- 6 Fritz R, Muther H, Machleidt R. Dirac Effects in the Hartree-Fock Description of the Finite Nuclei Employing Realistic Force. *Phys Rev Lett*, 1993, 71: 46~49; Ma Z Y, Shi H L, Chen B Q. Isovector Meson Contribution in the Relativistic Hartree-Fock Approach for Finite Nuclei. *Phys Rev*, 1994, C50: 3 170~3 173
- 7 Song H Q, Balde M, Gianfrancesca G *et al*. Bethe-Brueckner-Goldstone Expansion in Nuclear Matter. *Phys Rev Lett*, 1992, 81: 1 584~1 587
- 8 Brockmann R, Machleidt R. Relativistic Nuclear Structure I Nuclear Matter. *Phys Rev*, 1990, C42: 1 965~1 980
- 9 Zhu Z Y, Shen W Q, Cai Y H *et al*. Study of Halo Nuclei with Phenomenological Relativistic Mean Field Approach. *Phys Lett*, 1994, B328: 1~4
- 10 Sugawa H. Density Distribution of Halo Nuclei. *Phys Lett*, 1992, B286: 7~12

An Approach to Pairing Correlation for Nuclei under Extreme Conditions

Jiang Weizhou Zhu Zhiyuan

*(Center of Theoretical Nuclear Physics, National Laboratory of Heavy Ion
Accelerator of Lanzhou, Lanzhou 730000)*

(Institute of Nuclear Research, the Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

Abstract The pairing correlation is the most important residual interactions in nucleus system. The possibility for the investigation of pairing correlation with the many-body correlation approach and the feasibility of the approach, by taking the halo nuclei ^{11}Li and ^{11}Be as an example are elucidated.

Key words pairing correlation residual interaction high-spin state halo nuclei

Classifying number O571.1