



兰州大学

基于推广液滴模型研究原子核自发裂变半衰期

报告人：包小军

兰州大学核科学与技术学院

August 11, 2012

导师：张鸿飞

Introduction

- ① 自发裂变研究内容：裂变位垒、半衰期、裂变产物、鞍点性质、裂变道、鞍点至断点的动力学过程等等。
- ② 自发裂变研究的意义：自发裂变对重核和超重核稳定性的影响、核素版图的扩展与超重稳定岛位置确定、核结构研究等。
- ③ 裂变位垒：液滴模型给出单峰位垒，Strutinsky在液滴模型基础上加微观壳修正，得出双峰位垒。1998年实验上发现铀系原子核位垒第三极小。
参考文献：A. Krasznahorkay et al. Phys. Rev. Lett. 80, 2073 (1998)
- ④ 半衰期的实验研究：实验上已经测得很多原子核自发裂变的半衰期。
- ⑤ 半衰期的理论研究：
 - 📖 半经验公式：Swiatecki, Zhongzhou Ren, C Xu, K.P. Santhosh等提出一系列半经验公式，能很好的再现实验半衰期。
参考文献：Z. Ren, C. Xu, Nucl. Phys. A 759 (2005) 64
Chang Xu, Zhongzhou Ren, Yanqing Guo, Phys. Rev. C 78 (2008) 044329
 - 📖 模型研究：宏观模型、宏观-微观模型、微观模型（Skyrme-Hartree-Fock）等。
- ⑥ 我们的工作：基于考虑了微观壳修正和形状依赖的对关联修正的推广液滴模型，研究原子核自发裂变位垒和半衰期。

Generalized liquid-drop model

推广液滴模型总能量

$$E = E_V + E_S + E_C + E_{prox}$$

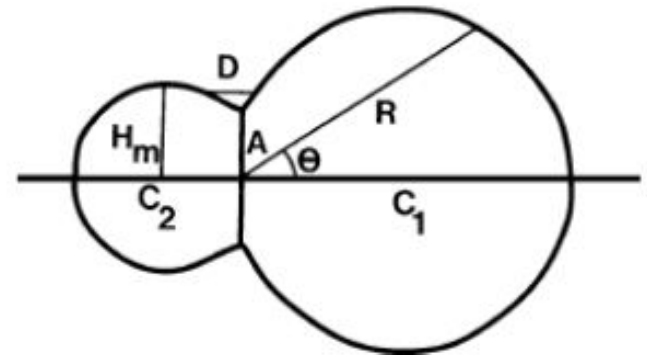
亲和能

$$E_{prox}(r) = 2\gamma \int_{h_{min}}^{h_{max}} \Phi[D(r, h)/b] 2\pi h dh$$

参考文献: G.Royer, B.Remaud, Nucl.Phys. A 444 (1985) 477

准分子形状机制

$$R^2(\theta) = \begin{cases} a^2 \sin^2 \theta + c_1^2 \cos^2 \theta & 0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2} \\ a^2 \sin^2 \theta + c_2^2 \cos^2 \theta & \frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \pi \end{cases}$$



参考文献: G.Royer et al JPG 10,(1984)1057

Potential barriers

对关联修正能量:

偶Z,偶N核:

$$E_{Pairing} = 0$$

奇Z,偶N核:

$$E_{Pairing} = \frac{4.8B_S}{Z^{1/3}}$$

偶Z,奇N核:

$$E_{Pairing} = \frac{4.8B_S}{N^{1/3}}$$

奇Z,奇N核:

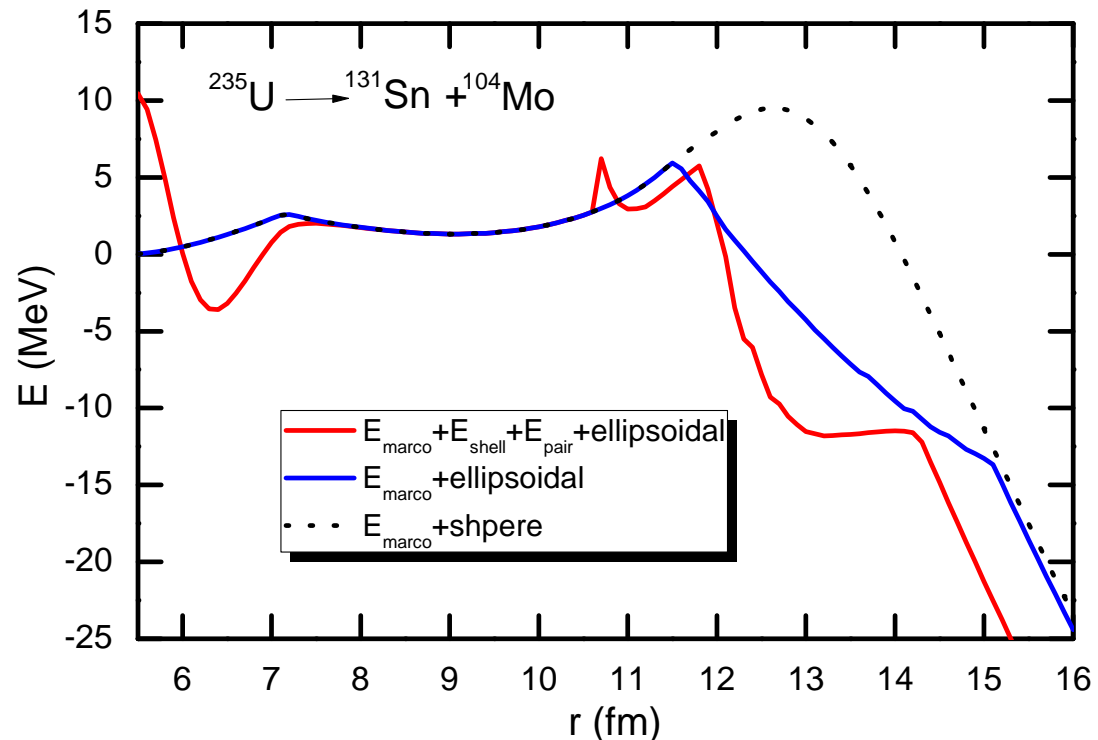
$$E_{Pairing} = \frac{4.8B_S}{N^{1/3}} + \frac{4.8B_S}{Z^{1/3}} - \frac{6.6}{B_S A^{2/3}}$$

参考文献: P.Moller et al Aug. 16, 1993.

壳修正能量:

$$E_{shell} = E_{shell}^{sphere} (1 - 2.0\alpha^2) e^{-\alpha^2}$$

参考文献: W.D.Myers(New-York,1977)
N.Wang PRC (2010).



Spontaneous fission half-lives

① 质量张量

$$B(r) = \mu \left[1 + ke^{-\frac{128}{51}(r-R_{sph})/R_0} \right]$$

② 一维WKB近似计算势垒穿透几率P

$$P = \exp\left[-\frac{2}{\hbar} \int_{r_{in}}^{r_{out}} \sqrt{2B(r)(E(r) - E_{g.s.})} dr\right]$$

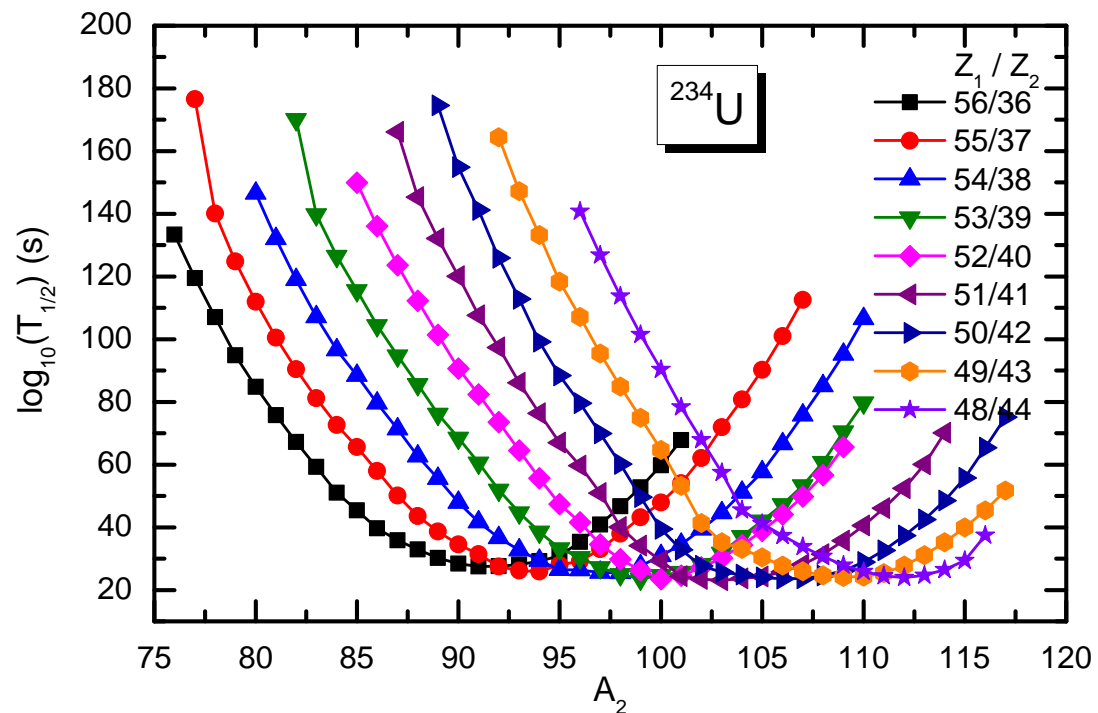
③ 衰变常数 λ

$$\lambda = \nu_0 P$$

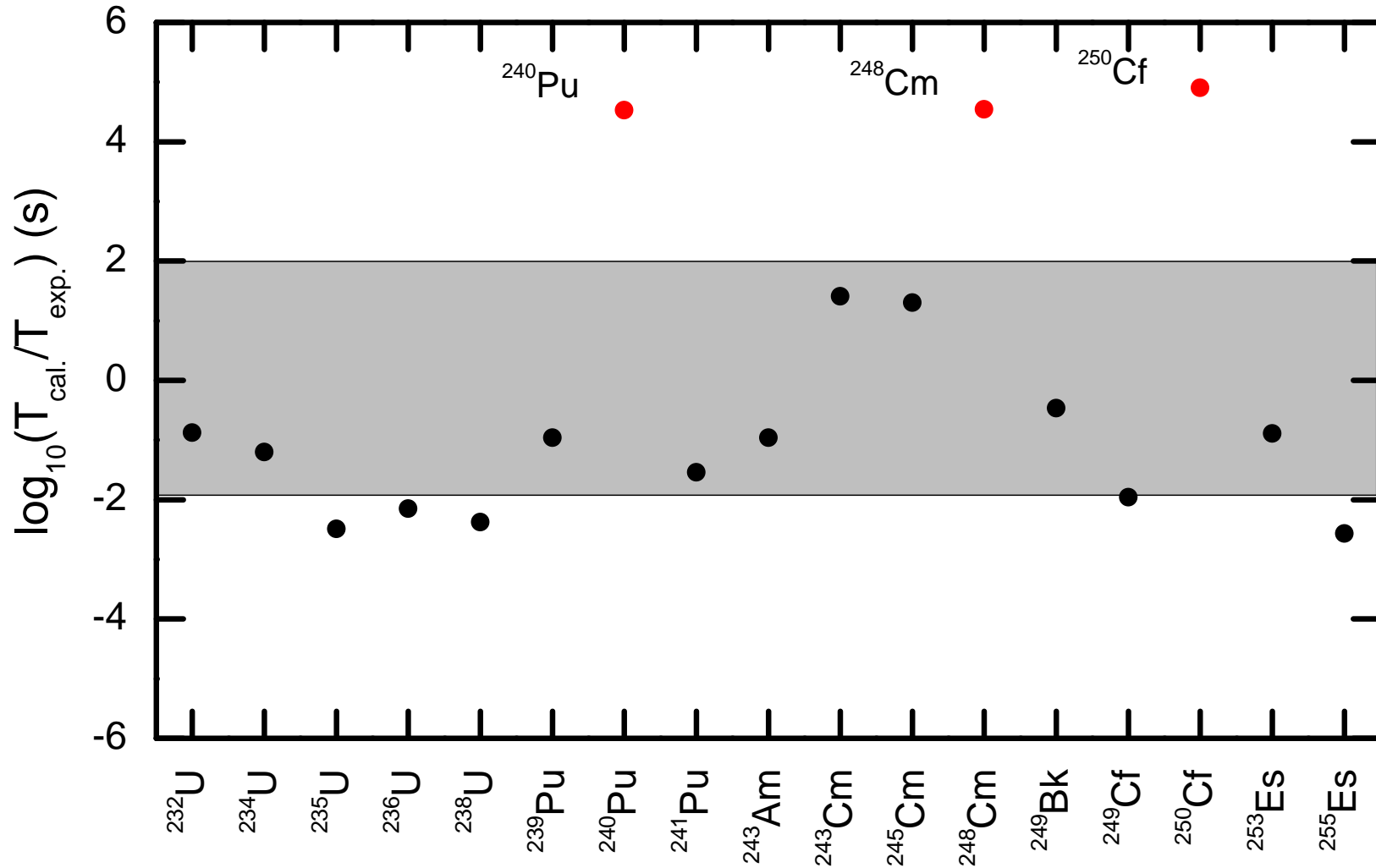
$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n$$

④ 半衰期计算

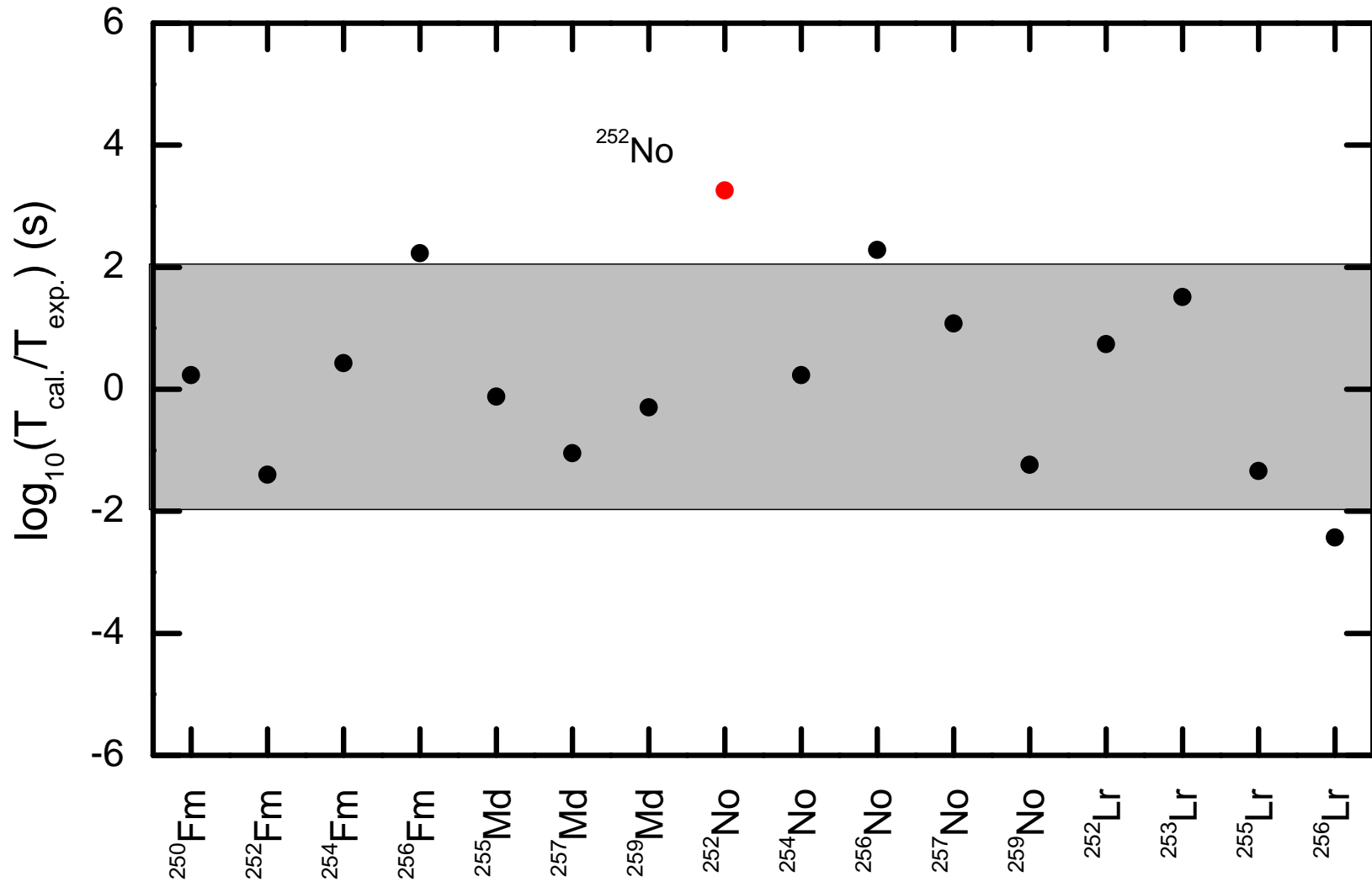
$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$



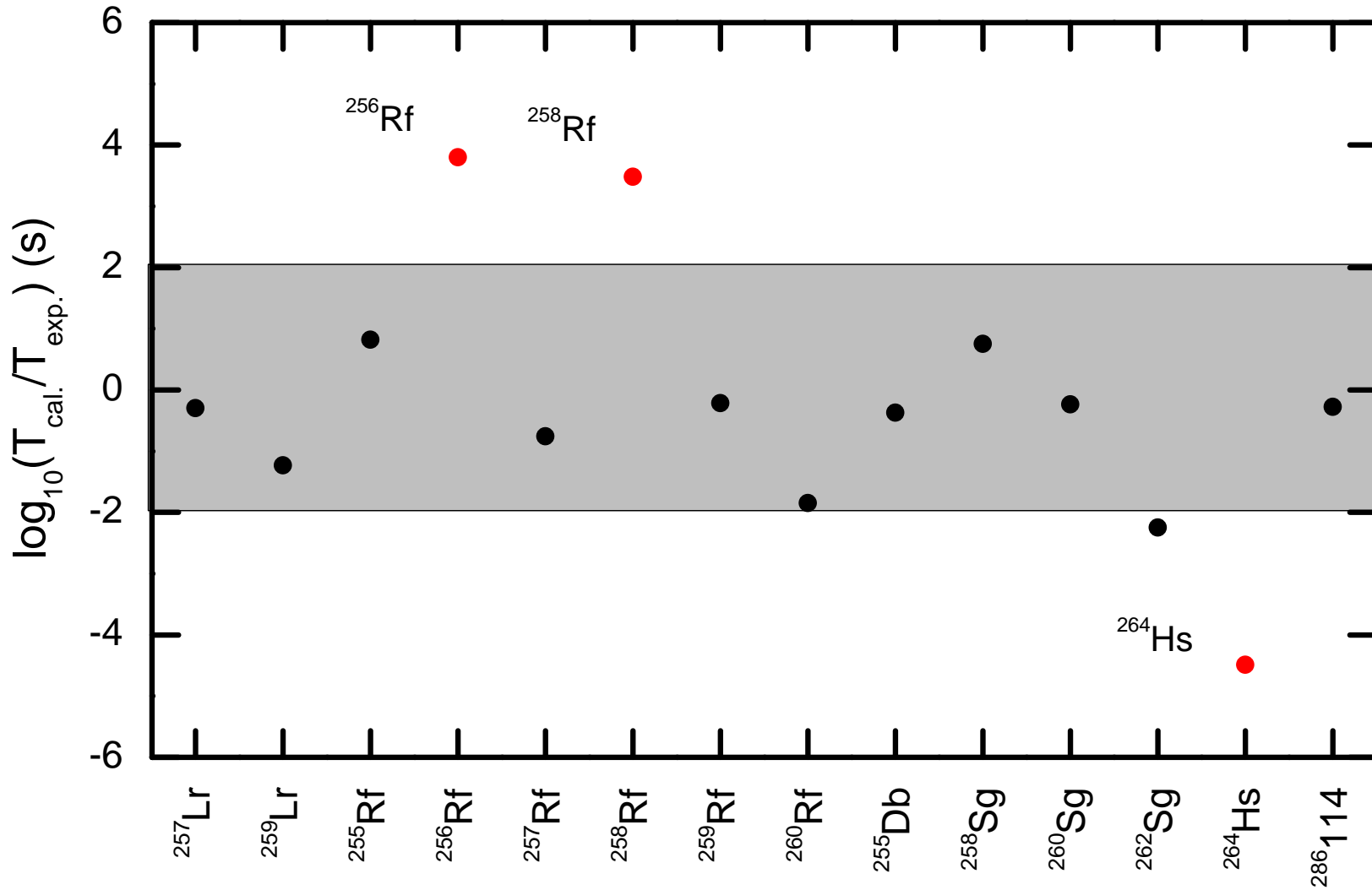
Spontaneous fission half-lives



Spontaneous fission half-lives



Spontaneous fission half-lives



Spontaneous fission half-lives

- 半衰期理论计算值与实验值偏差较大的原子核:

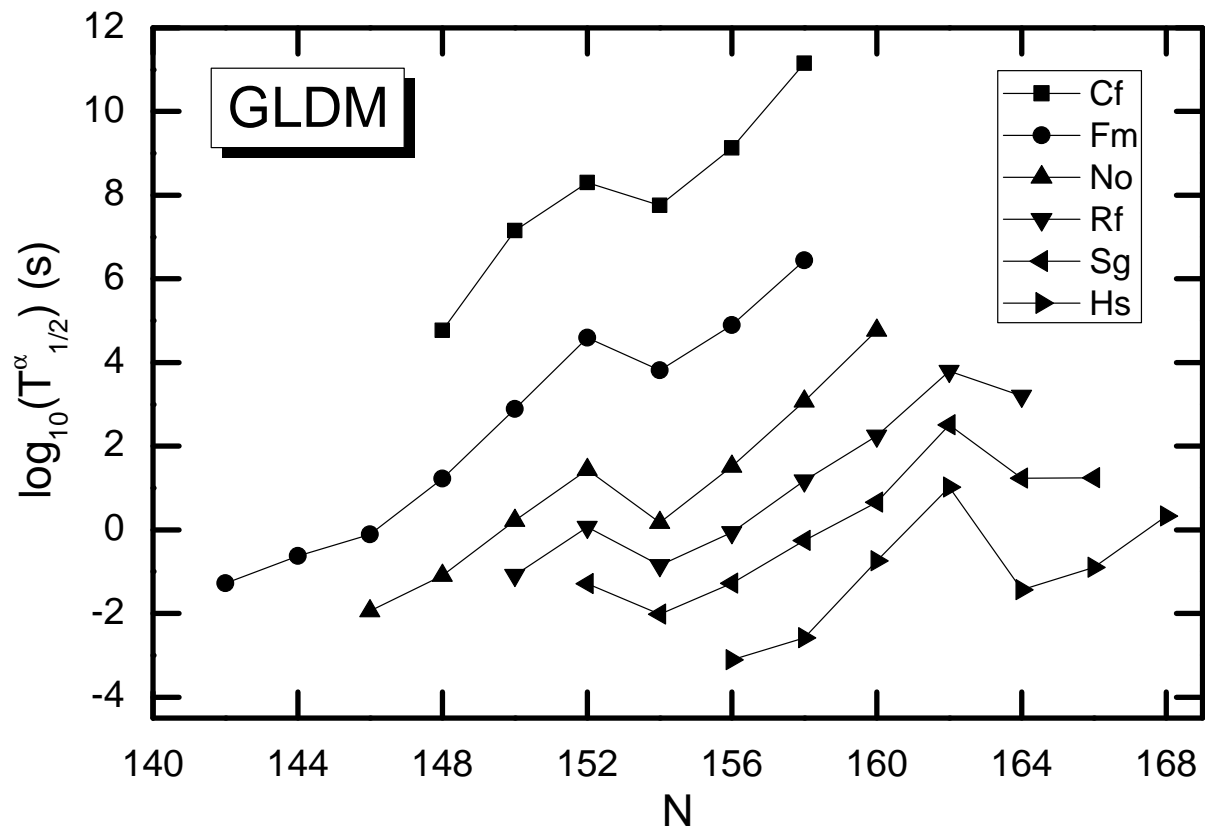
^{240}Pu , ^{248}Cm ,
 ^{250}Cf , ^{252}No ,
 ^{256}Rf , ^{258}Rf , ^{264}Hs .

- 其中 ^{248}Cm , ^{250}Cf , ^{252}No , ^{256}Rf , ^{258}Rf 核, 其N值在152附近。

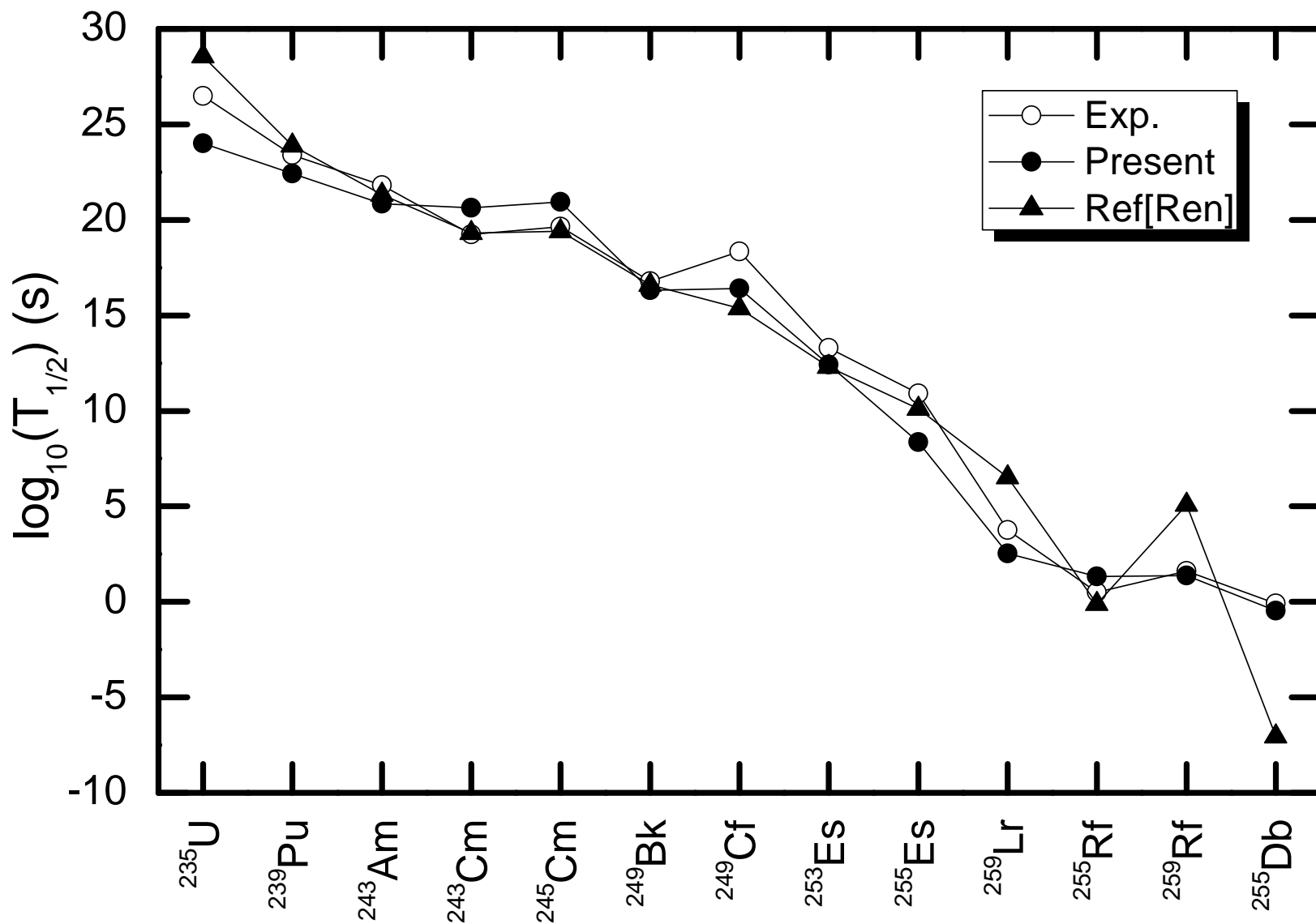
- ^{264}Hs 核质子数 $Z=108$.
参考文献: J. Dvorak et al PRL(2006).

- 参考文献: G.Audi and M.Wang(private communication).

N.Wang PRC (2010).

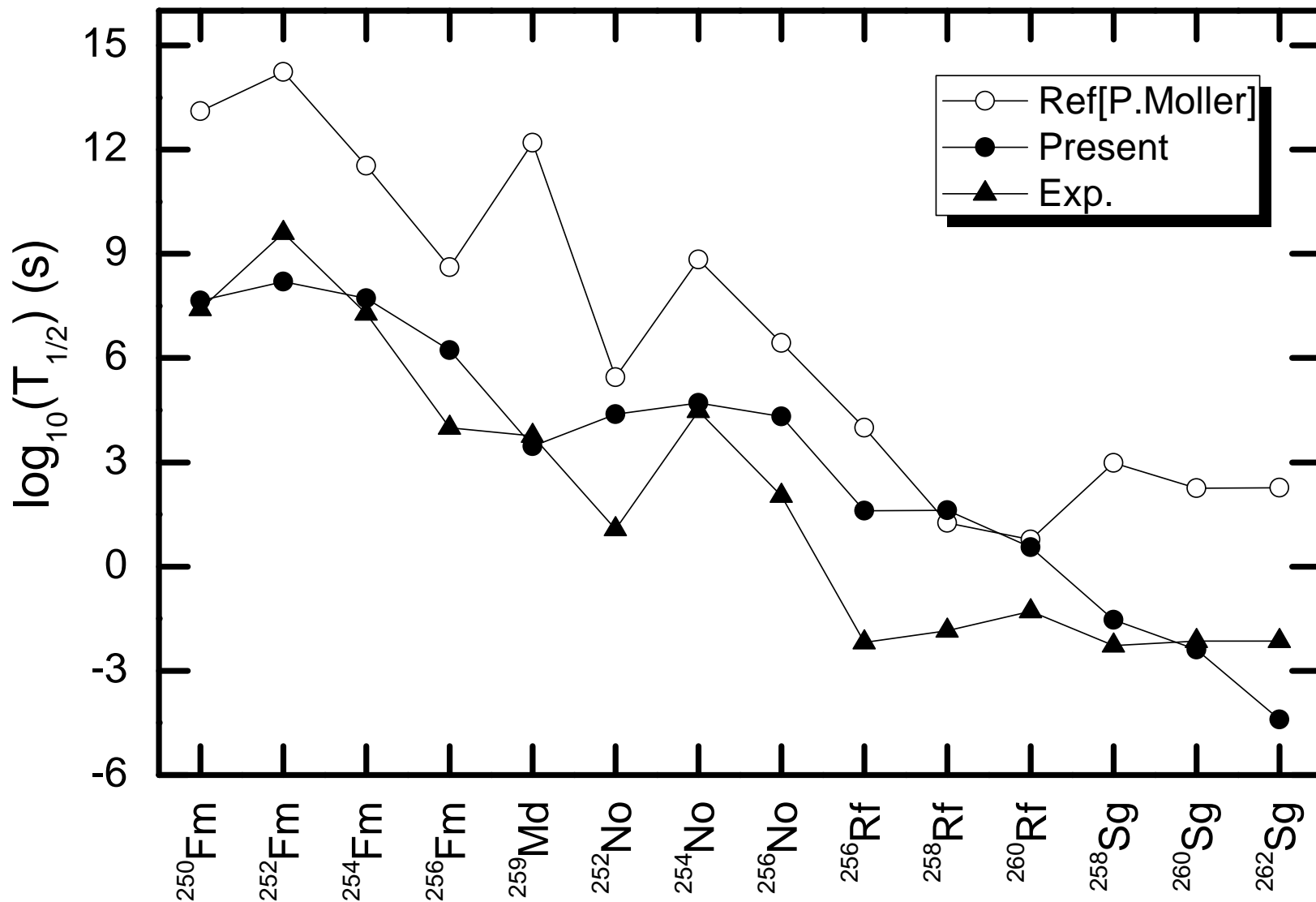


Spontaneous fission half-lives



参考文献: Z.Ren, C.Xu, Nucl.Phys.A 759,64(2005)

Spontaneous fission half-lives

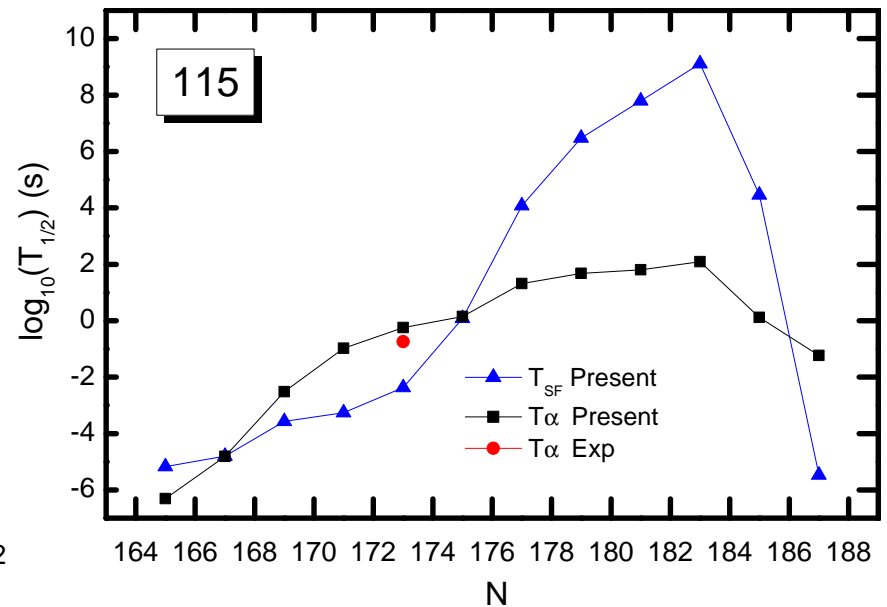
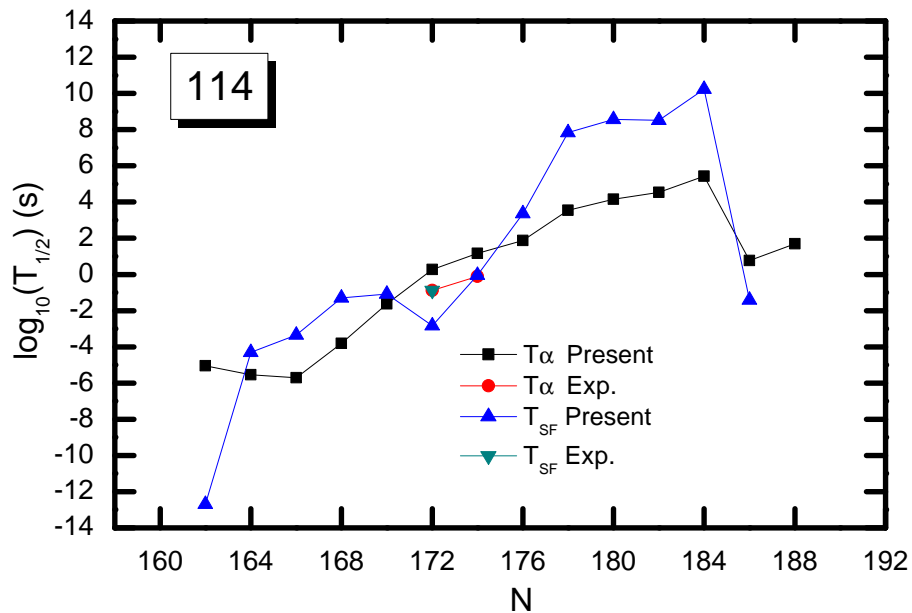


参考文献： P.Möller, J.R.Nix, and W.J.Swiatecki, Nucl. Phys. A492,349(1989)

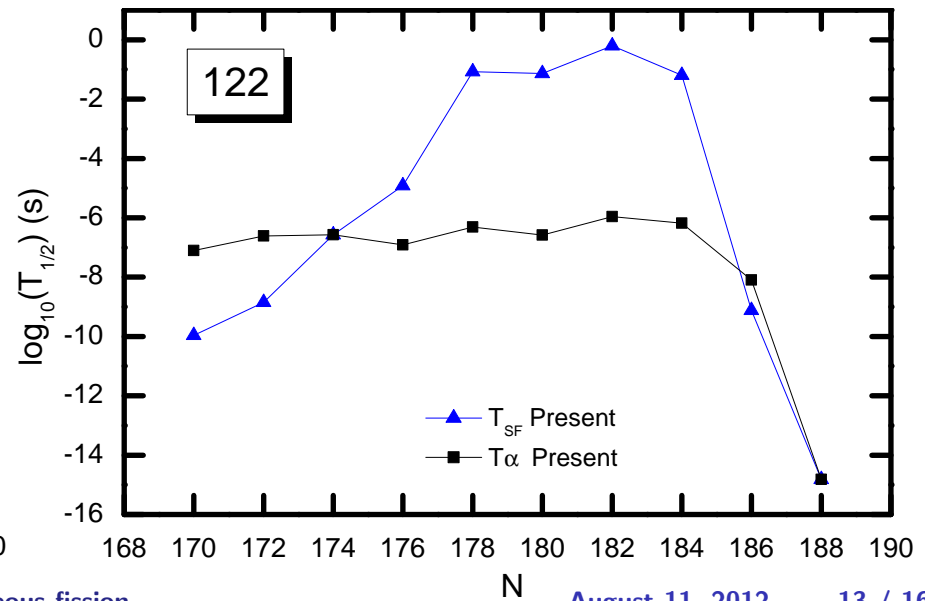
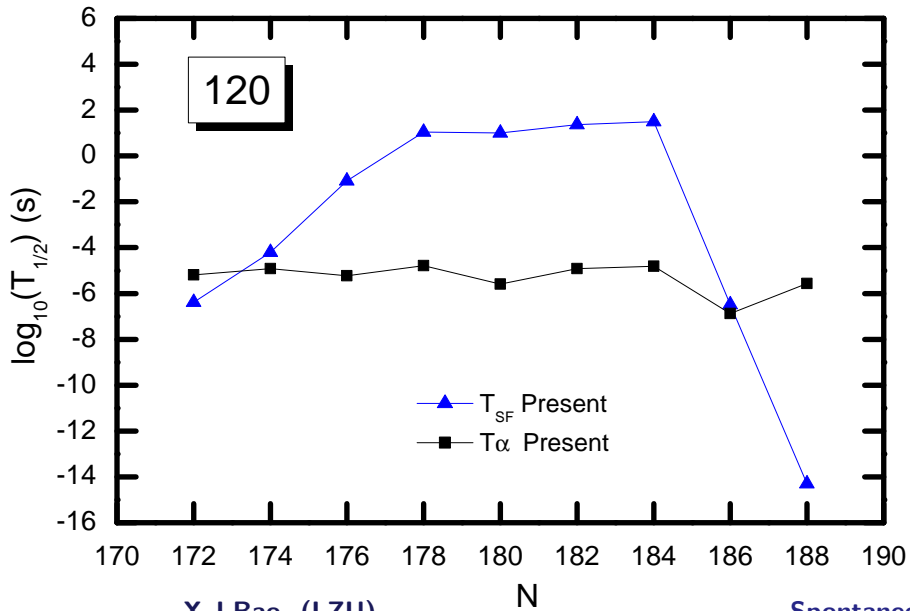
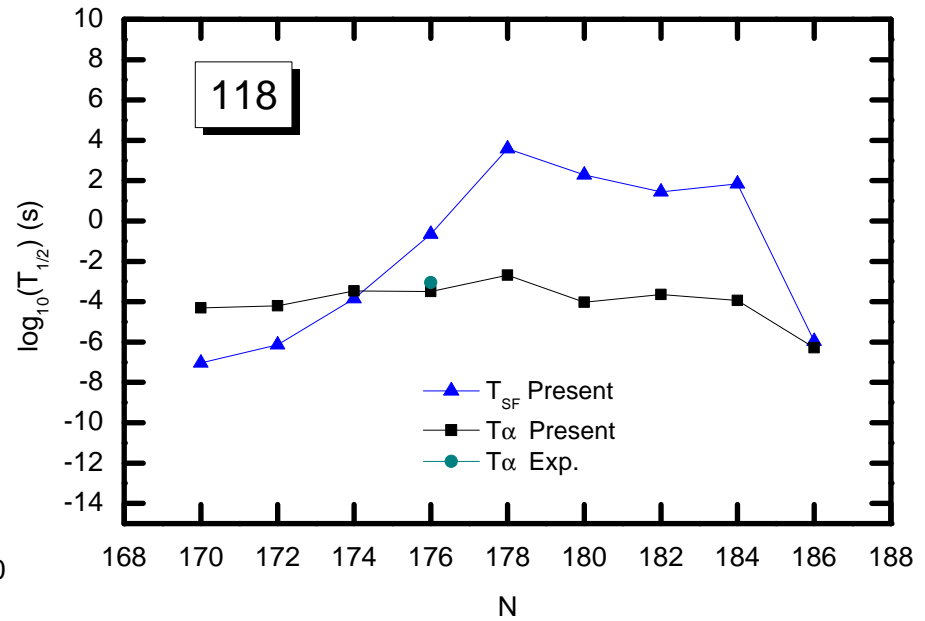
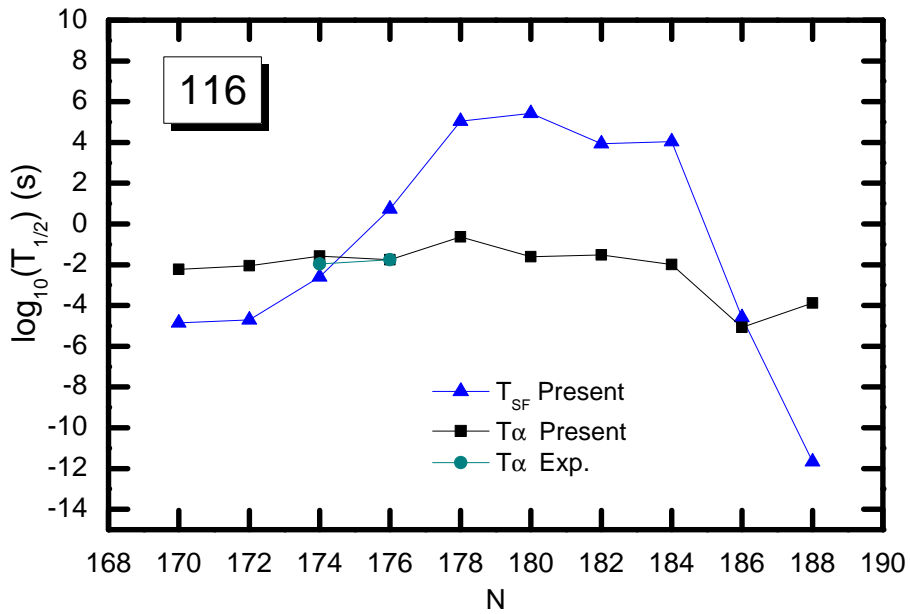
Spontaneous fission versus alpha decay

研究自发裂变与 α 衰变之间竞争的意义:

- 研究自发裂变和 α 衰变对超重核的稳定性影响
- 探索长寿命的超重核, 进一步研究超重稳定岛的位置
- 通过探测 α 衰变链确定新核素的合成



Spontaneous fission versus alpha decay



Conclusions and outlooks

● 结论:

- ✎ 基于考虑微观壳修正和对关联修正的推广液滴模型，同时考虑了裂变子核椭球形变，理论计算结果很好的再现了裂变位垒高度的实验值。

Conclusions and outlooks

● 结论:

- ✎ 基于考虑微观壳修正和对关联修正的推广液滴模型，同时考虑了裂变子核椭球形变，理论计算结果很好的再现了裂变位垒高度的实验值。
- ✎ 运用一维WKB近似计算了 $Z=92$ 到 $Z=114$ 原子核自发裂变半衰期，理论计算成功的再现了实验半衰期。

Conclusions and outlooks

● 结论:

- ✎ 基于考虑微观壳修正和对关联修正的推广液滴模型，同时考虑了裂变子核椭球形变，理论计算结果很好的再现了裂变位垒高度的实验值。
- ✎ 运用一维WKB近似计算了 $Z=92$ 到 $Z=114$ 原子核自发裂变半衰期，理论计算成功的再现了实验半衰期。
- ✎ 系统的计算了超重核区自发裂变与 α 衰变之间的竞争，从计算结果看到超重核区存在很多长寿命的新核素，同时通过探测 α 衰变链的方法确定新核素的合成。

Conclusions and outlooks

● 结论:

- ✎ 基于考虑微观壳修正和对关联修正的推广液滴模型，同时考虑了裂变子核椭球形变，理论计算结果很好的再现了裂变位垒高度的实验值。
- ✎ 运用一维WKB近似计算了 $Z=92$ 到 $Z=114$ 原子核自发裂变半衰期，理论计算成功的再现了实验半衰期。
- ✎ 系统的计算了超重核区自发裂变与 α 衰变之间的竞争，从计算结果看到超重核区存在很多长寿命的新核素，同时通过探测 α 衰变链的方法确定新核素的合成。

展望

- 考虑用微观质量张量计算势垒穿透几率。

Conclusions and outlooks

◎ 结论:

- ☞ 基于考虑微观壳修正和对关联修正的推广液滴模型，同时考虑了裂变子核椭球形变，理论计算结果很好的再现了裂变位垒高度的实验值。
- ☞ 运用一维WKB近似计算了 $Z=92$ 到 $Z=114$ 原子核自发裂变半衰期，理论计算成功的再现了实验半衰期。
- ☞ 系统的计算了超重核区自发裂变与 α 衰变之间的竞争，从计算结果看到超重核区存在很多长寿命的新核素，同时通过探测 α 衰变链的方法确定新核素的合成。

展望

- ◎ 考虑用微观质量张量计算势垒穿透几率。
- ◎ 考虑在推广液滴模型中加入双中心壳模型。

谢 谢

Spontaneous fission versus α decay

