

双幻核 ^{100}Sn 的基态性质*

文万信 靳根明 钟纪泉

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

1995-02-07 收稿

摘 要

用 Skyrme-Hartree-Fock 方法计算了双幻核 ^{100}Sn 基态的一些性质. 计算表明, 由于库仑排斥, ^{100}Sn 存在一个质子皮.

关键词 双幻核, 质子皮, 库仑排斥.

^{100}Sn 核是中子数和质子数均为 50 的双幻核. 根据原子核理论, 它应该是一个稳定核. 但由于它是一个接近于质子滴线的核, 即缺中子核, 因此在实验上很难观测到. ^{100}Sn 核性质的实验研究对于检验原子核理论有着非常重要的作用. 多年来, 实验核物理学家倾注了相当大的精力观测它, 终于在 1994 年国际上有两个实验小组取得了可喜的成果. 德国 GSI 用 1095 MeV/u ^{124}Xe 束流轰击 Be 靶, 并用碎片分离器分离类弹碎片, 最后记录到 7 例质量数为 100, 质量与电荷比为 2.000 的碎片, 即 ^{100}Sn 核^[1]. 法国 GANIL 在 63MeV/u $^{112}\text{Sn} + \text{Ni}$ 反应实验中, 用 LISE 3 谱仪分析碎片的动量, 获得 11 例 ^{100}Sn 事件^[2]. 尽管还需要在实验上研究 ^{100}Sn 核的性质, 但观测到 ^{100}Sn 本身也是一项突破性的工作.

本文将对 ^{100}Sn 核的结构性质做一些理论计算. Schaffner 等人用相对论平均场模型 (relativistic mean-field model, 即 RMF) 计算了 ^{100}Sn 核的单粒子能级、中子和质子的分离能、中子和质子的密度分布, 并且预言 ^{100}Sn 存在明显的质子晕 (proton halo)^[3]. 由于库仑排斥, ^{100}Sn 核存在质子晕似乎是可能的. 本文采用 Skyrme-Hartree-Fock 方法 (SHF)^[4] 对上述性质进行研究.

SHF 所采用的 Skyrme 势是一个零程、密度和动量相关的势, 即

$$\begin{aligned} V = & t_0 (1 + x_0 P_x) \delta(\mathbf{r}_{12}) \\ & + \frac{1}{2} t_1 (1 + x_1 P_x) \{ \mathbf{p}_{12}^2 \delta(\mathbf{r}_{12}) + \delta(\mathbf{r}_{12}) \mathbf{p}_{12}^2 \} \\ & + t_2 (1 + x_2 P_x) \mathbf{p}_{12} \cdot \delta(\mathbf{r}_{12}) \mathbf{p}_{12} \end{aligned}$$

* 中国科学院基础性研究基金资助.

$$+ \frac{1}{6} t_3 (1 + x_3 P_x) \rho^2 (r) \delta(r_{12})$$

$$+ it_4 \mathbf{p}_{12} \cdot \delta(r_{12}) (\sigma_i + \sigma_j) \times \mathbf{p}_{12} ,$$

其中 $\mathbf{p}_{12} = \mathbf{p}_1 - \mathbf{p}_2$ 是相对动量, $\mathbf{r}_{12} = \mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2$ 是相对坐标, P_x 是空间交换算符, σ 是 Pauli 自旋矩阵矢量, $r = \frac{1}{2} (r_1 + r_2)$. Skyrme 势中的参数 t_i 和 x_i 由符合一些核的实验数据得到. 目前有好几组 Skyrme 势参数^[5], 我们采用 Fit- Z_σ 、SKM* 和 SKM3 三组势参数 (见表 1) 做计算, 其中 Fit- Z_σ 势参数是在拟合了大范围的核数据之后得到的.

表 1 Skyrme 势参数

参 数	t_0	t_1	t_2	t_3	t_4	x_0	x_1	x_2	x_3	α
Fit- Z_σ	-1983.76	362.25	-104.27	11861.40	123.69	1.1717	0.0	0.0	1.762	1/4
SKM*	-2645.00	410.00	-135.00	15595.00	130.00	0.0900	0.0	0.0	0.000	1/6
SKM3	-1128.75	395.00	-95.00	14000.00	120.00	0.4500	0.0	0.0	1.000	1

球形 SKH 方程通过求解 Schrödinger 方程, 自治地计算平均场和粒子波函数, 可

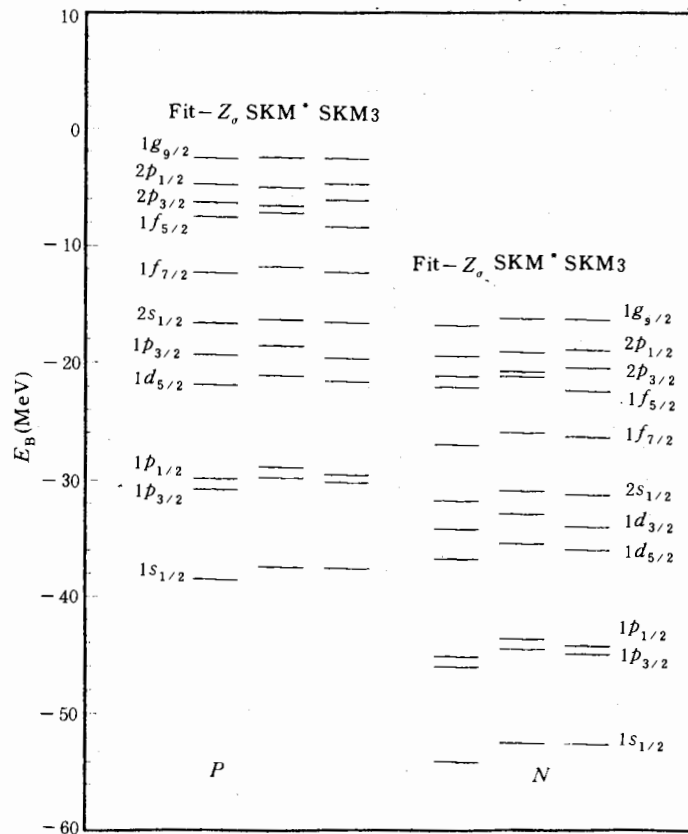


图 1 ^{100}Sn 质子和中子单粒子能级图 (由 SHF 方法得到) 计算中选中了 Fit- Z_σ 、SKM* 和 SKM3 三组 Skyrme 势参数.

以较好地计算原子核的一些基态性质. 事实上, SHF 方程能够在较大范围内非常好地拟合原子核的结合能和形状因子^[5]. 同样 RMF 模型也能够很好地给出原子核的结合能.

用 RMF 方法使用几组不同参数计算得出的¹⁰⁰Sn 的结合能约为 833MeV^[3], 用 SHF 方法采用 Fit-Z 参数得到的结合能与 RMF 方法的数值接近, 但采用 SKM* 和 SKM3 参数得到的结合能与 RMF 方法的数值相差约 20MeV. Audi 和 Wapstra 外推得到的¹⁰⁰Sn 的结合能为 824MeV^[6]. 同样用 SHF 方法计算⁹⁹Sn 和⁹⁹In 核的结合能, 它们与¹⁰⁰Sn 的结合能之差便是¹⁰⁰Sn 核的中子和质子分离能, 并且三组参数得到的¹⁰⁰Sn 的中子和质子分离能都十分接近, 分别为 15MeV 和 1MeV. ¹⁰⁰Sn 核中子分离能远大于质子分离能(见表 2).

表 2 ¹⁰⁰Sn 结合能、分离能和均方根半径

参数	E_B	S_p	S_n	$\langle rms \rangle_p^{1/2}$	$\langle rms \rangle_n^{1/2}$	$\langle rms \rangle^{1/2}$
Fit-Z	834.5	1.0	15.1	4.36	4.28	4.32
SKM*	813.9	0.9	14.5	4.43	4.35	4.39
SKM3	816.0	1.0	14.6	4.46	4.39	4.43

E_B 、 S_p 、 S_n 分别是结合能、质子和中子分离能, 单位为 MeV, 后三栏则为质子、中子和总的均方根半径, 单位为 fm.

图 1 是用 SHF 方法计算得出的¹⁰⁰Sn 核的质子和中子单粒子能级, 不难看出, 三组参数的单粒子能级图十分相象. 但是它们与用 RMF 方法得到的单粒子能级图(见图 2)之间存在着显著的差别. 造成这种现象的原因是, 两种方法的相互作用中平均场的深

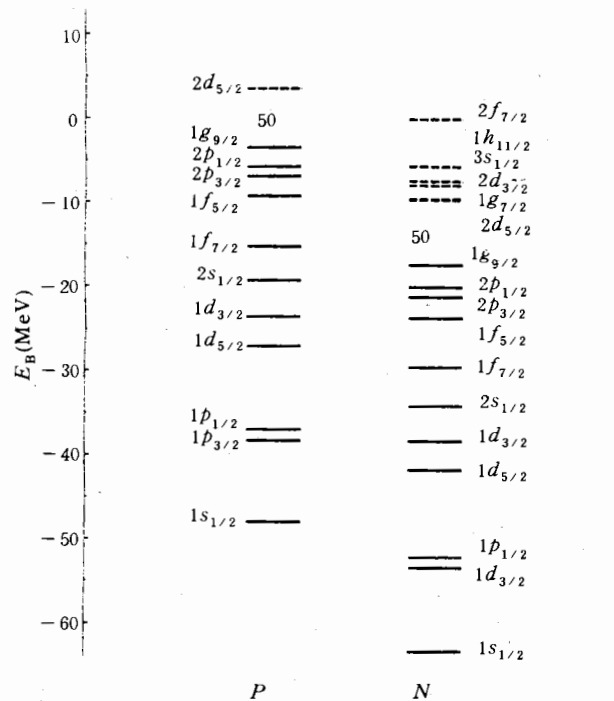


图 2 ¹⁰⁰Sn 质子和中子单粒子能级图(由 RMF 方法得到^[3])

虚线表示空粒子态.

度不同, 两种方法的中子的 $1s_{1/2}$ 能级明显地反映出了这一点. 这也是造成两种方法的结合能有一定差异的原因.

^{100}Sn 核是一个接近于质子滴线的核. 由于库仑排斥, 相对于中子密度分布而言, 质子密度分布肯定要松散一些. Schaffner 等人用 RMF 方法计算得出的结果表明, ^{100}Sn 具有明显的质子晕. 图 3 是他们计算得出的 ^{100}Sn 的密度分布, 但是, 用 SHF 方法并采用不同的势参数的计算结果与此有很大的不同. 图 4 是用 SHF 计算得到的 ^{100}Sn 密度分布, 图中从上到下所选用的势参数分别为 Fit-Z_σ、SKM* 和 SKM3, 左边是中

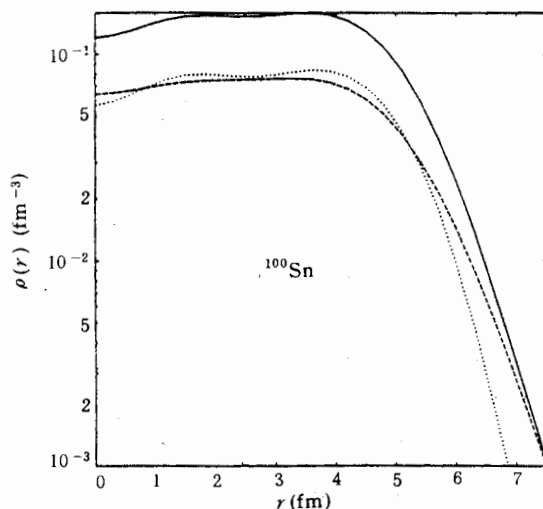


图3 ^{100}Sn 密度分布 (由 RMF 方法得到 [3])

虚线、点线和实线分别表示质子、中子和总的密度分布.

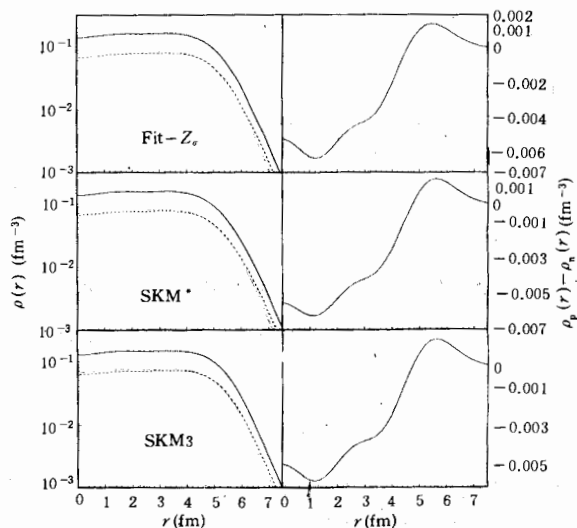


图 4 ^{100}Sn 密度分布及质子与中子密度分布之差 (由 SHF 方法得到)

左边图中各种线所代表的内容同图 3, 从上至下, 势参数分别为 Fit-Z_σ、SKM* 和 SKM3.

子、质子密度分布和总的密度分布, 右边是质子密度分布与中子密度分布之差. 三组势参数的密度分布基本相同. 从图4中看出, 在 ^{100}Sn 核的中心区($r < 4.8\text{ fm}$), 中子密度大于质子密度, 而在外围($r > 4.8\text{ fm}$), 质子密度大于中子密度, 这完全是由库仑排斥所造成的. 但是, 质子密度与中子密度之间的差异不象RMF方法的结果那样显著. 另外, ^{100}Sn 核的质子均方根半径也只是略大于中子均方根半径而已(见表2). 从SHF方法计算结果来看, 由于库仑排斥作用, ^{100}Sn 核存在一个质子皮(proton skin).

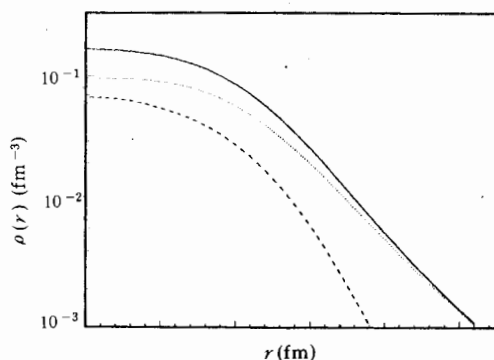


图5 ^{11}Li 密度分布(由SHF方法得到)
选用的势参数为Fit-Z。三种线所代表的内容同图3。于核势和库仑势的平衡。 ^{100}Sn 核性质的进一步实验测定, 对于检验原子核的理论和研究核力都具有相当重要的作用。

^{11}Li 被认为是一个具有中子晕的核^[7], 用SH方法也能够得出这一结论. 图5是由SHF方法并采用Fit-Z。参数计算得到的 ^{11}Li 的质子、中子和总的密度分布. 与 ^{100}Sn 不同, ^{11}Li 的中子晕是由于大的 N/Z 比引起的; 从结构方面讲, 也是由于集团结构造成的^[8].

无论是RMF方法, 还是SHF方法, 对 ^{100}Sn 核性质的分析都只是预测性质的. ^{100}Sn 是质子数和中子数均为50的双幻核, 它有一个质子皮还是有一个质子晕, 取决

于核势和库仑势的平衡。 ^{100}Sn 核性质的

参 考 文 献

- [1] R. Schneider, J. Friese, J. Renhold *et al.*, *Z. Phys.*, **A 348** (1994) 241.
- [2] M. Lewitowicz, R. Anne, G. Auger *et al.*, *Nouvelles du GANIL*, **N° 50** (1994) 3.
- [3] J. Schaffner, J. A. Maruhn, H. Stoecker *et al.*, *Z. Phys.*, **A 350** (1994) 91.
- [4] D. Vautherin, D. M. Brink, *Phys. Rev.*, **C5** (1972) 626;
P. G. Reinhard, in *Computational Nuclear Physics 1*, K. Langanke, J. A. Maruhn, S. E. Koonin eds., Springer-Verlag, (1991) 28.
- [5] J. Friedrich, P. J. Reinhard, *Phys. Rev.*, **C33** (1986) 335.
- [6] G. Audi, A. H. Wapstra, *Nucl. Phys.*, **A 565** (1993) 1.
- [7] P. G. Hansen, B. Jonson, *Europhys. Lett.*, **4** (1987) 409.
- [8] H. Sagawa, N. Takigawa, Nguyen Van Giai, *Nucl. Phys.*, **A 543** (1992) 575.

Ground-State Properties of the Doubly-Magic Nucleus ^{100}Sn

Wen Wanxin Jin Genming Zhong Jiquan

(Institute of Modern Physics, The Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000)

Received 7 February 1995

Abstract

The ground state properties of the doubly-magic nucleus ^{100}Sn are calculated with the Skyrme-Hartree-Fock method. There may be a proton skin in the ^{100}Sn nucleus due to the Coulomb repulsion.

Key words. doubly-magic nucleus, proton skin, Coulomb repulsion.