



壳模型计算锡同位素链的 β 衰变

博士生：李瀚涛
导 师：任中洲

南京大学物理学院

2014/10/27



目录

研究目的

背景知识

结果与分析

总结



研究目的

1. 实验上发现的锡的同位素约有40个。其中 ^{100}Sn 和 ^{132}Sn 是双幻核，剩下全部是单幻核。在 ^{100}Sn 和 ^{132}Sn 附近，幻数是否存在是一个热点问题。
2. 实验上观测到锡同质异能素的 β 衰变。这方面的理论研究很少，因此计算锡同质异能素的 β 衰变性质具有重要的意义。

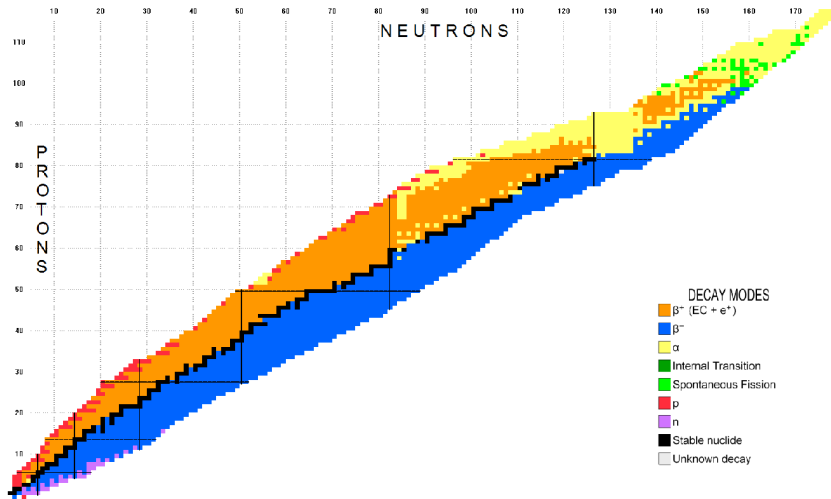


壳模型的优点

壳模型计算具有以下优点：

- ▶ 能够给出诸如能级、波函数、核子跃迁矩阵元、谱因子等较多的物理量。
- ▶ 能够给出比较精确的计算结果。
- ▶ 能够很方便的计算激发态的一些物理量。

已知的三千多种核素中，有两千多种可以发生 β 衰变。





β 衰变简介

根据衰变前后核子的自旋的变化， β 衰变可分为：

- ▶ Fermi衰变，衰变前后核子自旋没有变化。
- ▶ Gamow-Teller衰变，衰变前后核子自旋的变化为1。

根据衰变前后核子的轨道角动量的变化， β 衰变可分为：

- ▶ 容许衰变，轨道角动量的变化为0，宇称不变。
- ▶ n 阶禁戒衰变，轨道角动量的变化为 n ($n \geq 1$)，宇称的变化为 $(-1)^n$ 。

β 衰变寿命的计算公式

核子从初态跃迁到某一末态的 β 寿命为,

$$ft = K = 6144.4 \text{ s}. \quad (1)$$

其中 f 表示相因子¹

$$f = \int_1^{W_0} C(W) F_{\pm}(Z, W) (W^2 - 1)^{1/2} W (W_0 - W)^2 dW. \quad (2)$$

W_0 是电子能量的最大值, W 表示电子能量, $F_{\pm}(Z, W)$ 是费米函数, \pm 号分别对应 β^{\pm} 衰变。

对于容许Fermi衰变, 形状因子 $C(W)$ 即Fermi跃迁矩阵元

$$C(W) = B(F) = [T(T + 1) - T_{z_i} T_{z_f}] \delta_{if} (1 - \delta_c). \quad (3)$$

¹Q. Zhi, E. Caurier, J. J. Cuenca-García, K. Langanke, G. Martínez-Pinedo, and K. Sieja, *Phys. Rev. C* **87**, 025803 (2013).



β 衰变的形状因子

对于容许的Gamow-Teller衰变，形状因子 $C(W)$ 为Gamow-Teller跃迁矩阵元

$$C(W) = B(GT) = \left[\left(\frac{g_A}{g_V} \right) \frac{\langle f \| \sum_k \sigma^k t_{\pm}^k \| i \rangle}{\sqrt{2J_i + 1}} \right]^2. \quad (4)$$

对于一阶禁戒跃迁形状因子 $C(W)$ 的表达式为

$$C(W) = k + kaW + kb/W + kcW^2. \quad (5)$$



禁戒跃迁的形状因子

k , ka , kb , kc 的表达式为

$$\begin{aligned}k &= [\zeta_0^2 + \frac{1}{9}\omega^2]^{(0)} + [\zeta_1^2 + \frac{1}{9}(x+u)^2 - \frac{4}{9}\mu_1\gamma_1 u(x+u) \\ &\quad + \frac{1}{18}W_0^2(2x+u)^2 - \frac{1}{18}\lambda_2(2x-u)^2]^{(1)} + [\frac{1}{12}z^2(W_0^2 - \lambda_2)]^{(2)}, \\ ka &= [-\frac{4}{3}uY - \frac{1}{9}W_0(4x^2 + 5u^2)]^{(1)} - [\frac{1}{6}z^2W_0]^{(2)}, \\ kb &= \frac{2}{3}\mu_1\gamma_1 \{-[\zeta_0\omega]^{(0)} + [\zeta_1(x+u)]^{(1)}\}, \\ kc &= \frac{1}{18}[8u^2 + (2x+u)^2 + \lambda_2(2x-u)^2]^{(1)} + \frac{1}{12}[z^2(1 + \lambda_2)]^{(2)}.\end{aligned}\tag{6}$$

其中 V , Y , ζ_0 , ζ_1 的表达式为

$$\begin{aligned}V &= \xi'\nu + \xi\omega', & Y &= \xi'y - \xi(u' + x'), \\ \zeta_0 &= V + \frac{1}{3}\omega W_0, & \zeta_1 &= Y + \frac{1}{3}(u-x)W_0,\end{aligned}\tag{7}$$

式中 $\xi = \alpha Z/(2R)$, $\gamma_1 = \sqrt{1 - (\alpha Z)^2}$, 参数 $\mu_1 \approx 1$, $\lambda_2 \approx 1$ 。



电子俘获的相因子

β^+ 衰变通常会伴随有电子俘获

$$(f + f^e)t = K = 6144.4 \text{ s} \quad (8)$$

电子俘获的相因子为²

$$f^e = \sum_x n_x C_x f_x^e. \quad (9)$$

求和号表示对不同的电子层求和。实际的计算中我们考虑了 K , L_I , L_{II} , M_I 电子层。上述公式中 n_x 是 x 电子层中电子的占据数, f_x^e 的表达式为

$$f_x^e = \frac{\pi}{2} q_x^2 \beta_x^2 B_x^2, \quad (10)$$

q_x 是中微子能量, β_x 是电子在 $r = 0$ 处的几率幅, B_x 是对电子交换和电子波函数交叠的修正。

²D. E. Alburger and E. K. Warburton, *Phys. Rev. C* **38**, 1843 (1988).



电子俘获的相因子

对于容许跃迁， C_x 为容许跃迁的矩阵元。

对于一级禁戒跃迁 C_x 的表达式为

$$C_x = C_x^{(0)} + C_x^{(1)} + C_x^{(2)}, \quad (11)$$

其中

$$C_x^{(0)} = [\xi' \nu - \omega' \xi + \frac{1}{3}(W_0 + 1)\omega]^2, \quad (12a)$$

$$C_x^{(1)} = [-\xi' y - x\xi + \frac{1}{3}(W_0 + 1)x + u'\xi + \frac{1}{3}(W_0 + 1)u - \frac{2}{3}E_x u]^2 + \frac{1}{18}(2x - u)^2 q_x^2, \quad (12b)$$

$$C_x^{(2)} = \frac{1}{12}z^2 q_x^2. \quad (12c)$$

壳模型计算的矩阵元通常会大于实验值，因此在壳模型计算核子的 β 衰变寿命时，通常会用 q 因子来修正理论计算的矩阵元。对于容许的Gamow-Teller跃迁

$$B(GT)' = q^2 B(GT) \quad (13)$$

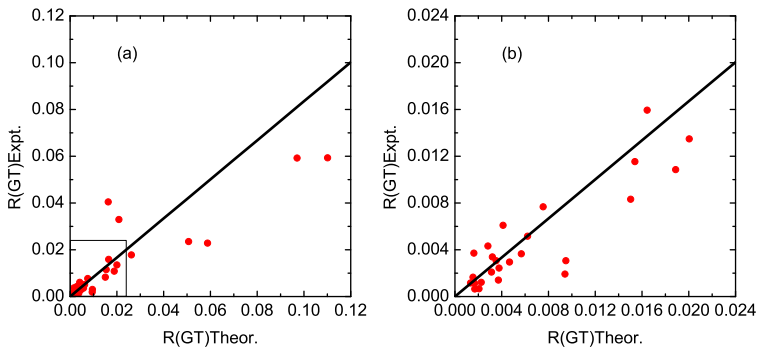
对于容许 β 跃迁，通常采用 $q = \sqrt{R(GT)_{Ex}/R(GT)_{Th}}$ 。下标 Ex ， Th 分别表示实验值，理论值。 $R(GT)$ 的表达式如下：

$$R(GT) = M(GT)/W. \quad (14)$$

$$M(GT) = [(2j_i + 1)B(GT)]^{1/2}, \quad (15)$$

$$W = \begin{cases} |g_A/g_V|[(2j_i + 1)3|N_i - Z_i|]^{1/2} & \text{for } N_i \neq Z_i, \\ |g_A/g_V|[(2j_f + 1)3|N_f - Z_f|]^{1/2} & \text{for } N_i = Z_i. \end{cases} \quad (16)$$

拟合容许 β^- 衰变 $quenching$ 因子的结果



对于发生 β^- 衰变的Sn同位素，我们拟合的 q 因子为 0.83 ± 0.09 。拟合时采用的理论、实验 $R(GT)$ 值如图所示。图中的横轴表示理论 $R(GT)$ 值，纵轴表示实验 $R(GT)$ 值。左右两图采用了不同的标度。



禁戒跃迁的 $quenching$ 因子

对于一阶禁戒跃迁，也需要使用 $quenching$ 因子对跃迁矩阵元进行修正。这里我们使用了Q. Zhi *et al.*³ 给出的 $quenching$ 因子

$$q(\xi'\nu) = 1.27,$$

$$q(w) = q(w') = 0.66,$$

$$q(u) = q(u') = 0.38,$$

$$q(x) = q(x') = q(\xi'y) = 0.51,$$

$$q(z) = 0.42.$$

³Q. Zhi, E. Caurier, J. J. Cuenca-García, K. Langanke, G. Martínez-Pinedo, and K. Sieja, *Phys. Rev. C* **87**, 025803 (2013).

$^{99-113}\text{Sn}$ 的 β^+ 衰变

$^{99-113}\text{Sn}$ 的 β^+ 衰变能，理论、实验衰变寿命及其比值。

${}^A Z_i(J^\pi) \rightarrow {}^A Z_f$	Q value (keV)	Half-life		$t_{1/2}^{cal}/t_{1/2}^{exp}$
		Theo.	Expt.	
${}^{99}\text{Sn}(9/2^+) \rightarrow {}^{99}\text{In}$	13430	22.48 ms	5# ms ($> 0.2\mu\text{s}$)	
${}^{100}\text{Sn}(0^+) \rightarrow {}^{100}\text{In}$	7030	0.837 s	1.11 ± 0.15 s	0.754
${}^{101}\text{Sn}(7/2^+) \rightarrow {}^{101}\text{In}$	8310	4.666 s	1.97 ± 0.16 s	2.368
${}^{102}\text{Sn}(0^+) \rightarrow {}^{102}\text{In}$	5760	2.930 s	3.8 ± 0.2 s	0.771
${}^{103}\text{Sn}(5/2^+) \rightarrow {}^{103}\text{In}$	7660	2.839 s	7.0 ± 0.2 s	0.406
${}^{104}\text{Sn}(0^+) \rightarrow {}^{104}\text{In}$	4556	21.74 s	20.8 ± 0.5 s	1.045
${}^{105}\text{Sn}(5/2^+) \rightarrow {}^{105}\text{In}$	6303	11.16 s	34 ± 1 s	0.328
${}^{106}\text{Sn}(0^+) \rightarrow {}^{106}\text{In}$	3254	3.398 m	1.92 ± 0.08 m	1.770
${}^{107}\text{Sn}(5/2^+) \rightarrow {}^{107}\text{In}$	5052	0.670 m	2.90 ± 0.05 m	0.231
${}^{108}\text{Sn}(0^+) \rightarrow {}^{108}\text{In}^\dagger$	2050	4.659 m	10.30 ± 0.08 m	0.452
${}^{109}\text{Sn}(5/2^+) \rightarrow {}^{109}\text{In}^\dagger$	3857	6.873 m	18.0 ± 0.2 m	0.382
${}^{110}\text{Sn}(0^+) \rightarrow {}^{110}\text{In}^\dagger$	629	74.82 h	4.154 ± 04 h	18.01
${}^{111}\text{Sn}(7/2^+) \rightarrow {}^{111}\text{In}^\dagger$	2451	1.436 m	35.3 ± 0.6 m	0.041
${}^{113}\text{Sn}(1/2^+) \rightarrow {}^{113}\text{In}^\dagger$	1038	104.4 d	115.09 ± 0.03 d	0.907

†计算时采用了实验能级.



β^+ 衰变的误差分析

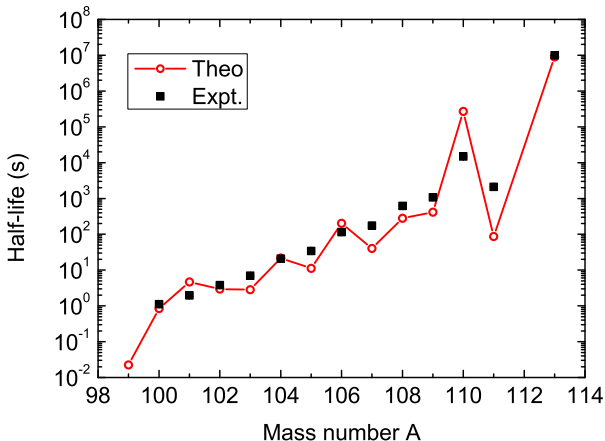
从表中可以看到， ^{110}Sn 和 ^{111}Sn 的理论寿命与实验值符合得不好。

^{110}Sn 的理论寿命是实验值的18倍。实验上观测到 ^{110}Sn 只能跃迁到 ^{110}In 的 1_1^+ 态(激发能为343keV)，对应的 $\log ft = 3.44$ 。我们计算得到的这一跃迁的 $\log ft = 4.68$ ，这导致了我们的计算结果与实验值之间的偏差。

^{111}Sn 的实验值是理论寿命的25倍。实验上观测到 ^{111}Sn 主要跃迁到 ^{111}In 的基态(分支比为92.9%)，对应的 $\log ft = 4.7$ 。我们计算得到的这一跃迁的 $\log ft = 3.30$ ，这导致了我们的计算结果与实验值之间的偏差。

$^{99-113}\text{Sn}$ 的理论 β^+ 衰变寿命与实验寿命的比较

横轴表示质量数A，纵轴表示对数坐标下核子的 β^+ 衰变寿命。带圆圈的红色实线表示理论计算的结果，黑色方块表示实验值。计算得到的 ^{99}Sn 的寿命明显比其他同位素短，这反映了 $Z = 50$ 附近的 $N = 50$ 壳效应。



理论计算的 β 衰变的Q值与实验值的比较

我们使用如下的公式来计算 β^- 衰变锡同位素的衰变能⁴:

$$Q_{\beta} = E(SM)_i - E(SM)_f - m(^1\text{H}) + m(n). \quad (17)$$

计算的结果与实验值符合的很好。理论计算的均方根误差为137keV。

Nuclei	Q value (keV)		Nuclei	Q value (keV)	
	Theo.	Expt.		Theo.	Expt.
$^{127}\text{Sn}(11/2^-)$	3428	3228 ± 11	$^{132}\text{Sn}(0^+)$	3195	3092 ± 4
$^{127}\text{Sn}^*(3/2^+)$	3454	3233 ± 11	$^{133}\text{Sn}(7/2^-)$	8046	8048 ± 4
$^{128}\text{Sn}(0^+)$	1508	1268 ± 14	$^{134}\text{Sn}(0^+)$	7665	7588 ± 4
$^{129}\text{Sn}(3/2^+)$	4119	4022 ± 29	$^{135}\text{Sn}(7/2^-)$	9035	9057 ± 4
$^{129}\text{Sn}^*(11/2^-)$	4171	4057 ± 29	$^{136}\text{Sn}(0^+)$	8331	$8610 \pm 400\#$
$^{130}\text{Sn}(0^+)$	2345	2153 ± 14	$^{137}\text{Sn}(5/2^-)$	10261	$10240 \pm 590\#$
$^{130}\text{Sn}^*(7^-)$	4215	4100 ± 14	$^{138}\text{Sn}(0^+)$	9289	$9680 \pm 670\#$
$^{131}\text{Sn}(3/2^+)$	4774	4710 ± 6	$^{139}\text{Sn}(7/2^-)$	10863	
$^{131}\text{Sn}^*(11/2^-)$	4839	4775 ± 6	$^{140}\text{Sn}(0^+)$	10060	

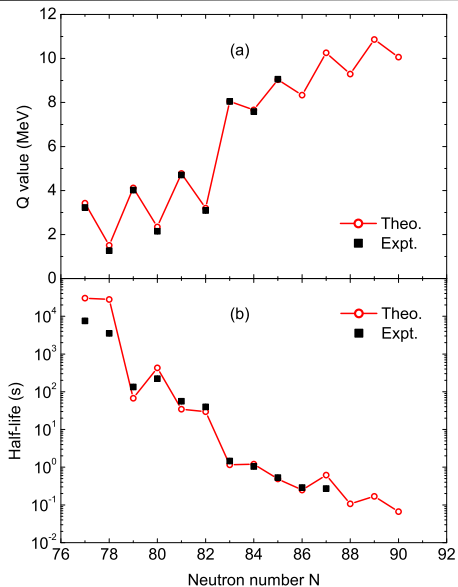
⁴Hantao Li and Zhongzhou Ren, *J. Phys. G: Nucl. Part. Phys.* **41**, 105102 (2014).

$^{131-140}\text{Sn}$ 的 β^- 衰变能, 理论、实验衰变寿命及其比值

${}^A Z_i(J^\pi) \rightarrow {}^A Z_f$	Q value (keV)	Half-life		$t_{1/2}^{cal}/t_{1/2}^{exp}$
		Theo.	Expt.	
$^{121}\text{Sn}(3/2^+) \rightarrow ^{121}\text{Sb}^\dagger$	401	7.525 h	27.03 ± 0.04 h	0.278
$^{123}\text{Sn}(11/2^-) \rightarrow ^{123}\text{Sb}$	1408	346.2 d	129.2 ± 0.4 d	2.679
$^{125}\text{Sn}(11/2^-) \rightarrow ^{125}\text{Sb}$	2360	2.713 d	9.64 ± 0.03 d	0.281
$^{127}\text{Sn}(11/2^-) \rightarrow ^{127}\text{Sb}$	3228	8.397 h	2.10 ± 0.04 h	3.999
$^{128}\text{Sn}(0^+) \rightarrow ^{128}\text{Sb}^\dagger$	1268	464.0 m	59.07 ± 0.14 m	7.855
$^{129}\text{Sn}(3/2^+) \rightarrow ^{129}\text{Sb}$	4022	1.117 m	2.23 ± 0.04 m	0.501
$^{130}\text{Sn}(0^+) \rightarrow ^{130}\text{Sb}$	2153	7.137 m	3.72 ± 0.07 m	1.919
$^{131}\text{Sn}(3/2^+) \rightarrow ^{131}\text{Sb}$	4710	34.38 s	56.0 ± 0.5 s	0.614
$^{132}\text{Sn}(0^+) \rightarrow ^{132}\text{Sb}$	3092	29.71 s	39.7 ± 0.8 s	0.748
$^{133}\text{Sn}(7/2^-) \rightarrow ^{133}\text{Sb}$	8048	1.161 s	1.46 ± 0.03 s	0.795
$^{134}\text{Sn}(0^+) \rightarrow ^{134}\text{Sb}$	7588	1.205 s	1.050 ± 0.011 s	1.148
$^{135}\text{Sn}(7/2^-) \rightarrow ^{135}\text{Sb}$	9057	490.4 ms	530 ± 20 ms	0.925
$^{136}\text{Sn}(0^+) \rightarrow ^{136}\text{Sb}$	8610	247.2 ms	290 ± 13 ms	0.852
$^{137}\text{Sn}(5/2^-) \rightarrow ^{137}\text{Sb}$	10240	617.7 ms	273 ± 7 ms	2.263
$^{138}\text{Sn}(0^+) \rightarrow ^{138}\text{Sb}$	9680	107.2 ms	100# ms (>400ns)	
$^{139}\text{Sn}(7/2^-) \rightarrow ^{139}\text{Sb}$	10863	168.6 ms		
$^{140}\text{Sn}(0^+) \rightarrow ^{140}\text{Sb}$	10060	66.70 ms		

† 计算时采用了实验能级.

$Z = 50$ 附近的 $N = 82$ 壳效应



锡同质异能素的 β 衰变

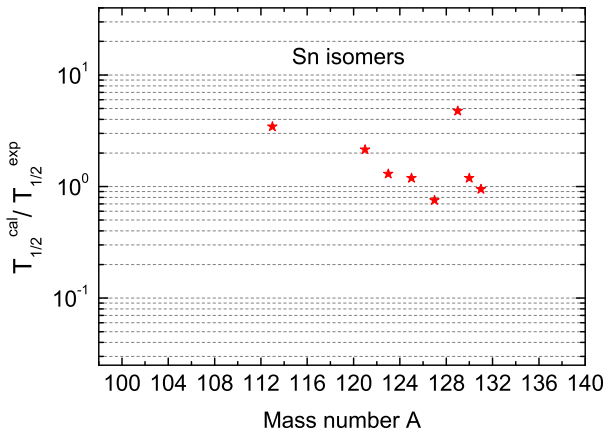
锡同质异能素的 β 衰变能，理论、实验衰变寿命及其比值

${}^A Z_i(J^\pi) \rightarrow {}^A Z_f$	Q value (keV)	Half-life		$t_{1/2}^{cal}/t_{1/2}^{exp}$
		Theo.	Expt.	
${}^{113}\text{Sn}^*(7/2^+) \rightarrow {}^{113}\text{In}^\dagger$	1115	828.7 m	240.45 ± 83.79 m	3.446
${}^{121}\text{Sn}^*(11/2^-) \rightarrow {}^{121}\text{Sb}^\dagger$	406	419.8 y	195.98 ± 19.21 y	2.142
${}^{123}\text{Sn}^*(3/2^+) \rightarrow {}^{123}\text{Sb}$	1433	51.87 m	40.06 ± 0.01 m	1.295
${}^{125}\text{Sn}^*(3/2^+) \rightarrow {}^{125}\text{Sb}$	2387	11.34 m	9.52 ± 0.05 m	1.191
${}^{127}\text{Sn}^*(3/2^+) \rightarrow {}^{127}\text{Sb}$	3233	3.107 m	4.13 ± 0.03 m	0.752
${}^{129}\text{Sn}^*(11/2^-) \rightarrow {}^{129}\text{Sb}$	4057	32.85 m	6.9 ± 0.1 m	4.761
${}^{130}\text{Sn}^*(7^-) \rightarrow {}^{130}\text{Sb}$	4100	2.018 m	1.7 ± 0.1 m	1.187
${}^{131}\text{Sn}^*(11/2^-) \rightarrow {}^{131}\text{Sb}$	4710	55.26 s	58.4 ± 0.5 s	0.946

† 计算时采用了实验能级.

计算得的锡同质异能素的 β 衰变寿命与实验值的比较

锡同质异能素的理论 β 衰变寿命与实验寿命的比较。图的横轴表示质量数A，纵轴表示理论寿命与实验寿命的比值。



- ▶ 我们用壳模型计算了50号元素锡同位素链的 β 衰变，包括基态和同质异能态。计算中我们考虑了容许的Gamow-Teller跃迁和一阶禁戒跃迁。
- ▶ 理论计算的锡同位素链的 β 衰变寿命和衰变能与实验值符合的较好。
- ▶ 计算得到的 β 衰变寿命清晰地反映了质子数 $Z = 50$ 附近的中子数 $N = 50$ 壳效应。
- ▶ 计算得到的 β 衰变能和 β 衰变寿命清晰地反映了质子数 $Z = 50$ 附近的中子数 $N = 82$ 壳效应。



谢谢!



一级禁戒 β 衰变的跃迁矩阵元

$$\omega = \sqrt{3}\lambda \frac{\langle f \| \sum_k r_k [\mathbf{C}_1^k \times \boldsymbol{\sigma}^k]^{(0)} t_{\pm}^k \| i \rangle}{\sqrt{2J_i + 1}}, \quad (18a)$$

$$\omega' = \sqrt{3}\lambda \frac{\langle f \| \sum_k \frac{3}{2} r_k I(1, 1, 1, 1, r_k) [\mathbf{C}_1^k \times \boldsymbol{\sigma}^k]^{(0)} t_{\pm}^k \| i \rangle}{\sqrt{2J_i + 1}}, \quad (18b)$$

$$x = -\frac{\langle f \| \sum_k r_k \mathbf{C}_1^k t_{\pm}^k \| i \rangle}{\sqrt{2J_i + 1}}, \quad (18c)$$

$$x' = -\frac{\langle f \| \sum_k \frac{3}{2} r_k I(1, 1, 1, 1, r_k) \mathbf{C}_1^k t_{\pm}^k \| i \rangle}{\sqrt{2J_i + 1}}, \quad (18d)$$

$$u = \sqrt{2}\lambda \frac{\langle f \| \sum_k r_k [\mathbf{C}_1^k \times \boldsymbol{\sigma}^k]^{(1)} t_{\pm}^k \| i \rangle}{\sqrt{2J_i + 1}}, \quad (18e)$$

$$u' = \sqrt{2}\lambda \frac{\langle f \| \sum_k \frac{3}{2} r_k I(1, 1, 1, 1, r_k) [\mathbf{C}_1^k \times \boldsymbol{\sigma}^k]^{(1)} t_{\pm}^k \| i \rangle}{\sqrt{2J_i + 1}}, \quad (18f)$$

一级禁戒 β 衰变的跃迁矩阵元

$$z = -2\lambda \frac{\langle f \| \sum_k r_k [\mathbf{C}_1^k \times \boldsymbol{\sigma}^k]^{(2)} t_{\pm}^k \| i \rangle}{\sqrt{2J_i + 1}}, \quad (19a)$$

$$\xi'_{\nu} = \frac{g_a \sqrt{3}}{M} \frac{\langle f \| \sum_k [\boldsymbol{\sigma}^k \times \nabla^k]^{(0)} t_{\pm}^k \| i \rangle}{\sqrt{2J_i + 1}}, \quad (19b)$$

$$\xi'_{y} = -\frac{1}{M} \frac{\langle f \| \sum_k \nabla^k t_{\pm}^k \| i \rangle}{\sqrt{2J_i + 1}}. \quad (19c)$$

公式中 $\lambda = -g_A/g_V = 1.2720(18)$, M 是核子质量, t_{\pm} 是同位旋升降算符, \pm 号分别对应 β^{\pm} 衰变($t_+p = n$)。约化矩阵元采用Edmonds记号。 \mathbf{C}_{lm} 和球谐函数 \mathbf{Y}_{lm} 有着简单的对应关系

$$\mathbf{C}_{lm} = \sqrt{\frac{4\pi}{2l+1}} \mathbf{Y}_{lm} \quad (20)$$

一级禁戒 β 衰变的跃迁矩阵元

含 $I(1, 1, 1, 1, r)$ 的矩阵元考虑了核子电荷分布, $I(1, 1, 1, 1, r)$ 的表达式如下

$$I(1, 1, 1, 1, r) = \frac{3}{2} \begin{cases} \left[1 - \frac{1}{5} \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right] & 0 \leq r \leq R, \\ \left[\frac{R}{r} - \frac{1}{5} \left(\frac{R}{r} \right)^3 \right] & r \geq R. \end{cases} \quad (21)$$

R 是核子的电荷半径(假设电荷在核子中均匀分布), 自然单位下 R 的表达式为

$$R = r_0 A^{1/3} / 386.16 \quad (22)$$

$$r_0 = 1.614 - 0.1067(\ln A) + 0.005456(\ln A)^2 + 6.112/(A - 1.76)^2.$$

在计算矩阵元的径向积分时, 我们采用了谐振子波函数。其中 $\hbar\omega = 45A^{-1/3} - 25A^{-2/3}$ MeV。



壳模型计算 $^{99-113}\text{Sn}$ 的 β^+ 衰变寿命

我们采用截断的 $\pi(0f, 1p, 0g_{9/2})\nu(0g, 1d, 2s)$ 模型空间 ($Z = 20 - 50, N = 40 - 70$), 使用Mach等人提出的相互作用⁵, 计算了 $^{99-113}\text{Sn}$ 的 β^+ 衰变。计算时没有考虑费米跃迁, 容许的Gamow-Teller跃迁的quenching因子取为1。

- ▶ 采用 $\pi(0f, 1p, 0g_{9/2})\nu([0g_{9/2}]^{6-10}, 0g_{7/2}, 1d, 2s)$ 模型空间计算了 ^{99}Sn 的 β^+ 衰变;
- ▶ 采用 $\pi(0f, 1p, 0g_{9/2})\nu([0g_{9/2}]^{8-10}, 0g_{7/2}, 1d, 2s)$ 模型空间计算了 $^{101,102}\text{Sn}$ 的 β^+ 衰变;
- ▶ 采用 $\pi(0f, 1p, 0g_{9/2})\nu([0g_{9/2}]^{10}, 0g_{7/2}, 1d, 2s)$ 模型空间计算了 $^{103-113}\text{Sn}$ 的 β^+ 衰变。

⁵H. Mach *et al.*, *Phys. Rev. C* **41**, 226 (1990).



壳模型计算 $^{121-132}\text{Sn}$ 的 β^- 衰变性质

我们使用 $\pi(0g_{7/2}, 1d, 2s, 0h_{11/2}) \nu(0g_{7/2}, 1d, 2s, 0h_{11/2})$ 模型空间 ($Z = 50 - 82, N = 50 - 82$), 使用Brown等人提出的相互作用⁶, 计算了 $^{121-132}\text{Sn}$ 的 β^- 衰变。计算时quenching因子取为0.83。这一数值由拟合理论、实验的 $R(GT)$ 值得到。

- ▶ 采用 $\pi(0g_{7/2}, 1d, 2s, 0h_{11/2}) \nu([0g_{7/2}]^8, [1d_{5/2}]^6, 1d_{3/2}, 2s, 0h_{11/2})$ 模型空间计算了 $^{121,123}\text{Sn}$ 的 β^- 衰变性质。
- ▶ 采用 $\pi(0g_{7/2}, 1d, 2s, 0h_{11/2}) \nu([0g_{7/2}]^8, 1d, 2s, 0h_{11/2})$ 模型空间计算了 $^{125,126}\text{Sn}$ 的 β^- 衰变性质。
- ▶ 计算 $^{127-132}\text{Sn}$ 的 β^- 衰变性质时没有采用截断。

⁶B. A. Brown *et al.*, *Phys. Rev. C* **71** 044317 (2005).



壳模型计算 $^{133-140}\text{Sn}$ 的 β^- 衰变性质

我们使用 $\pi(0g_{7/2}, 1d, 2s, 0h_{11/2}) \nu(0h_{9/2}, 1f, 2p, 0i_{13/2})$ 模型空间 ($Z = 50 - 82, N = 82 - 126$), 使用Brown等人提出的相互作用, 计算了 $^{133-140}\text{Sn}$ 的 β^- 衰变。计算时quenching因子取为0.83。

- ▶ 计算 $^{133-137}\text{Sn}$ 的 β^- 衰变性质时没有采用截断。
- ▶ 采用 $\pi(0g_{7/2}, 1d, 2s, 0h_{11/2}) \nu(0h_{9/2}, 1f, 2p, [0i_{13/2}]^0)$ 模型空间计算了 $^{138,139}\text{Sn}$ 的 β^- 衰变性质。
- ▶ 采用 $\pi(0g_{7/2}, 1d, 2s, 0h_{11/2}) \nu([0h_{9/2}]^{2-8}, 1f, 2p, [0i_{13/2}]^0)$ 模型空间计算了 ^{140}Sn 的 β^- 衰变性质。

$^{121-140}\text{Sn}$ 的 β^- 衰变寿命图

$^{121-140}\text{Sn}$ 的理论 β^- 衰变寿命与实验寿命的比较。横轴表示质量数A，纵轴表示核子的 β^- 衰变寿命。带圆圈的红色实线表示理论计算的结果，黑色方块表示实验值。

