

文章编号: 1007-4627(2006)04-0397-03

超重核密度的计算*

裴俊琛, 许甫荣[#]

(兰州重离子加速器国家实验室原子核理论中心, 甘肃 兰州 730000;

北京大学物理学院技术物理系, 北京 100871)

摘要: 用 Skyrme-Hartree-Fock 模型计算了超重核的密度分布, 并讨论了其形状和同位旋相关性。以 $^{292}120$ 核为例, 计算表明形变对密度分布有相当大的影响。

关键词: 超重核; 密度分布; Skyrme-Hartree-Fock 模型

中图分类号: O571.21 **文献标识码:** A

1 引言

超重核的研究不断拓展我们已有的核结构知识和研究范围。单从理论方面讲, 现有的核模型对超重核的结构描述有很大分歧。微观的理论, 包括相对论和非相对论的自洽平均场模型^[1], 原则上适用于所有的核区, 是目前研究超重核的重要理论方法。但是这些模型预言的超重核性质有较大的差别。超重核和一般重核的区别在于很强的库仑排斥效应和减弱的壳效应。很强的库仑排斥会导致质子分布重心外移。平均场模型预言重于 400 个核子数的核会出现奇特的泡状密度分布, 轻一点的 $^{292}120$ 核会有半泡状的密度分布^[2]。平均场模型中密度和壳结构的耦合是出现这种奇特密度分布的关键。关于超重核性质的理论研究内容主要有结合能、 α 衰变、自发裂变、形变和壳结构^[3]。最近我们从 Skyrme-Hartree-Fock (SHF) 模型出发, 计算了超重核的密度分布, 并讨论了其与壳结构、形变和参数选择的关系^[4, 5]。此外, 原子核密度分布及中子皮厚度也是核结构感兴趣的问题。它们和核物质性质及中子星结构有密切的联系。

2 计算与讨论

在我们的计算中, 采用的是轴对称坐标空间的 SHF 模型。对作用采用 BCS 框架下的 delta 对相互作用^[6]。密度分布在柱坐标空间的表示为

$$\rho(z, r) = \sum_k 2\nu_k^2 [|\varphi_k^+(r, z)|^2 + |\varphi_k^-(r, z)|^2], \quad (1)$$

其中 φ_k^\pm 分别对应于波函数的上下分量, ν_k^2 是 k 轨道的占有几率。计算采用了 SkI3, SkI4, SLy4 和 SLy7 参数^[1]。这些参数对超重核的幻数预言有差别, 例如 SkI3 参数预言下一个幻数核为 $^{292}120$, 其它参数预言为 $Z=114$ 或 126 , $N=184$ 。这些参数的差别主要体现在对自旋轨道耦合作用的处理^[1]。此外, 不同的核子有效质量反映了 Fermi 面附近的能级密度, 对下一个壳的预言也有较大影响。具体的计算细节和 SHF 理论可以参见文献^[1]。

我们首先计算比较了 ^{208}Pb 和 $^{298}114$ 的密度分布^[4]。其中采用 SkI4 计算的 ^{208}Pb 电荷密度分布和实验最接近。不同参数算出的 $^{298}114$ 的密度大致相同。SkI4 得出的 ^{208}Pb 中子皮厚度为 0.18 fm, 最近实验上该值为 (0.15 ± 0.02) fm。中子皮的厚度和参数有关, SkI3 得出的为 0.2 fm, SLy4 和 SLy7 得出的为 0.16 fm。图 1(a) 给出了计算的 $^{298}114$ 的密度分布, 可以看到质子分布有较大的中心凹陷。从图 1(b) 微观的波函数可以看到, 这主要是由于 $82 < Z \leq 114$ 的质子主要分布在核的外表面。这些质子占有很高角动量的轨道, $1i_{13/2}$, $1h_{9/2}$ 和 $2f_{7/2}$, 因而导致中心的密度凹陷。

* 收稿日期: 2006-07-08

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(10525520, 10475002)

作者简介: 裴俊琛(1980-), 男(汉族), 湖北松滋人, 博士研究生, 从事理论核物理研究。

联系人: 许甫荣, E-mail: frxu@pku.edu.cn

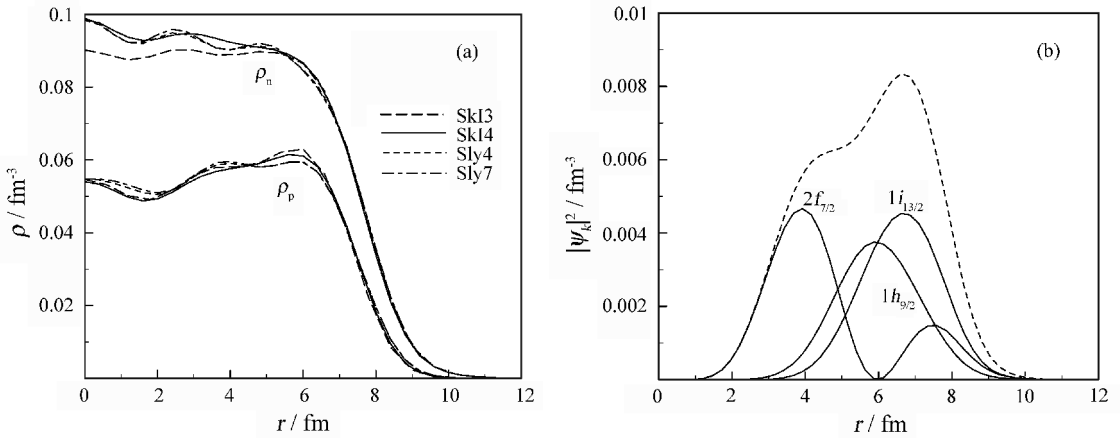


图 1 (a) SLy4 计算的²⁹⁸114 的密度分布；(b) 其价质子波函数的分布

这种高角动量轨道的影响同样也体现在中子的密度分布上。在 $N=126-172$ 的区域，中子也占有高角动量轨道， $2g_{9/2}$ ， $1i_{13/2}$ ， $1j_{15/2}$ 和 $2g_{7/2}$ 。从图 2 中可以看到， $N=172$ 时的质子密度分布凹陷最强。这种凹陷当价质子和价中子都占据高 J 态时更加强

烈。这是因为在平均场自洽计算中，密度反馈到平均场势，使高 J 态的波函数分布更加外移。反过来，半泡状密度分布和壳结构的耦合导致了 $Z=120$ 壳的出现。而在²⁹⁸114 和³¹⁰126 的单粒子能级分布图中并没有 $Z=120$ 的能隙^[5]。

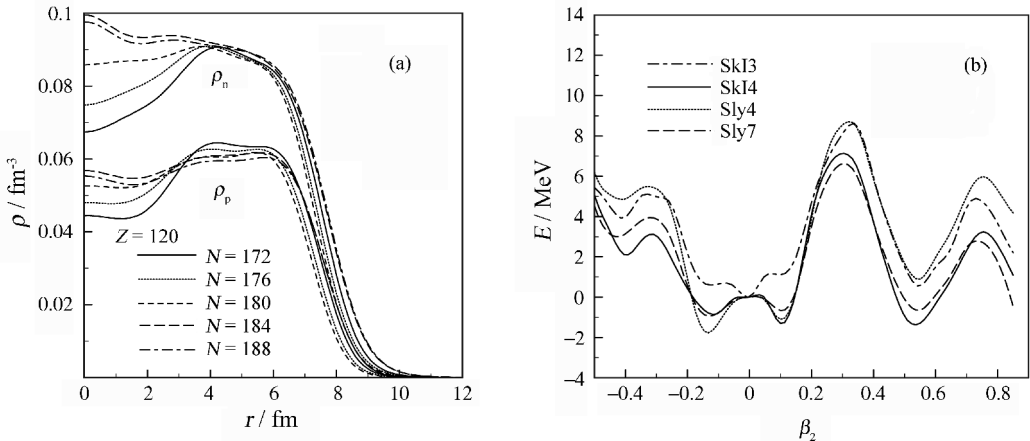
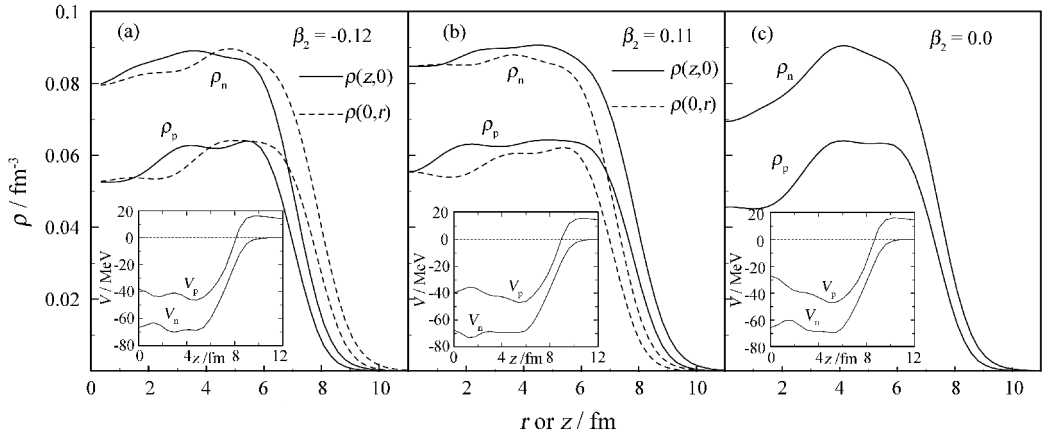


图 2 (a) $Z=120$ 的同位素核的球形密度分布；(b) 不同参数计算得到的²⁹²120 的位能曲面

至此，我们讨论了超重核球形时的密度分布。核形变时，单粒子能级会重新排布，从而导致密度分布改变。通常，在长椭球形变时，高 J 低 k 的轨道会被占据，这样密度分布可能会出现双中心的现象。计算表明，这种分布在²⁸⁰110 附近最明显^[4]。

²⁹²120 是相对论平均场预言的双幻核^[1]。上面计算结果表明，它还是一个半泡状密度分布。我们用不同的参数计算了它的位能曲面。只有 SkI3 参数和相对论平均场的结果一致。其它 Skyrme 参数和 Gongy 势^[2] 的计算都得出其是小扁椭球形变和小长椭球形变的共存态。但是它们中间的形状位垒

可能由于加入 γ 形变而消失。在图 3 中，对应于位能极小点的密度分布和球形时密度分布做了对比。可以看到，当相对球形有很小偏离时，²⁹²120 的密度中心凹陷就基本消失。为了更好地理解这种敏感变化原因，我们计算了相应的单粒子势(见图 3)。可以看出，在球形时质子势有一个中心峰，而形变时没有。这说明库仑能由于球形半泡状分布而显著下降。这种半泡状分布和形变存在一种相当的竞争。在自洽计算中，形变和密度的耦合作用使得中心凹陷在小形变时消失。类似的超重核密度研究还有文献^[17]。

图 3 计算的²⁹²120 的密度分布

(a)和(b)分别对应于图 2 中的位能极小点, (c)为球形时的密度分布; 插图是单粒子势在 Z 轴上的分布。

3 小结

本文讨论了超重核的密度和相关的理论预言。计算表明, 密度分布和壳结构有较大关系。高角动量轨道的占据会导致出现密度的中心凹陷现象。尤

其在平均场中, 由于密度反馈到势, 密度和壳结构的耦合会加强中心凹陷。但是这种凹陷在考虑形变时会减小。特别是²⁹²120 核, 密度在球形时是一个半泡状分布, 但是稍微的形变会使中心凹陷基本消失。

参 考 文 献:

- [1] Bender M, Rutz K, Reinhard P G, *et al.* Phys Rev, 1999, **C60**: 034 304.
- [2] Dechargé J, Berger J F, Dietrich K, *et al.* Phys Lett, 1999, **B451**: 275.
- [3] 裴俊琛, 许甫荣, 吴哲英等. 原子核物理评论, 2003, **20**(2): 116.
- [4] Pei J C, Xu F R, Stevenson P D. Phys Rev, 2005, **C71**: 034 302.
- [5] Xu F R, Pei J C, Stevenson P D. J Phys, 2005, **G31**: S1 541.
- [6] Bender M, Rutz K, Reinhard P G, *et al.* Euro Phys J, 2000, **A8**: 59.
- [7] Afanasjev A V, Frauendorf S. Phys Rev, 2005, **C71**: 024 308.

Density Properties of Superheavy Nuclei*

PEI Jun-chen, XU Fu-rong

(1 Center of Theoretical Nuclear Physics, National Laboratory of Heavy Ion Accelerator of Lanzhou, Lanzhou 730000, China;

2 Department of Technical Physics, School of Physics, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: We studied the densities of superheavy nuclei with the Skyrme-Hartree-Fock model. The central depressions in densities are shown in the heaviest nuclei with $Z \leq 120$ and $N \leq 178$, which is due to the high- j orbits occupied. However, calculations show that deformations have considerable effects on the density distributions, particularly in the nucleus ²⁹²120.

Key words: superheavy nuclei; density distribution; Skyrme-Hartree-Fock model