理研RIBFミニワークショップ 「理論と実験で拓く中性子過剰核の核分裂」 2023年2月16日、17日 理化学研究所・和光キャンパス・RIBF棟大会議室 2023年2月17日 渡辺 裕

多核子移行反応による 中性子過剰アクチノイド実験への展望

KEK WNSC 渡辺 裕

- r 過程と中性子過剰アクチノイド
- 多核子移行反応による中性子過剰アクチノイド核の生成
- 元素選択型質量分離装置KISS
- ・将来計画KISS-II



S. Goriely and G.M. Pinedo, Nucl. Phys. A 944, 158 (2015).

分裂障壁



r 過程元素合成シミュレーションとアクチノイド核の質量



J.J. Mendoza-Temis et al., Phys. Rev. C 92, 055805 (2015).

中性過剰アクチノイド領域



E.M. Holmbek et al., Astrophys. J. 870, 23 (2019).

中性過剰アクチノイド領域





²⁴⁸₉₆Cm標的による多核子移行反応









理研RIBF施設 (RIビーム・ファクトリー)



KEK元素選択型質量分離装置 (KISS)



KISS実験セットアップ: 質量測定 多重反射型飛行時間測定式質量分光器 (MRTOF-MS) KISSビーム **入口穴** *ϕ*2 mm ヘリウム・ガス・セル 静電スイッチ 静電場 RFカーペット 四重極イオン・ガイド 線形ポール・トラップ **MRTOF-MS** ステアラー Ion detector フラット・トラップ 線形ポール・トラップ イオン源 質量分解能~500 000



数10 msの時間、数10イベントで1 ppmの精密質量測定 (アクチノイド領域で $\delta M < 100$ ke \checkmark)。







- ➢ MRTOF-MSでの収量 / 生成レートの計算値 = 10⁻⁶ ~ 10⁻⁵
- 引き出し効率 = 0.01% ~ 0.05%
- MRTOFの効率 = 2% ~ 5%
- レーザー共鳴イオン化の効率 = 50% (repitition 50 Hz)



核分裂に対する残存率 = 10%~100%?

将来計画 KISS-II

KEK Report 2022-2 (2022). https://arxiv.org/abs/2209.1264§

"分離せずに複数の核種を同時測定"

- ▶ 一次ビーム分離器 → 高強度ビーム
- ▶ 高周波ヘリウム・ガス・セル → 全ての元素の高効率な捕集
- ➤ 可変質量範囲分離器、MRTOF-MS → 複数核種の同時測定、崩壊測定の核種同定

	一次ビーム	全効率	同時測定核種数	能率
KISS	10 pnA	<0.1%	1	1
KISS-II	1 pµA	>1%	> 10	> 10 000
	ー次ビーム分離器	高周波ヘリウム・ガス・ セル	可変質量範囲分離器 MRTOF-MS	



KISS-IIで期待される収量 ²³⁸U (9.4A MeV, 1 pµA) + ^{nat}U (13 mg/cm²)



ベータ遅延中性子放出、ベータ遅延分裂







I.V. Panov et al., Phys. Atom. Nucl. 76, 88–101 (2013).





N

M.R. Mumpower et al., Prog. Part. Nucl. Phys. 86, 86–126 (2016).

まとめ

- r 過程の終端部
 - ・ 分裂障壁の不定性 ← 質量の不定性
 - 質量の不定性 → 元素存在度パターンの不定性
- ▶ トリウム、ウランの起源
 - A = 232~252の中性子過剰アクチノイドが寄与
- ▶ 多核子移行反応による中性子過剰アクチノイド核の生成
 - U、Cmを標的として陽子ピックアップ、中性子ストリッピング
 - ²³⁸Uなどの重いイオンビームが有利
- ▶ 元素選択型質量分離装置KISS+MRTOF質量分光器
 - 多核子移行反応の生成核を効率的に収集、分離、同定
 - ²³⁸U + ¹⁹⁸Pt反応で新同位体²⁴¹Uを同定

 \succ K I S S - I I

- KISSの10,000倍の能率
- 110種類以上の中性子過剰アクチノイド近傍の新同位体の質量を精密測定 (δM < 100 keV)