



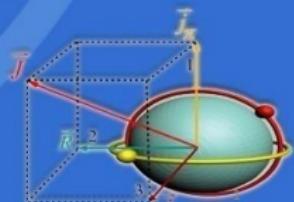
山东大学(威海)
SHANDONG UNIVERSITY, WEIHAI

TI同位素链中候选手征核的理论探索

汇报人：陆晓

导 师：亓斌

山东大学(威海) 空间科学与物理学院



目录

- ① 引言
- ② 190核区Tl同位素链中的候选手征核
 - 理论框架与数值细节
 - 奇奇核 $^{192-202}\text{Tl}$ 中的候选手征核
 - 奇A核 $^{193-199}\text{Tl}$ 中的候选手征核
- ③ 与实验观测比较
 - 粒子转子模型理论框架与数值细节
 - 粒子转子模型计算 ^{198}Tl 中的手征双重带
 - 粒子转子模型计算 ^{195}Tl 中的三准粒子手征带
- ④ 总结与展望

目录

1 引言

2 190核区Tl同位素链中的候选手征核

- 理论框架与数值细节
- 奇奇核 $^{192-202}\text{Tl}$ 中的候选手征核
- 奇A核 $^{193-199}\text{Tl}$ 中的候选手征核

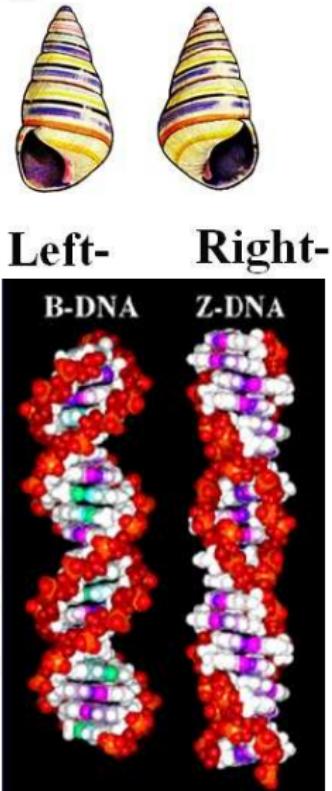
3 与实验观测比较

- 粒子转子模型理论框架与数值细节
- 粒子转子模型计算 ^{198}Tl 中的手征双重带
- 粒子转子模型计算 ^{195}Tl 中的三准粒子手征带

4 总结与展望

手征对称性

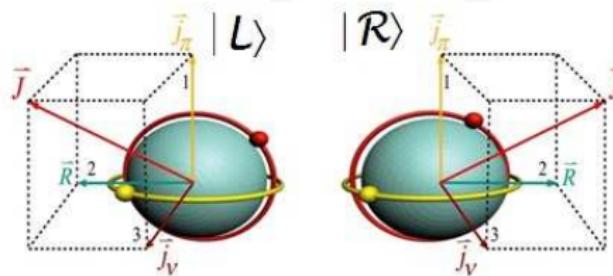
- 一个物体不能通过转动或平移操作与它的镜像重合，我们就称其具有手征性或手性；
- 手性广泛存在于自然界中。



手性原子核的理论预言和实验证实

- 1997年理论预言存在手性原子核

Frauendorf & Meng, *Nucl. Phys. A* **617**, 131 (1997)



- 2001年实验报道候选手性原子核

Starosta et al., *Phys. Rev. Lett.* **86**, 971 (2001)

VOLUME 86, NUMBER 6

PHYSICAL REVIEW LETTERS

5 FEBRUARY 2001

Chiral Doublet Structures in Odd-Odd $N = 75$ Isotones: Chiral Vibrations

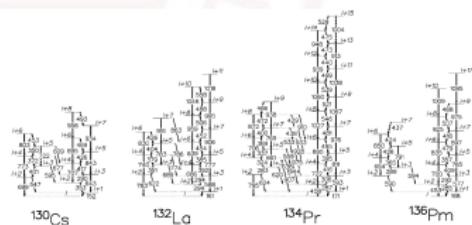
K. Starosta,^{1,*} T. Kojike,¹ C. J. Chiara,¹ D. B. Fossan,¹ D. R. LaFosse,¹ A. A. Hecht,² C. W. Beausang,² M. A. Caprio,² J. R. Cooper,² R. Krücken,² J. R. Novak,² N. V. Zamfir,^{2,*} K. E. Zyromski,² D. J. Hartley,³ D. L. Balabanski,^{3,4} Jing-ye Zhang,³ S. Frauendorf,⁴ and V.I. Dimitrov,^{4,5}

¹Department of Physics and Astronomy, SUNY at Stony Brook, Stony Brook, New York 11794

²Wright Nuclear Structure Laboratory, Yale University, New Haven, Connecticut 06520

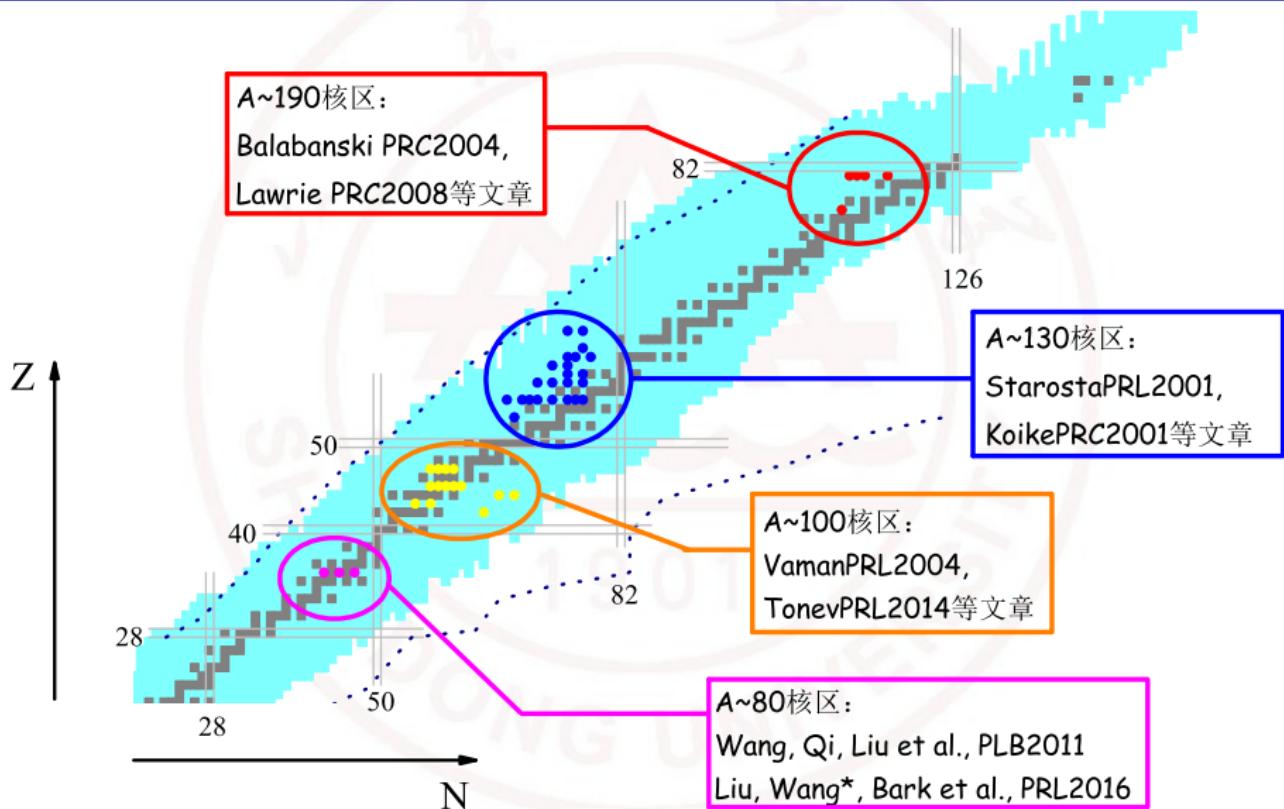
³Department of Physics and Astronomy, University of Tennessee, Knoxville, Tennessee 37996

⁴Department of Physics, University of Notre Dame, Notre Dame, Indiana 46556
and Institute for Nuclear and Hadronic Physics, Research Center Rossendorf, 01314 Dresden, Germany

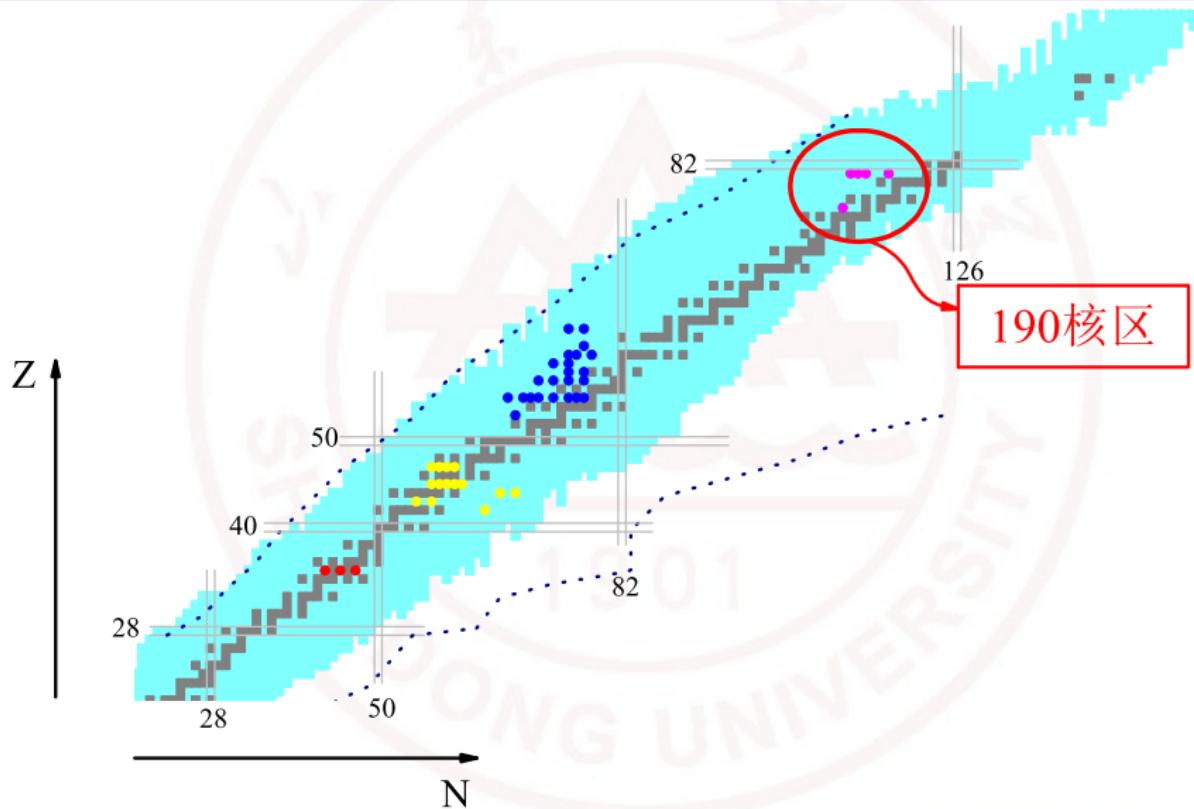


在130核区 $N=75$ 同中子素发现基于 $\pi h_{11/2} \otimes \nu h_{11/2}^{-1}$ 组态的手征双重带

实验上已经发现的手性原子核



关注的核区



手征形成的条件

理论计算什么情况下可能存在手征带？

- 高j的粒子空穴组态
- 原子核有三轴形变

Frauendorf & Meng, *Nucl. Phys. A* **617**, 131 (1997)

目录

1 引言

2 190核区Tl同位素链中的候选手征核

- 理论框架与数值细节
- 奇奇核 $^{192-202}\text{Tl}$ 中的候选手征核
- 奇A核 $^{193-199}\text{Tl}$ 中的候选手征核

3 与实验观测比较

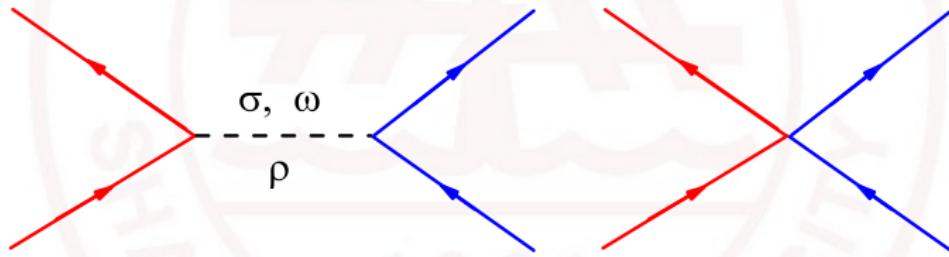
- 粒子转子模型理论框架与数值细节
- 粒子转子模型计算 ^{198}Tl 中的手征双重带
- 粒子转子模型计算 ^{195}Tl 中的三准粒子手征带

4 总结与展望

理论

相对论平均场理论(RMF)

基本出发点是利用介子交换的方式提供核力或者通过点耦合的方式构造协变密度泛函。



相关工作参考：

J. Meng, *Relativistic Density Functional for Nuclear Structure* (World Scientific, Singapore) (2015).

J. Meng, H. Toki, S.G. Zhou, S.Q. Zhang, W.H. Long and L.S. Geng, *Prog. Particle Nucl. Phys.* **57**, 470 (2006).

P. W. Zhao, Z. P. Li, J. M. Yao, and J. Meng, *Phys. Rev. C* **82**, 054319 (2010)

相关的理论工作

- ^{106}Rh : J. Meng et al., *Phys. Rev. C* **73**, 037303 (2006).
- Rhodium isotopes: J. Peng et al., *Phys. Rev. C* **77**, 024309 (2008)
- ^{106}Rh : J. M. Yao et al., *Phys. Rev. C* **79**, 067302 (2009)
- ^{105}Rh : Jian Li et al., *Phys. Rev. C* **83**, 037301 (2011)
- ^{107}Ag : B. Qi, et al., *Phys. Rev. C* **88**, 027302 (2013)
- ^{103}Rh : I. Kuti et al., *Phys. Rev. Lett.* **113**, 032501 (2014).
- Rubidium isotopes: B. Qi et al., *Phys. Rev. C* **98**, 014305 (2018).
- Bromine isotopes: B. Qi et al., *Science China* **62**(1), 12012 (2019).

PHYSICAL REVIEW C **97**, 034306 (2018)

Possible candidates for multiple chiral doublet bands in cesium isotopes

Jian Li (李剑)*

College of Physics, Jilin University, Changchun 130012, China

(Received 24 October 2017; revised manuscript received 7 January 2018; published 5 March 2018)

Following the reports of candidate chiral doublet bands observed in odd- A cesium isotopes, the triaxial deformations with corresponding configuration and the possible multiple chiral doublet (MxD) phenomenon

PHYSICAL REVIEW C **98**, 024320 (2018)

Exploring nuclear multiple chirality in the $A \approx 60$ mass region within covariant density functional theory

J. Peng^{1,*} and Q. B. Chen²

¹Department of Physics, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

²Physik-Department, Technische Universität München, D-85747 Garching, Germany

130核区:

预言 $^{125,129,131}\text{Cs}$ 中可能存在多手征带

60核区:

预言 $^{54,56-60}\text{Co}$ 中可能存在手征带, 其中 $^{54,57,60}\text{Co}$ 可能存在多手征带

数值细节

- 费米子壳选为12
- 玻色子壳选为20
- 选用PK1参数组

数值细节

固定玻色子壳为20，改变费米子壳检验收敛性

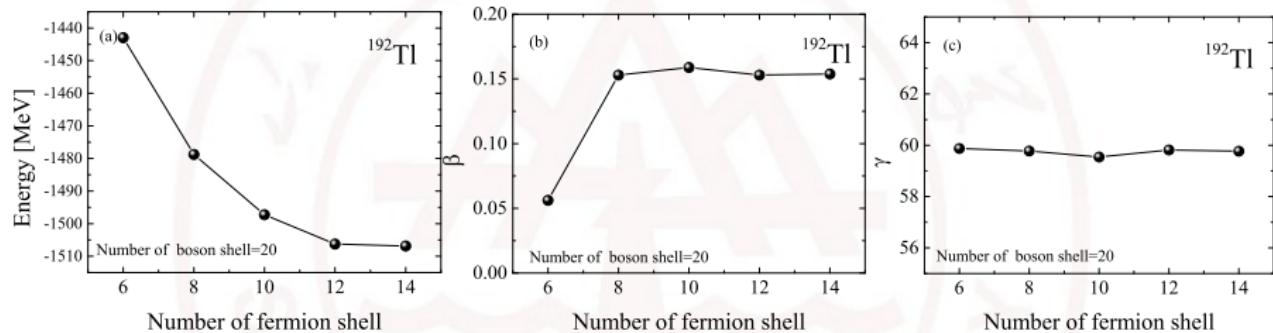


Figure: 左、中间、右图分别对应 ^{192}Tl 基态能量、四极形变 β 以及偏离轴对称形变 γ 随费米子壳的变化图。

将费米子壳从12改变到14，基态能量变化小于0.05%，因此费米子壳选为12就足以进行较好的理论描述。

数值细节

固定费米子壳为12，改变玻色子壳检验收敛性

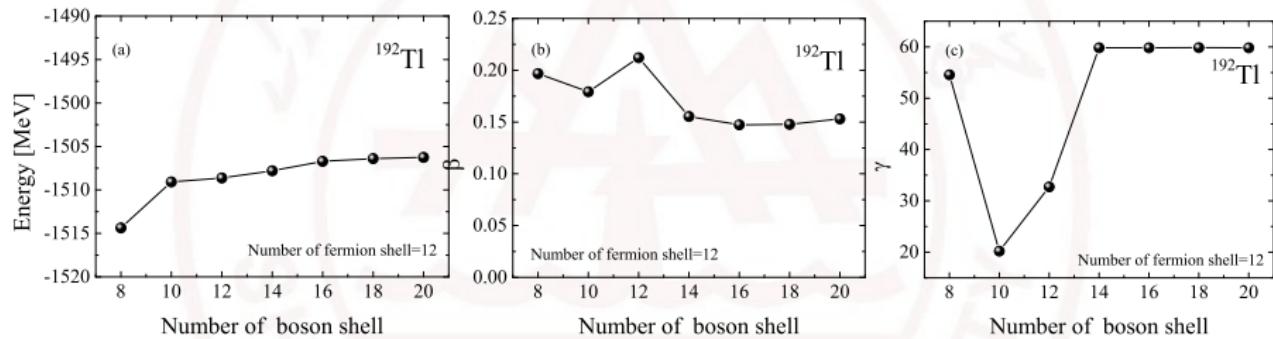


Figure: 左、中间、右图分别对应 ^{192}Tl 基态能量、四极形变 β 以及偏离轴对称形变 γ 随玻色子壳的变化图。

玻色子壳选为20。

数值细节

RMF(PK1^[1]、NL3^[2]、PC-PK1^[3]参数组)计算¹⁹²Tl

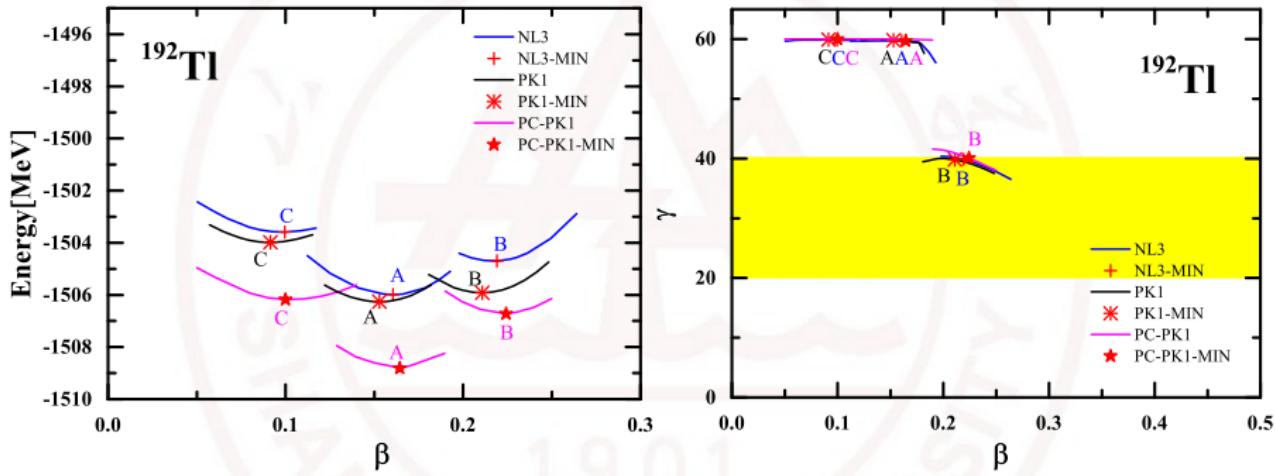


Figure: 左图为¹⁹²Tl中能量E随四极形变 β 的变化图，右图为形变参数 γ 随 β 的变化图。

[1]. W. H. Long, J. Meng, N. Van Giai, and S. G. Zhou, *Phys. Rev. C* **69**, 034319 (2004).

[2]. G. A. Lalazissis, J. König, and P. Ring, *Phys. Rev. C* **55**, 540 (1997).

[3]. P. W. Zhao, Z. P. Li, J. M. Yao, and J. Meng, *Phys. Rev. C* **82**, 054319 (2010).

数值细节

不同参数组对三轴极小点的影响

Table: 相对论平均场PK1(黑色)、NL3(蓝色)、PC-PK1(红色)参数组计算 ^{192}TI 的结果.

States	Configuration	unpair configuration	$E_{\text{tot.}}$ (MeV)	(β, γ)	E_{cal}
A	$\pi(s_{1/2}^{-2} h_{9/2}^1) \otimes \nu[(fp)^3 i_{13/2}^{-6}]$	$\pi h_{9/2}^1 \otimes \nu(fp)^1$	-1506.26	(0.15, 59.82°)	0
A	$\pi(s_{1/2}^{-2} h_{9/2}^1) \otimes \nu[(fp)^3 i_{13/2}^{-6}]$	$\pi h_{9/2}^1 \otimes \nu(fp)^1$	-1505.99	(0.16, 59.75°)	0
A	$\pi(s_{1/2}^{-2} h_{9/2}^1) \otimes \nu[(fp)^3 i_{13/2}^{-6}]$	$\pi h_{9/2}^1 \otimes \nu(fp)^1$	-1508.10	(0.16, 59.99°)	0
D	$\pi(d_{3/2}^{-2} s_{1/2}^{-2} h_{9/2}^3) \otimes \nu[(fp)^2 i_{13/2}^{-5}]$	$\pi h_{9/2}^1 \otimes \nu i_{13/2}^{-1}$	-1505.92	(0.21, 39.84°)	0.34
D	$\pi(d_{3/2}^{-2} s_{1/2}^{-2} h_{9/2}^3) \otimes \nu[(fp)^2 i_{13/2}^{-5}]$	$\pi h_{9/2}^1 \otimes \nu i_{13/2}^{-1}$	-1504.70	(0.22, 39.88°)	1.29
D	$\pi(d_{3/2}^{-2} s_{1/2}^{-2} h_{9/2}^3) \otimes \nu[(fp)^2 i_{13/2}^{-5}]$	$\pi h_{9/2}^1 \otimes \nu i_{13/2}^{-1}$	-1506.01	(0.22, 40.35°)	2.08
F	$\pi(s_{1/2}^{-1}) \otimes \nu[(fp)^2 i_{13/2}^{-5}]$	$\pi s_{1/2}^{-1} \otimes \nu i_{13/2}^{-1}$	-1503.99	(0.09, 59.93°)	2.27
F	$\pi(s_{1/2}^{-1}) \otimes \nu[(fp)^2 i_{13/2}^{-5}]$	$\pi s_{1/2}^{-1} \otimes \nu i_{13/2}^{-1}$	-1503.59	(0.10, 59.83°)	2.40
F	$\pi(s_{1/2}^{-1}) \otimes \nu[(fp)^2 i_{13/2}^{-5}]$	$\pi s_{1/2}^{-1} \otimes \nu i_{13/2}^{-1}$	-1505.49	(0.10, 60.00°)	2.64

奇奇核 ^{192}Tl 的理论计算结果

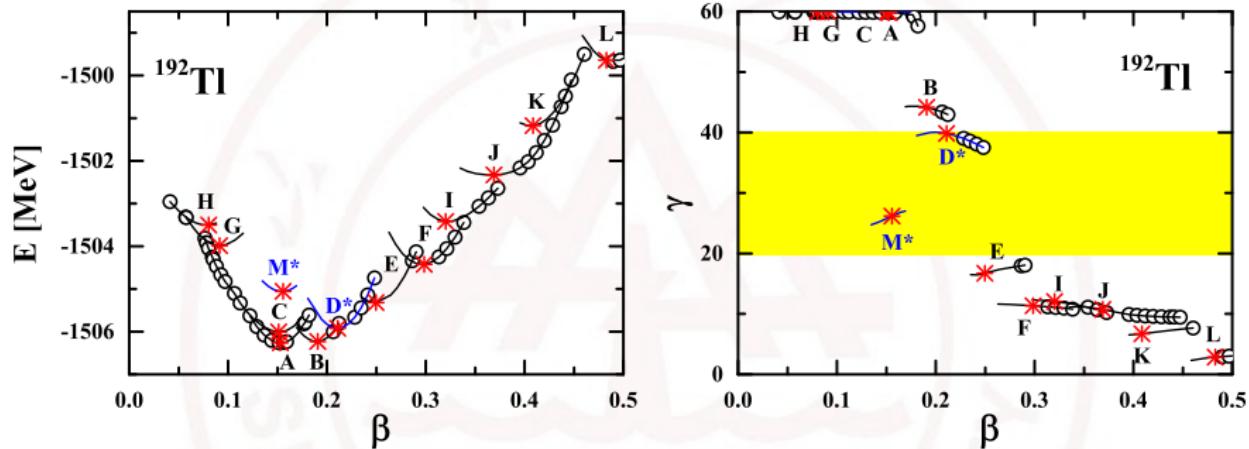


Figure: 左图为 ^{192}Tl 中能量E随四极形变 β 的变化图, 右图为形变参数 γ 随 β 的变化图。

- 相对论平均场计算, 采用PK1参数。
- 圆圈○表示自然收敛得到的点, 实线—表示固定组态计算得到的点, 红色星花*表示势能极小值点, 蓝色表示可能存在手征组态。

192Tl组态信息

Table1: 通过组态固定约束的三轴相对论平均场计算得到的¹⁹²Tl的总能量 E_{tot} , 三轴形变(β, γ), 以及A-L态极小值对应的价核子组态。其中价质子组态参照80壳, 价中子组态参照114壳(126壳除去 $f_{5/2}, p_{3/2}, p_{1/2}$ 轨道)。合适的手征组态通过蓝色标出。

States	Configuration		E_{tot} (MeV)	(β, γ)	$E_x(cal.)$ (MeV)
	Valence nucleons	Unpaired nucleons			
A	$\pi(s_{1/2}^{-2}h_{9/2}^1) \otimes \nu[(fp)^3 i_{13/2}^{-6}]$	$\pi h_{9/2}^1 \otimes \nu p_{3/2}^{-1}$	-1506.26	(0.15, 59.82°)	0
B	$\pi(d_{3/2}^{-1}s_{1/2}^{-2}h_{9/2}^2) \otimes \nu[(fp)^2 i_{13/2}^{-5}]$	$\pi d_{3/2}^{-1} \otimes \nu i_{13/2}^{-1}$	-1506.23	(0.19, 44.15°)	0.03
C	$\pi(s_{1/2}^{-2}h_{9/2}^1) \otimes \nu[(fp)^2 i_{13/2}^{-5}]$	$\pi h_{9/2}^1 \otimes \nu i_{13/2}^{-1}$	-1506.00	(0.15, 59.94°)	0.26
D*	$\pi(d_{3/2}^{-2}s_{1/2}^{-2}h_{9/2}^3) \otimes \nu[(fp)^2 i_{13/2}^{-5}]$	$\pi h_{9/2}^1 \otimes \nu i_{13/2}^{-1}$	-1505.92	(0.21, 39.84°)	0.34
E	$\pi(d_{3/2}^{-2}s_{1/2}^{-2}h_{11/2}^{-2}h_{9/2}^5) \otimes \nu[f_{7/2}^{-2}(fp)^3 i_{13/2}^{-4}]$	$\pi h_{9/2}^1 \otimes \nu f_{5/2}^{-1}$	-1505.32	(0.25, 16.72°)	0.94
F	$\pi(d_{3/2}^{-2}s_{1/2}^{-2}h_{11/2}^{-2}h_{9/2}^5) \otimes \nu[h_{9/2}^{-2}f_{7/2}^{-2}(fp)^4 i_{13/2}^{-4} i_{11/2}^1]$	$\pi h_{9/2}^1 \otimes \nu i_{11/2}^1$	-1504.42	(0.30, 11.35 °)	1.84
G	$\pi(s_{1/2}^{-1}) \otimes \nu[(fp)^2 i_{13/2}^{-5}]$	$\pi s_{1/2}^{-1} \otimes \nu i_{13/2}^{-1}$	-1503.99	(0.09, 59.93°)	2.27
H	$\pi(s_{1/2}^{-1}) \otimes \nu[(fp)^1 i_{13/2}^{-4}]$	$\pi s_{1/2}^{-1} \otimes \nu f_{5/2}^{-1}$	-1503.50	(0.08, 59.94°)	2.76
I	$\pi(d_{3/2}^{-2}s_{1/2}^{-2}h_{11/2}^{-2}h_{9/2}^5) \otimes \nu[h_{9/2}^{-2}f_{7/2}^{-2}(fp)^3 i_{13/2}^{-4} i_{11/2}^2]$	$\pi h_{9/2}^1 \otimes \nu f_{5/2}^{-1}$	-1503.42	(0.32, 12.04°)	2.84
J	$\pi(d_{3/2}^{-2}s_{1/2}^{-2}h_{11/2}^{-2}h_{9/2}^5) \otimes \nu[h_{9/2}^{-2}f_{7/2}^{-2}(fp)^2 i_{13/2}^{-4} i_{11/2}^3]$	$\pi h_{9/2}^1 \otimes \nu i_{11/2}^1$	-1502.33	(0.37, 10.73°)	3.93
K	$\pi(d_{3/2}^{-2}s_{1/2}^{-2}h_{11/2}^{-4}h_{9/2}^5 i_{13/2}^2) \otimes \nu(f_{7/2}^{-3}i_{13/2}^{-4}i_{11/2}^2 g_{7/2}^2)$	$\pi h_{9/2}^1 \otimes \nu f_{7/2}^{-1}$	-1501.17	(0.41, 6.73°)	5.09
L	$\pi(d_{5/2}^{-2}d_{3/2}^{-4}s_{1/2}^{-2}i_{13/2}^4 h_{9/2}^4 h_{11/2}^{-1}) \otimes \nu(f_{7/2}^{-4}i_{13/2}^{-5} i_{11/2}^2 g_{7/2}^4)$	$\pi h_{11/2}^{-1} \otimes \nu i_{13/2}^{-1}$	-1499.64	(0.48, 2.84°)	6.62
M*	$\pi(s_{1/2}^{-2}h_{9/2}^1) \otimes \nu[f_{7/2}^{-2}(fp)^2 i_{13/2}^{-3}]$	$\pi h_{9/2}^1 \otimes \nu i_{13/2}^{-1}$	-1505.06	(0.16, 26.17°)	1.20

192,194,196Tl的理论计算结果

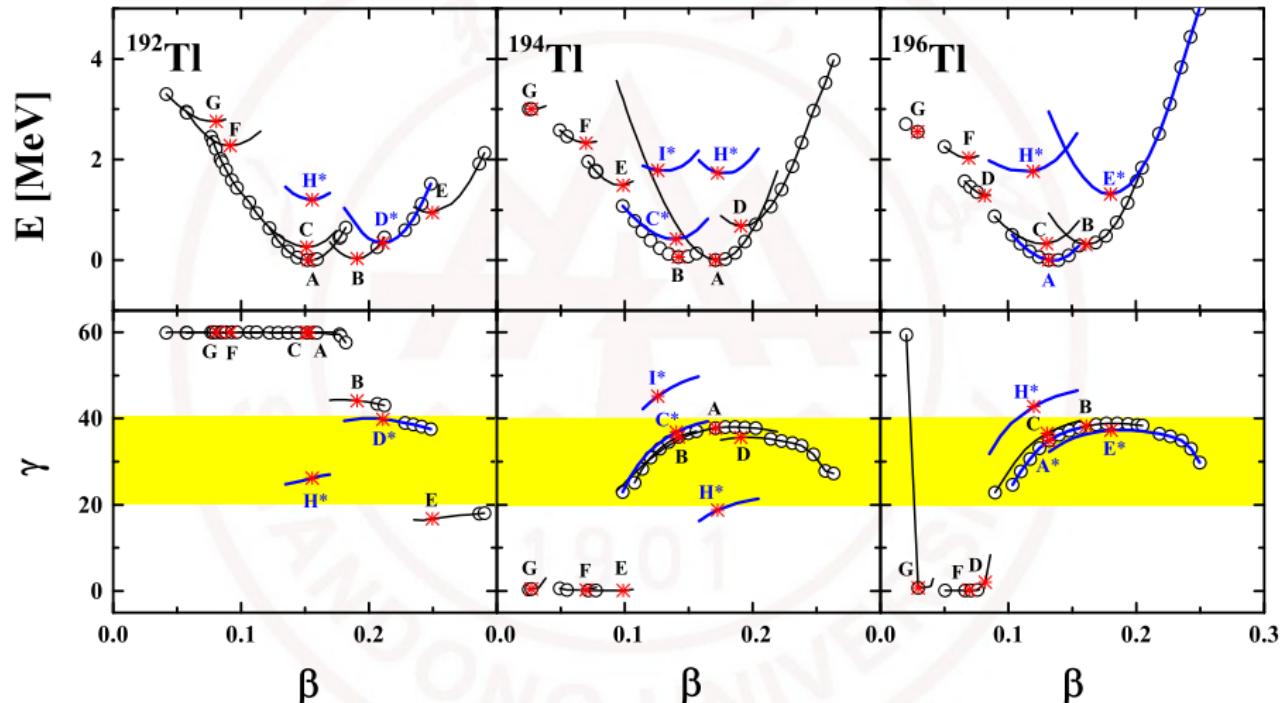


Figure: 上图为利用绝热与组态固定约束的三轴相对平均场理论计算得到 $^{192,193,196}\text{Tl}$ 的能量随形变 β 的变化, 下图为形变 γ 随 β 的变化图。

198,200,202Tl的理论计算结果

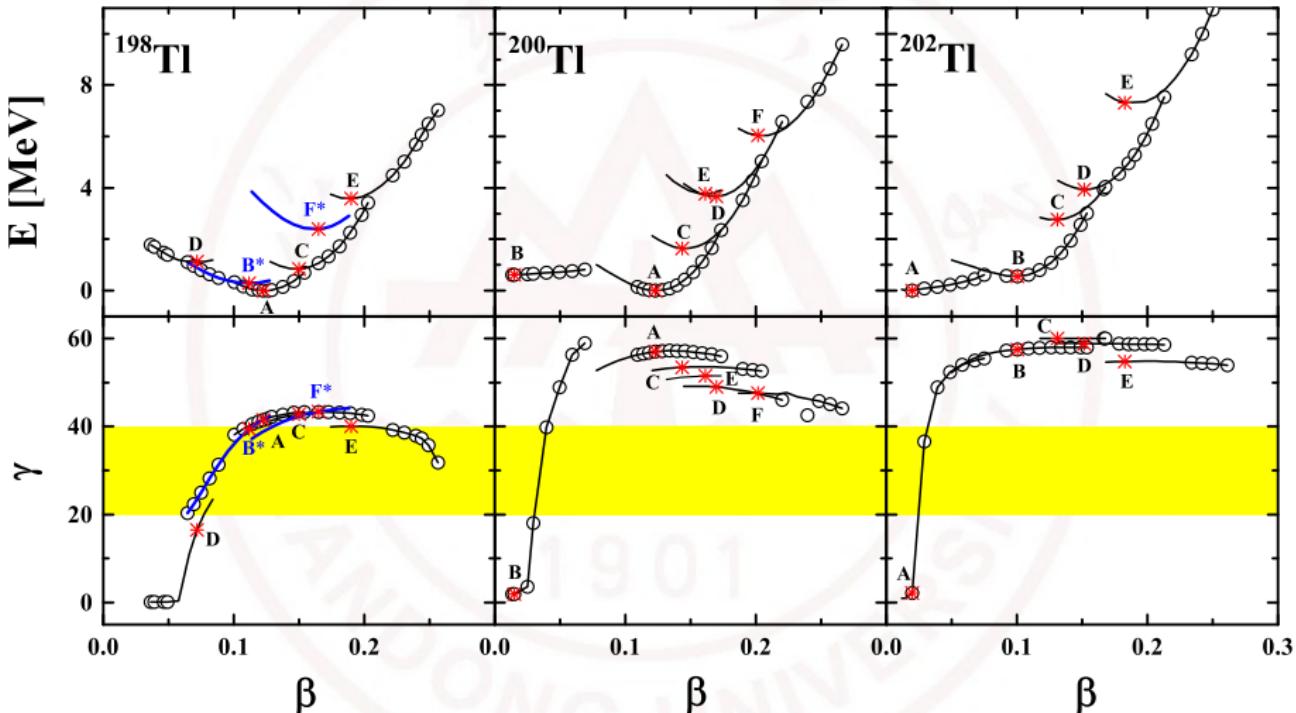


Figure: 上图为利用绝热与组态固定约束的三轴相对平均场理论计算得到 $^{198,200,202}\text{Tl}$ 的能量随形变的变化，下图为形变 γ 随 β 的变化图。

198,200,202Tl手征组态信息

Table3: 相对论平均场计算所得奇奇核^{192–200}Tl中的手征组态, 形变值(β, γ), 以及相对激发能 $E_x(\text{cal.})$.

Nuclei	States	Configuration		E_{tot}	(β, γ)	$E_x(\text{cal.})$
		Valence nucleons	Unpaired nucleons			
¹⁹² Tl	D*	$\pi(d_{3/2}^{-2}s_{1/2}^{-2}h_{9/2}^3) \otimes \nu[(fp)^2i_{13/2}^{-5}]$	$\pi h_{9/2}^1 \otimes \nu i_{13/2}^{-1}$	-1505.92	(0.21, 39.84°)	0.34
	H*	$\pi(s_{1/2}^{-2}h_{9/2}^1) \otimes \nu[f_{7/2}^{-2}(fp)^2i_{13/2}^{-3}]$	$\pi h_{9/2}^1 \otimes \nu i_{13/2}^{-1}$	-1505.06	(0.16, 26.17°)	1.20
¹⁹⁴ Tl	C* ^a	$\pi(s_{1/2}^{-2}h_{9/2}^1) \otimes \nu[(fp)^2i_{13/2}^{-3}]$	$\pi h_{9/2}^1 \otimes \nu i_{13/2}^{-1}$	-1522.77	(0.14, 36.81°)	0.42
	H*	$\pi(d_{3/2}^{-2}s_{1/2}^{-2}h_{9/2}^3) \otimes \nu[(fp)^2i_{13/2}^{-3}]$	$\pi h_{9/2}^1 \otimes \nu i_{13/2}^{-1}$	-1521.46	(0.17, 18.80°)	1.73
¹⁹⁶ Tl	I*	$\pi(s_{1/2}^{-2}h_{9/2}^1) \otimes \nu[(fp)^2i_{13/2}^{-3}]$	$\pi h_{9/2}^1 \otimes \nu i_{13/2}^{-3}$	-1521.42	(0.13, 45.19°)	1.78
	A*	$\pi(s_{1/2}^{-2}h_{9/2}^1) \otimes \nu[(fp)^4i_{13/2}^{-3}]$	$\pi h_{9/2}^1 \otimes \nu i_{13/2}^{-1}$	-1539.43	(0.13, 34.88°)	0
¹⁹⁸ Tl	E*	$\pi(d_{3/2}^{-2}s_{1/2}^{-2}h_{9/2}^3) \otimes \nu[(fp)^4i_{13/2}^{-3}]$	$\pi h_{9/2}^1 \otimes \nu i_{13/2}^{-1}$	-1538.12	(0.18, 37.26°)	1.31
	H*	$\pi(s_{1/2}^{-2}h_{9/2}^1) \otimes \nu[(fp)^2i_{13/2}^{-1}]$	$\pi h_{9/2}^1 \otimes \nu i_{13/2}^{-1}$	-1,537.67	(0.12, 42.75°)	1.77
²⁰⁰ Tl	B* ^b	$\pi(s_{1/2}^{-2}h_{9/2}^1) \otimes \nu[(fp)^4i_{13/2}^{-1}]$	$\pi h_{9/2}^1 \otimes \nu i_{13/2}^{-1}$	-1557.56	(0.11, 39.43°)	0.28
	F*	$\pi(d_{3/2}^{-2}s_{1/2}^{-2}h_{9/2}^3) \otimes \nu[(fp)^4i_{13/2}^{-1}]$	$\pi h_{9/2}^1 \otimes \nu i_{13/2}^{-1}$	-1555.44	(0.16, 43.32°)	2.40

a: P. L. Masiteng, E. A. Lawrie, and T. M. Ramashidzha et al. *AIP Conference Proceedings*, **1377**, 392 (2011).

b: E. A. Lawrie, P. A. Vymers, and Ch. Vieu et al. *Eur. Phys. J. A*, **45**, 39 – 50 (2010).

实验与理论计算对比结果

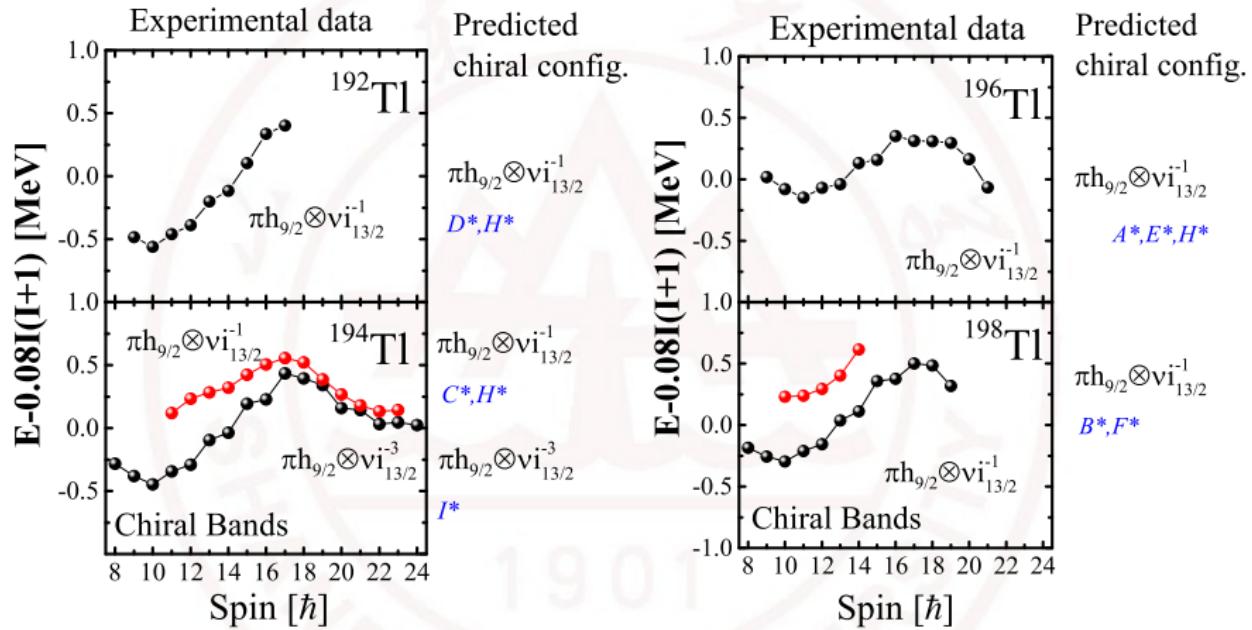


Figure: $^{192,194,196,198}\text{Tl}$ 实验指定组态对应的激发能，理论预言的手征组态给在相应的核右边，其中 ^{194}Tl 与 ^{198}Tl 实验已发现存在手征。

^{192}Tl : Kreiner, et al., *Phys. Rev. C*, **21**, 933 (1980). ^{194}Tl : Masiteng, et al., *AIP Conference Proceedings*, **1377**, 392 (2011).

^{196}Tl : Kreiner, et al., *Nucl. Phys. A*, **308**, 147- 160 (1978)

^{198}Tl : Lawrie, et al., *Eur. Phys. J. A*, **45**, 39 – 50 (2010).

^{200}Tl : Bhattacharya, et al., *Phys. Rev. C*, **95**, 014301 (2017).

193,195,197,199 Tl 的理论计算结果

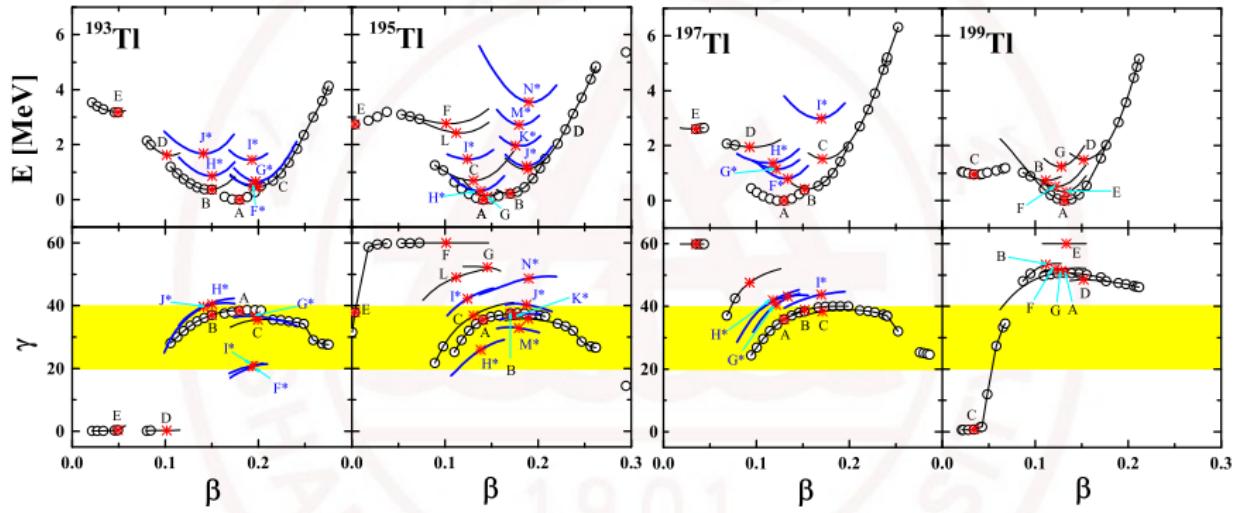


Figure: 利用绝热与组态固定约束的三轴相对平均场理论计算得到 $^{193,195,197,199}\text{Tl}$ 的能量随形变的变化。

193–199Tl手征组态信息

Table3: 相对论平均场计算所得奇A核^{193,195}Tl中的手征组态, 形变值(β, γ), 以及相对激发能 $E_x(cal.)$.

Nuclei	States	Configuration		E_{tot}	(β, γ)	$E_x(cal.)$
		Valence nucleons	Unpaired nucleons			
¹⁹³ Tl	F*	$\pi(d_{3/2}^{-2}s_{1/2}^{-2}h_{9/2}^3) \otimes \nu[f_{7/2}^{-2}(fp)^4i_{13/2}^{-3}i_{13/2}^{-1}]$	$\pi h_{9/2}^1 \otimes \nu(i_{13/2}^{-1}i_{13/2}^{-1})$	-1514.27	(0.19,20.64°)	0.53
	G*	$\pi(d_{3/2}^{-2}s_{1/2}^{-2}h_{9/2}^3) \otimes \nu[f_{7/2}^{-2}(fp)^3i_{13/2}^{-3}]$	$\pi h_{9/2}^1 \otimes \nu[(fp)^1i_{13/2}^{-1}]$	-1514.13	(0.20,36.63°)	0.67
	H*	$\pi(s_{1/2}^{-2}h_{9/2}^1) \otimes \nu[(fp)^3i_{13/2}^{-5}]$	$\pi h_{9/2}^1 \otimes \nu[(fp)^1i_{13/2}^{-1}]$	-1513.94	(0.15,40.44°)	0.86
	I*	$\pi(d_{3/2}^{-2}s_{1/2}^{-2}h_{9/2}^3) \otimes \nu[(fp)^3i_{13/2}^{-5}]$	$\pi h_{9/2}^1 \otimes \nu[(fp)^1i_{13/2}^{-1}]$	-1513.36	(0.19,20.83°)	1.44
	J* ^a	$\pi(s_{1/2}^{-2}h_{9/2}^1) \otimes \nu[(fp)^2i_{13/2}^{-3}i_{13/2}^{-1}]$	$\pi h_{9/2}^1 \otimes \nu(i_{13/2}^{-1}i_{13/2}^{-1})$	-1513.13	(0.14,39.64°)	1.67
¹⁹⁵ Tl	H*	$\pi(s_{1/2}^{-2}h_{9/2}^1) \otimes \nu(f_{7/2}^{-1}(fp)^4i_{13/2}^{-3})$	$\pi h_{9/2}^1 \otimes \nu(f_{7/2}^{-1}i_{13/2}^{-1})$	-1531.20	(0.14,25.91°)	0.32
	I*	$\pi(s_{1/2}^{-2}h_{9/2}^1) \otimes \nu[(fp)^2i_{13/2}^{-1}i_{13/2}^{-1}]$	$\pi h_{9/2}^1 \otimes \nu(i_{13/2}^{-1}i_{13/2}^{-1})$	-1530.06	(0.12,42.20°)	1.46
	J* ^b	$\pi(d_{3/2}^{-2}s_{1/2}^{-2}h_{9/2}^3) \otimes \nu[(fp)^4i_{13/2}^{-3}i_{13/2}^{-1}]$	$\pi h_{9/2}^1 \otimes \nu(i_{13/2}^{-1}i_{13/2}^{-1})$	-1530.31	(0.19,40.30°)	1.21
	K*	$\pi(d_{3/2}^{-2}s_{1/2}^{-2}h_{9/2}^3) \otimes \nu[(fp)^3i_{13/2}^{-3}]$	$\pi h_{9/2}^1 \otimes \nu[(fp)^1i_{13/2}^{-1}]$	-1529.56	(0.18,36.86°)	1.96
	M*	$\pi(d_{3/2}^{-2}s_{1/2}^{-2}h_{9/2}^3) \otimes \nu[(fp)^5i_{13/2}^{-5}]$	$\pi h_{9/2}^1 \otimes \nu[(fp)^1i_{13/2}^{-1}]$	-1528.81	(0.18,32.87°)	2.71
¹⁹⁷ Tl	N* ^b	$\pi(d_{3/2}^{-2}s_{1/2}^{-2}h_{9/2}^2i_{13/2}^1) \otimes \nu(p_{1/2}^{-2}p_{3/2}^{-4}f_{5/2}^{-3}i_{13/2}^{-3})$	$\pi i_{13/2}^1 \otimes \nu f_{5/2}^{-1}i_{13/2}^{-3}$	-1527.98	(0.19,48.69°)	3.54

a: J. Ndayishimyea, E.A. Lawriea, and O. Shirinda et al. *Acta Physica Polonica B*, **48**, 343 (2017).

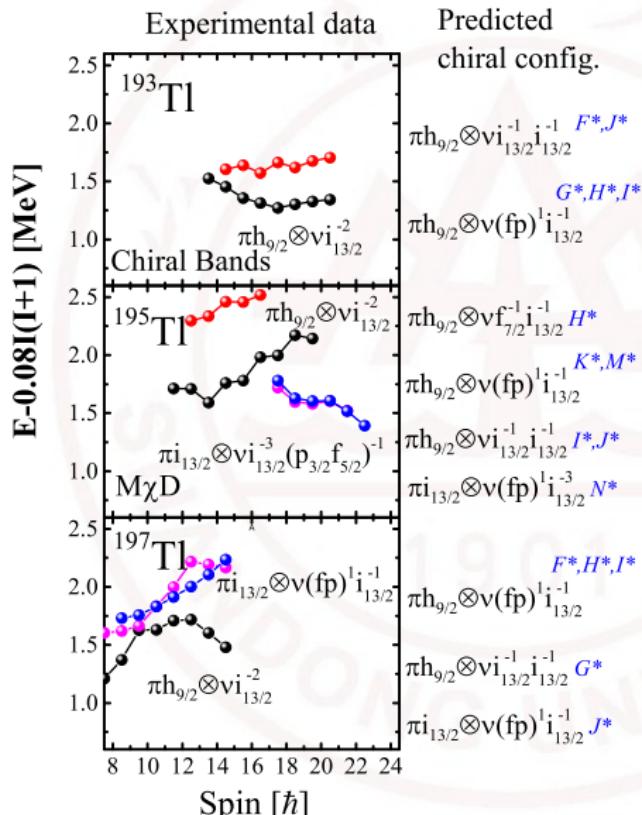
b: T. Roy, G. Mukherjee, and Md.A. Asgar et al. *Physics Letters B* , **782**, 768 – 772 (2018).

193–199Tl手征组态信息

Table3: 相对论平均场计算所得奇A核¹⁹⁷Tl中的手征组态, 形变值(β, γ), 以及相对激发能 $E_x(\text{cal.})$.

Nuclei	States	Configuration		E_{tot}	(β, γ)	$E_x(\text{cal.})$
		Valence nucleons	Unpaired nucleons			
¹⁹⁷ Tl	F*	$\pi(s_{1/2}^{-2} h_{9/2}^1) \otimes \nu[(fp)^5 i_{13/2}^{-3}]$	$\pi h_{9/2}^1 \otimes \nu[(fp)^1 i_{13/2}^{-1}]$	-1546.73	(0.13, 43.18°)	0.8
	G*	$\pi(s_{1/2}^{-2} h_{9/2}^1) \otimes \nu[(fp)^4 i_{13/2}^{-1} i_{13/2}^{-1}]$	$\pi h_{9/2}^1 \otimes \nu(i_{13/2}^{-1} i_{13/2}^{-1})$	-1546.38	(0.12, 40.51°)	1.15
	H*	$\pi(s_{1/2}^{-2} h_{9/2}^1) \otimes \nu[(fp)^3 i_{13/2}^{-1}]$	$\pi h_{9/2}^1 \otimes \nu[(fp)^1 i_{13/2}^{-1}]$	-1546.17	(0.12, 41.97°)	1.36
	I*	$\pi(d_{3/2}^{-2} s_{1/2}^{-2} h_{9/2}^3) \otimes \nu[(fp)^3 i_{13/2}^{-1}]$	$\pi h_{9/2}^1 \otimes \nu[(fp)^1 i_{13/2}^{-1}]$	-1544.54	(0.17, 43.72°)	2.99
	J*	$\pi(s_{1/2}^{-2} i_{13/2}^1) \otimes \nu[(fp)^3 i_{13/2}^{-1}]$	$\pi i_{13/2}^1 \otimes \nu[(fp)^1 i_{13/2}^{-1}]$	-1542.89	(0.12, 43.29°)	4.64

实验与理论计算对比结果



$^{193, 195, 197}\text{Tl}$ 实验指定组态对应的激发能，理论预言的手征组态给在相应的核右边，其中 ^{193}Tl 与 ^{195}Tl 实验已发现存在手征。

^{193}Tl : J. Ndayishimye et al., *Acta Physica Polonica B*, **48**, 343 (2017).

^{195}Tl : T. Roy et al., *Physics Letters B*, **782**, 768 - 772 (2018).

^{197}Tl : H. Pai et al., *Phys. Rev. C* **88**, 064302 (2013).

目录

1 引言

2 190核区Tl同位素链中的候选手征核

- 理论框架与数值细节
- 奇奇核 $^{192-202}\text{Tl}$ 中的候选手征核
- 奇A核 $^{193-199}\text{Tl}$ 中的候选手征核

3 与实验观测比较

- 粒子转子模型理论框架与数值细节
- 粒子转子模型计算 ^{198}Tl 中的手征双重带
- 粒子转子模型计算 ^{195}Tl 中的三准粒子手征带

4 总结与展望

理论框架

总的哈密顿量：

$$\hat{H} = \hat{H}_{\text{coll}} + \hat{H}_{\text{intr}} \quad (1)$$

集体转子哈密顿量：

$$\hat{H}_{\text{coll}} = \sum_{k=1}^3 \frac{\hat{R}_k^2}{2\mathcal{J}_k} = \sum_{k=1}^3 \frac{(\hat{I}_k - \hat{J}_k)^2}{2\mathcal{J}_k} \quad (2)$$

其中，转动惯量： $\mathcal{J}_k = \mathcal{J}_0 \sin^2(\gamma - 2\pi k/3)$

价核子的内禀哈密顿量：

$$\hat{H}_{\text{intr}} = \sum_{\nu} \varepsilon_{p,\nu} a_{p,\nu}^+ a_{p,\nu} + \sum_{\nu'} \varepsilon_{n,\nu'} a_{n,\nu'}^+ a_{n,\nu'} \quad (3)$$

B. Qi, et al., Phys. Lett. B 675, 175-180 (2009).

理论框架

单粒子态：

$$a_\nu^+ |0\rangle = \sum_{\alpha\Omega} c_{\alpha\Omega}^{(\nu)} |\alpha, \Omega\rangle, \quad a_{\bar{\nu}}^+ |0\rangle = \sum_{\alpha\Omega} (-1)^{j-\Omega} c_{\alpha\Omega}^{(\nu)} |\alpha, -\Omega\rangle \quad (4)$$

价核子内禀波函数：

$$|\varphi\rangle = \left(\prod_{i=1}^{z_1} a_{p,v_i}^\dagger \right) \left(\prod_{i=1}^{z_2} a_{p,\bar{\mu}_i}^\dagger \right) \left(\prod_{i=1}^{n_1} a_{n,v'_i}^\dagger \right) \left(\prod_{i=1}^{n_2} a_{n,\bar{\mu}'_i}^\dagger \right) |0\rangle \quad (5)$$

总的波函数：

$$|IM\rangle = \sum_{K\varphi} c_{K\varphi} |IMK\varphi\rangle \quad (6)$$

其中

$$|IMK\varphi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2(1 + \delta_{K0}\delta_{\varphi,\bar{\varphi}})}} (|IMK\rangle|\varphi\rangle + (-1)^{I-K}|IM-K\rangle|\bar{\varphi}\rangle) \quad (7)$$

B. Qi, et al., Phys. Lett. B 675, 175-180 (2009).

数值细节

- C系数: $C = \frac{38.8(N+3/2)}{j(j+1)} A^{-1/3} \beta$
- g因子: $g(p(n)) = g_{p(n)} - g_R, \quad g_R = Z/A$
- 电四极矩: $Q_0 = (3/\sqrt{5\pi}) R_0^2 Z \beta, \quad R_0 = 1.2 A^{1/3} fm$
- 形变参数: β, γ
- 转动惯量: ROI , 可调节, 调节大小由能谱符合所决定

粒子转子模型计算 ^{198}TI 中的手征双重带

粒子转子模型[1]计算 ^{198}TI 中的手征双重带

组态: $\pi h_{9/2}^1 \otimes \nu i_{13/2}^{-1}$; 形变: $\beta = 0.11, \gamma = 39.43^\circ$; 转动惯量:23

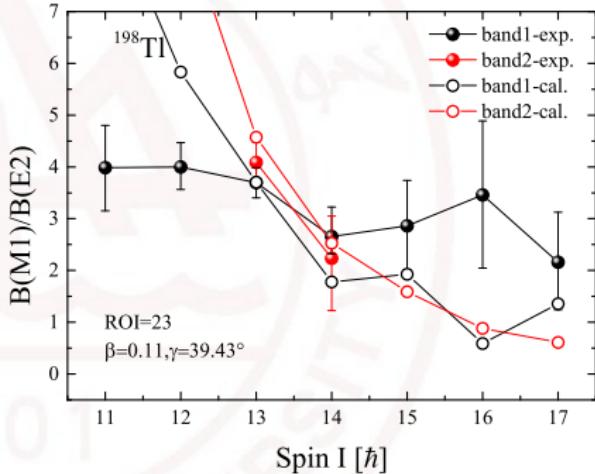
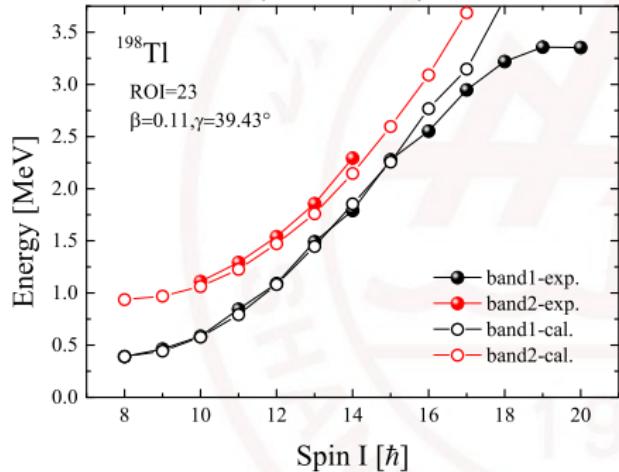


Figure: 粒子转子模型计算 ^{198}TI 中手征双重带的能谱与电磁跃迁几率。

其中实验部分取自文献[2]。

- [1]. B. Qi, et al., *Phys. Rev. C* **79**, 041302(R) (2009).
- [2]. P. L. Masiteng, et al., *Eur.Phys. J. A.* **45**, 39 (2010).

粒子转子模型计算 ^{198}Tl 中的手征双重带

文献[1]对 ^{198}Tl 中手征双重带的计算结果

组态: $\pi h_{9/2}^1 \otimes \nu i_{13/2}^{-1}$; 形变: $\beta = 0.15, \gamma = 44^\circ$;

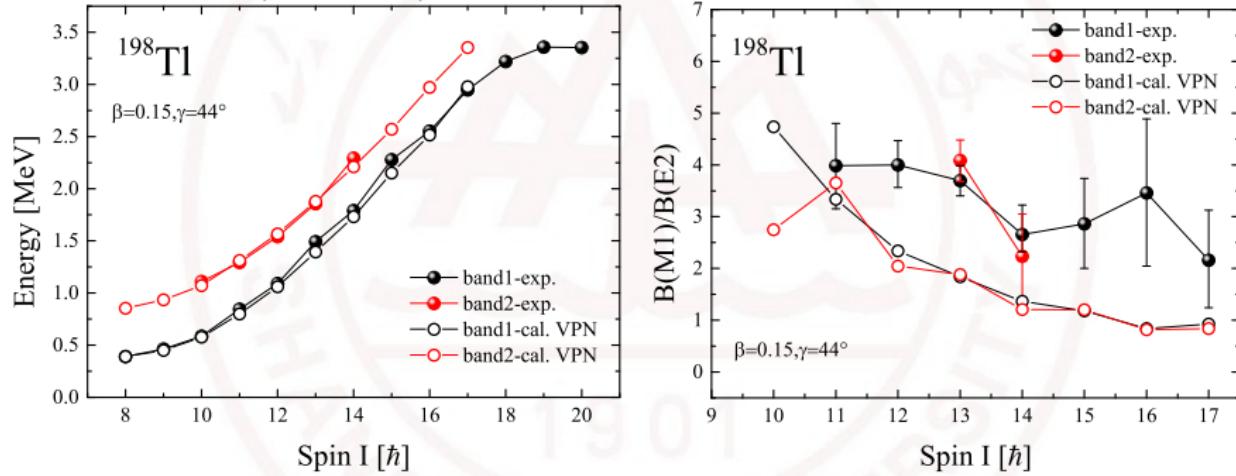


Figure: 粒子转子模型（考虑质子中子相互作用）计算 ^{198}Tl 中手征双重带的能谱与电磁跃迁几率。该图取自文献[1]。

[1]. P. L. Masiteng, et al., *Eur.Phys. J. A.* **45**, 39 (2010).

粒子转子模型计算 ^{195}TI 中的手征双重带

多准粒子转子模型[1]计算 ^{195}TI 中的三准粒子手征带

组态: $\pi h_{9/2}^1 \otimes \nu i_{13/2}^{-2}$; 形变: $\beta_2 = 0.19, \gamma = 40.2^\circ$; 转动惯量:10

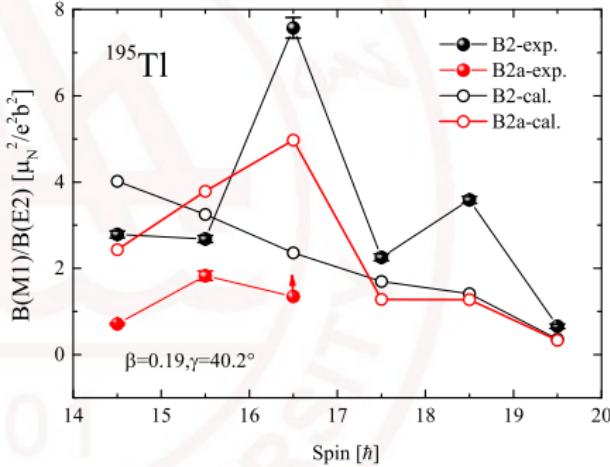
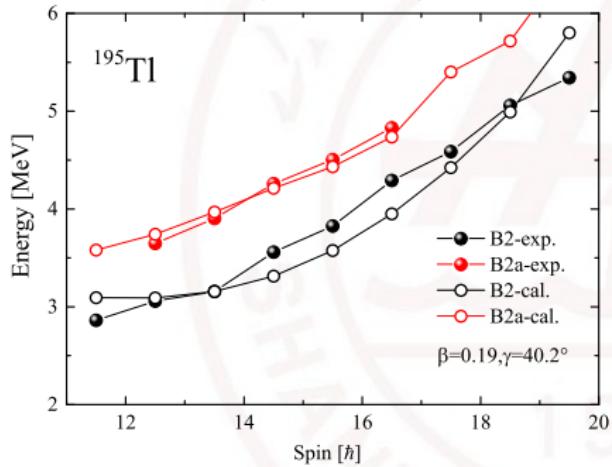


Figure: 粒子转子模型计算 ^{195}TI 中手征双重带的能谱与电磁跃迁几率。

实验数据取自文献[2]。

[1]. B. Qi, et al., *Phys. Lett. B* **675**, 175-180 (2009).

[2]. T. Roy, et al., *Phys. Lett. B* **782**, 768 (2018).

粒子转子模型计算 ^{195}Tl 中的手征双重带

粒子转子模型[1]计算 ^{195}Tl 中的三准粒子手征带

组态: $\pi h_{9/2}^1 \otimes \nu i_{13/2}^{-2}$; B2带形变: $\beta_2 = 0.19, \gamma = 30.5^\circ$; B2a带形

变: $\beta_2 = 0.19, \gamma = 48^\circ$; 转动惯量: 10

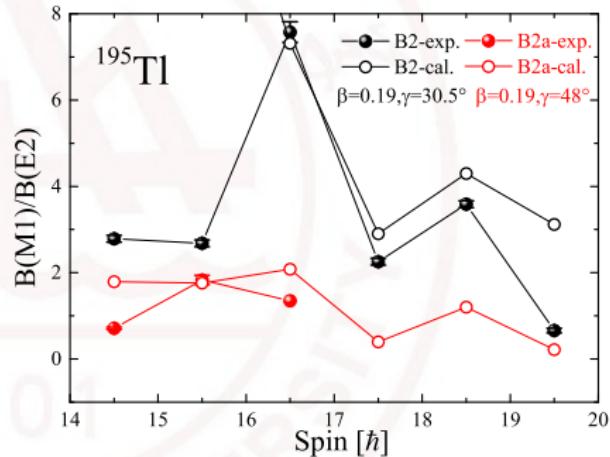
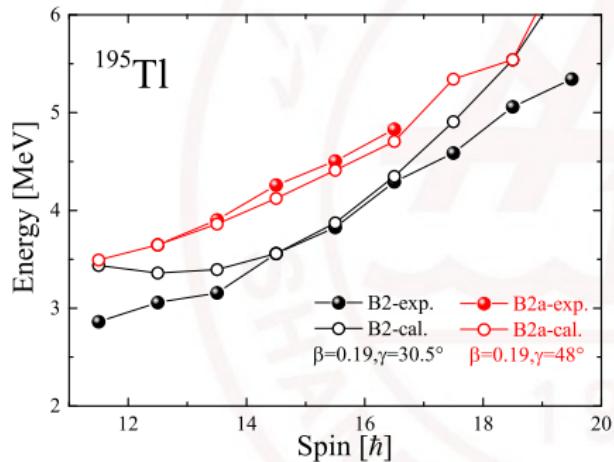


Figure: 粒子转子模型计算 ^{195}Tl 中手征双重带的能谱与电磁跃迁几率。

实验数据取自文献[2]。

[1]. B. Qi, et al., *Phys. Lett. B* **675**, 175-180 (2009).

[2]. T. Roy, et al., *Phys. Lett. B* **782**, 768 (2018).

目录

1 引言

2 190核区Tl同位素链中的候选手征核

- 理论框架与数值细节
- 奇奇核 $^{192-202}\text{Tl}$ 中的候选手征核
- 奇A核 $^{193-199}\text{Tl}$ 中的候选手征核

3 与实验观测比较

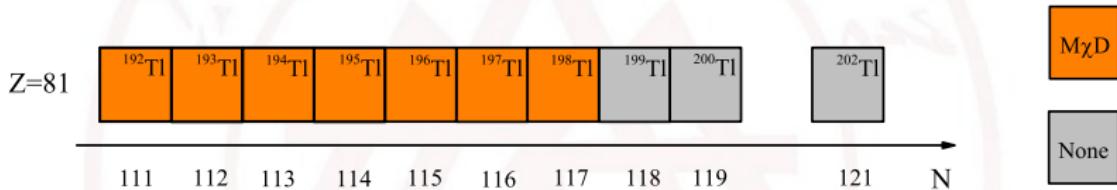
- 粒子转子模型理论框架与数值细节
- 粒子转子模型计算 ^{198}Tl 中的手征双重带
- 粒子转子模型计算 ^{195}Tl 中的三准粒子手征带

4 总结与展望

总结与展望

总结:

- 本工作利用相对论平均场理论计算了190核区 $^{192-202}\text{Tl}$, 基于计算的高-j组态与三轴形变, 预言了可能存在的手性原子核。



Candidate chiral nuclei in thallium isotopes within triaxial relativistic mean field theory, X. Lu, B. Qi, H. Jia, C. Liu, and S. Y. Wang, submitted to the *Phys. Rev. C*

- 利用粒子转子模型计算了 ^{198}Tl 中的两准粒子手征带与 ^{195}Tl 中的三准粒子手征带, 对于 ^{198}Tl , 计算结果与实验符合的很好。对于 ^{195}Tl 中的手性还需进一步讨论。

展望:

- 期待本次工作能够激发实验对于190核区手性的进一步探索。

谢谢！

附录

两准粒子转子模型[1]计算 ^{198}Tl 中的手征双重带

组态: $\pi h_{9/2}^1 \otimes \nu i_{13/2}^{-1}$; 形变: $\beta_2 = 0.11, \gamma = 44^\circ$;

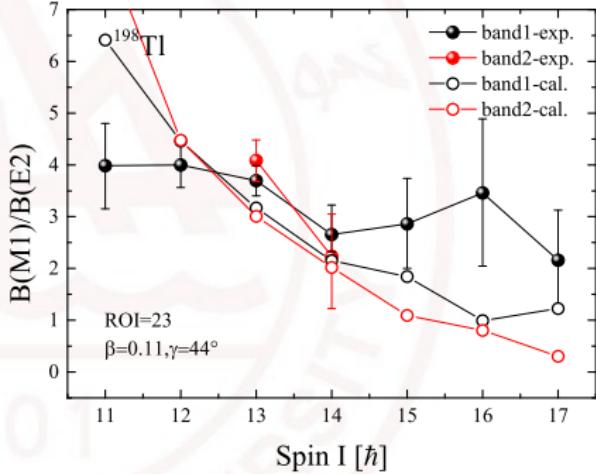
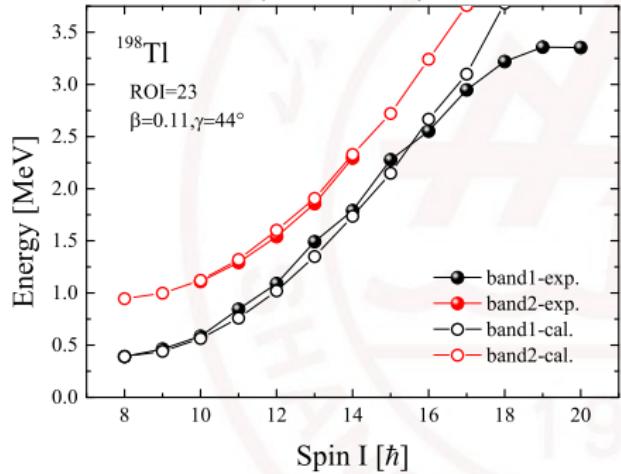


Figure: 粒子转子模型计算 ^{198}Tl 中手征双重带的能谱与电磁跃迁几率。

实验数据取自文献[2]。

[1]. B. Qi, et al., *Phys. Rev. C* **79**, 041302(R) (2009).

[2]. P. L. Masiteng, et al., *Eur.Phys. J. A.* **45**, 39 (2010).

附录

两准粒子转子模型[1]计算 ^{198}Tl 中的手征双重带

组态: $\pi h_{9/2}^1 \otimes \nu i_{13/2}^{-1}$; 形变: $\beta_2 = 0.15, \gamma = 44^\circ$;

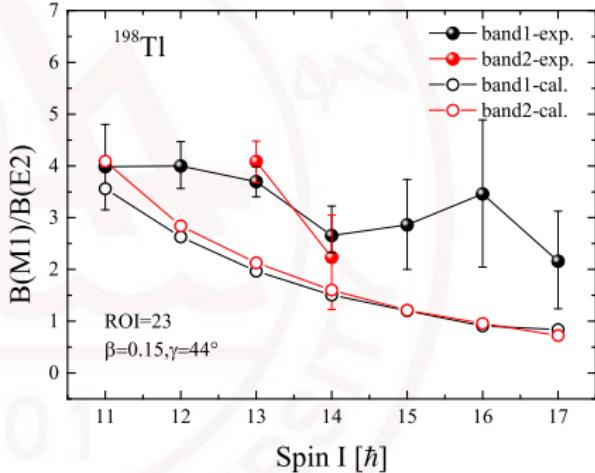
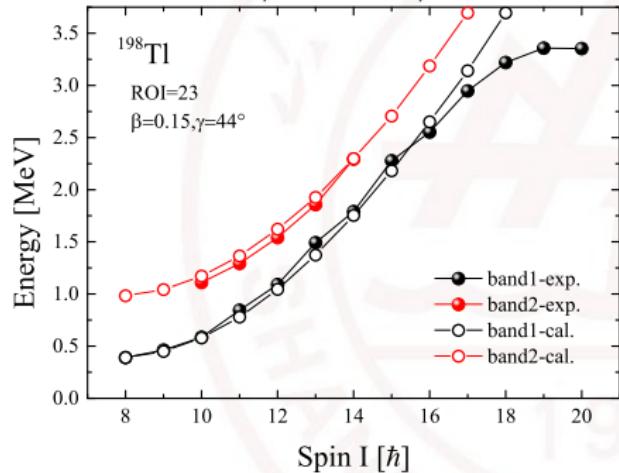


Figure: 粒子转子模型计算 ^{198}Tl 中手征双重带的能谱与电磁跃迁几率。

实验数据取自文献[2]。

[1]. B. Qi, et al., *Phys. Rev. C* **79**, 041302(R) (2009).

[2]. P. L. Masiteng, et al., *Eur.Phys. J. A.* **45**,39 (2010).

粒子转子模型计算 ^{195}Tl 中的手征双重带

多准粒子转子模型[1]计算 ^{195}Tl 中的三准粒子手征带

组态: $\pi h_{9/2}^1 \otimes \nu i_{13/2}^{-2}$; 形变: $\beta_2 = 0.19, \gamma = 30.5^\circ$; 转动惯量:10

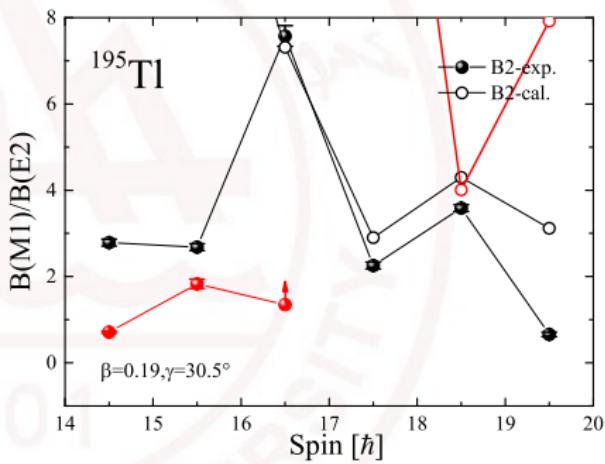
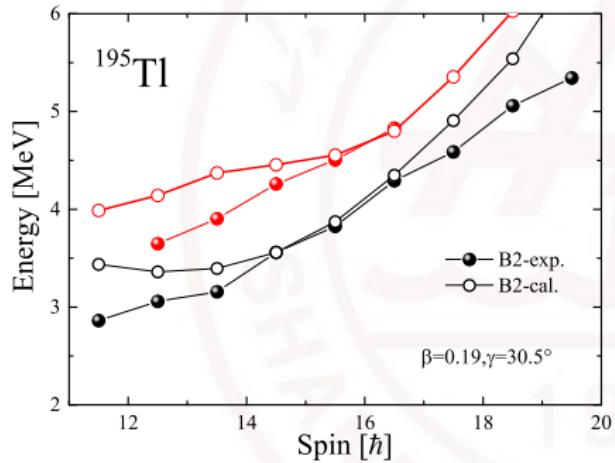


Figure: 粒子转子模型计算 ^{195}Tl 中手征双重带的能谱与电磁跃迁几率。

实验数据取自文献[2]。

- [1]. B. Qi, et al., *Phys. Lett. B* **675**, 175-180 (2009).
- [2]. T. Roy, et al., *Phys. Lett. B* **782**, 768 (2018).

粒子转子模型计算 ^{195}TI 中的手征双重带

多准粒子转子模型[1]计算 ^{195}TI 中的三准粒子手征带

组态: $\pi h_{9/2}^1 \otimes \nu i_{13/2}^{-2}$; 形变: $\beta_2 = 0.19, \gamma = 30.5^\circ$; 转动惯量: $ROI = J_0 \sqrt{1 + bl(l+1)}$, $J_0 = 0.3, b = 5$

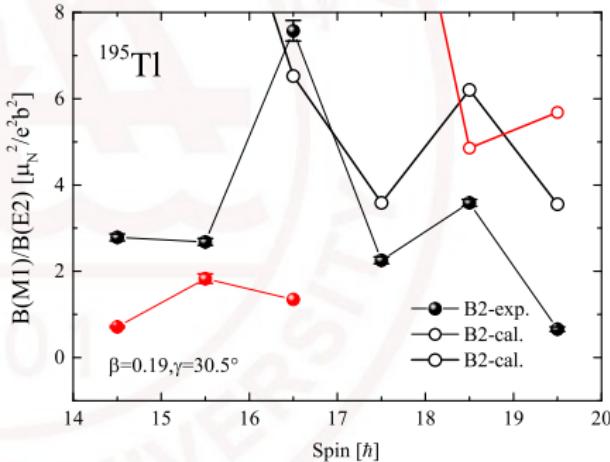
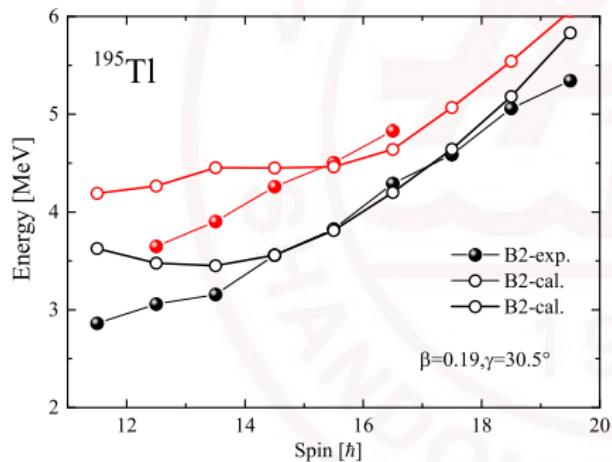


Figure: 粒子转子模型计算 ^{195}TI 中手征双重带的能谱与电磁跃迁几率。
实验数据取自文献[2]。

粒子转子模型计算 ^{195}Tl 中的手征双重带

多准粒子转子模型[1]计算 ^{195}Tl 中的三准粒子手征带

组态: $\pi h_{9/2}^1 \otimes \nu i_{13/2}^{-2}$; 形变: $\beta = 0.19, \gamma = 48^\circ$; 转动惯量:10

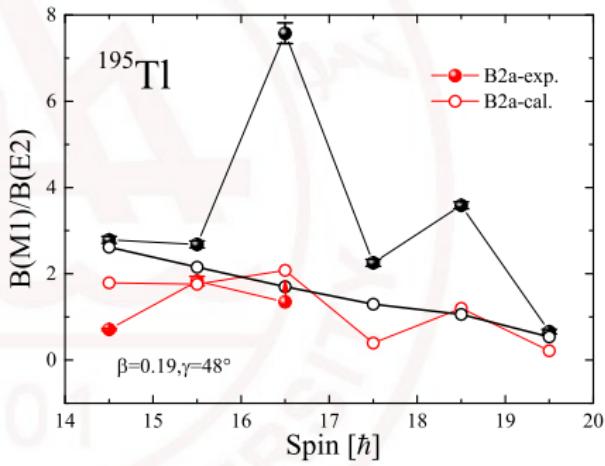
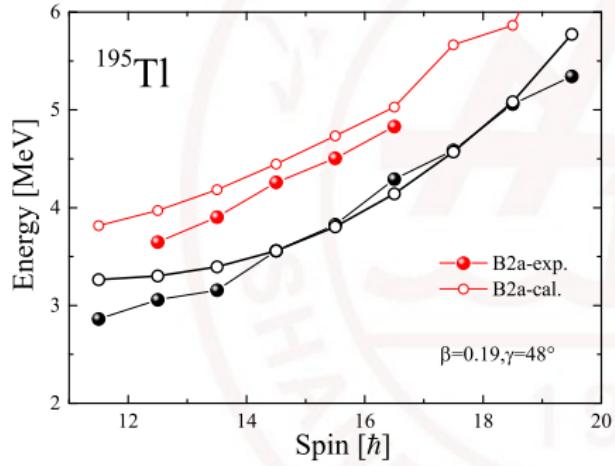


Figure: 粒子转子模型计算 ^{195}Tl 中手征双重带的能谱与电磁跃迁几率。

实验数据取自文献[2]。

- [1]. B. Qi, et al., *Phys. Lett. B* **675**, 175-180 (2009).
- [2]. T. Roy, et al., *Phys. Lett. B* **782**, 768 (2018).