

動力学モデルにおけるトリウム同位体の 核分裂の振る舞い

近畿大学 大学院 総合理工学研究科
エレクトロニクス系工学専攻 1年
宮堺 渉
共同著者：有友嘉浩、高木慎弥

令和3年度
2021年12月7日(火) 基研研究会

目次

1. 背景と目的

動力学模型と不安定核の核分裂現象について

2. 理論と方法

理論模型と方法の説明

3. 計算結果

スタートポイントの変形度 δ_0 を増加させたときの分布

4. 考察

動力学模型の特性、特徴の考察

5. 結論と今後の展望

まとめ、今後の課題の検討

目次

1. 背景と目的

2. 理論と方法

3. 計算結果

4. 考察

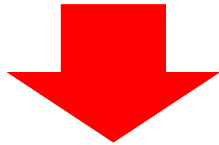
5. 結論と今後の展望

背景

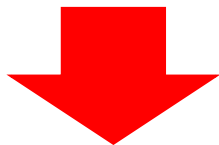
1938年にウランの中性子照射によって核分裂反応が発見された。



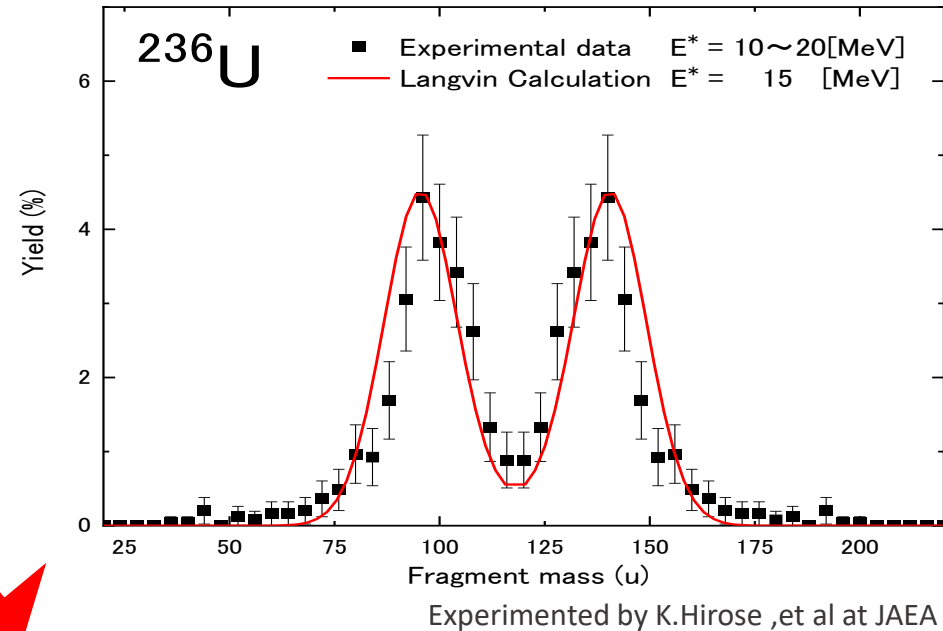
核分裂現象を理解するため様々なモデルが考案された



原子核形状の時間発展を計算する
動力学モデルを開発



核分裂現象の詳しい解析が可能



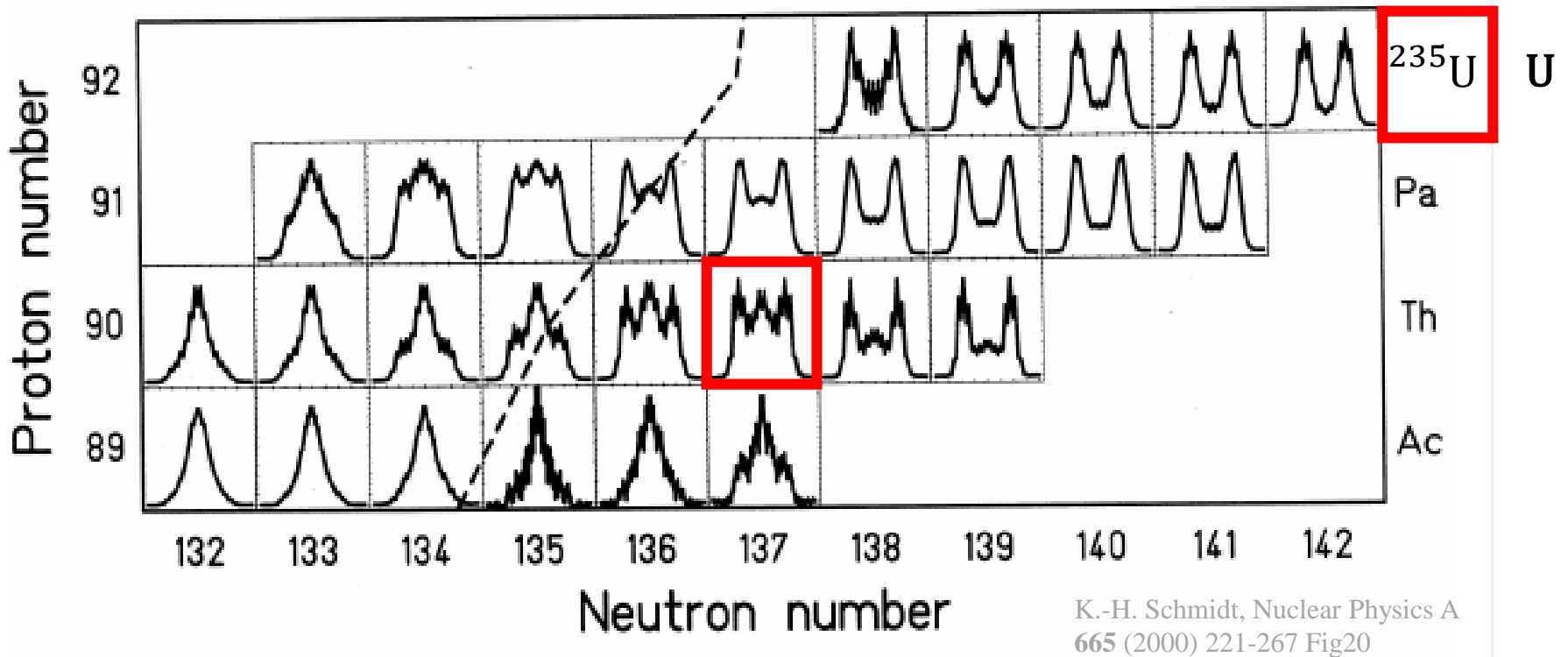
統計モデル、液滴モデル、
殻モデル、TDHF etc



不安定核について
調べる

GSIの実験結果

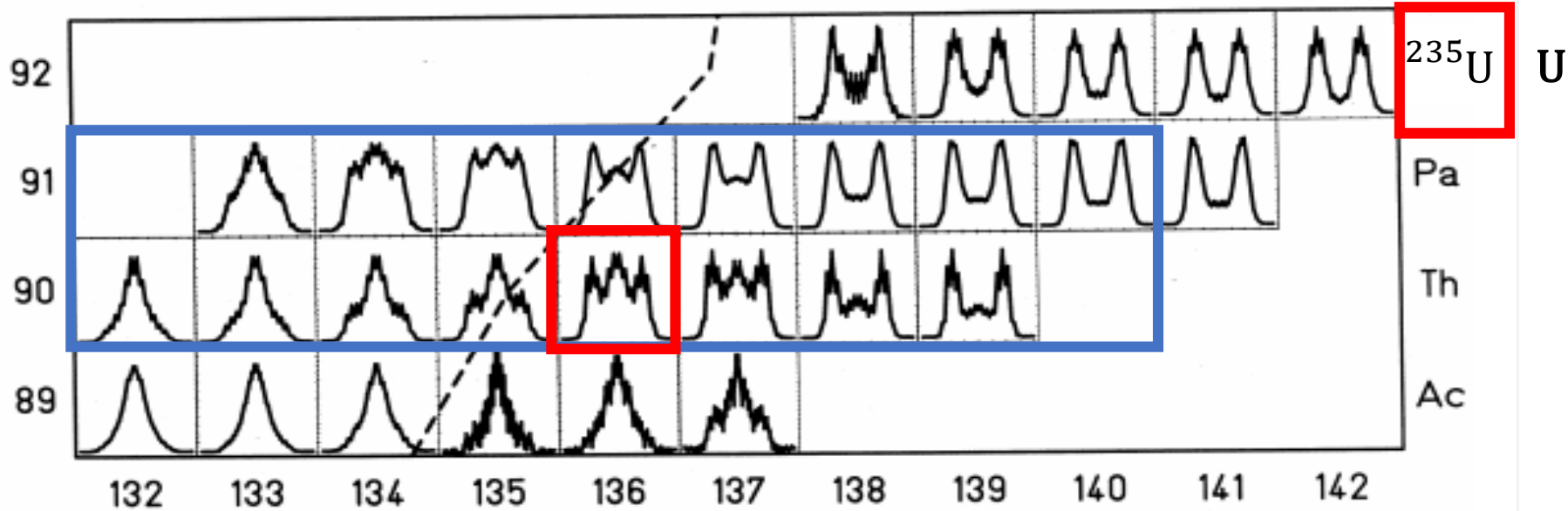
11MeV付近の低励起エネルギー



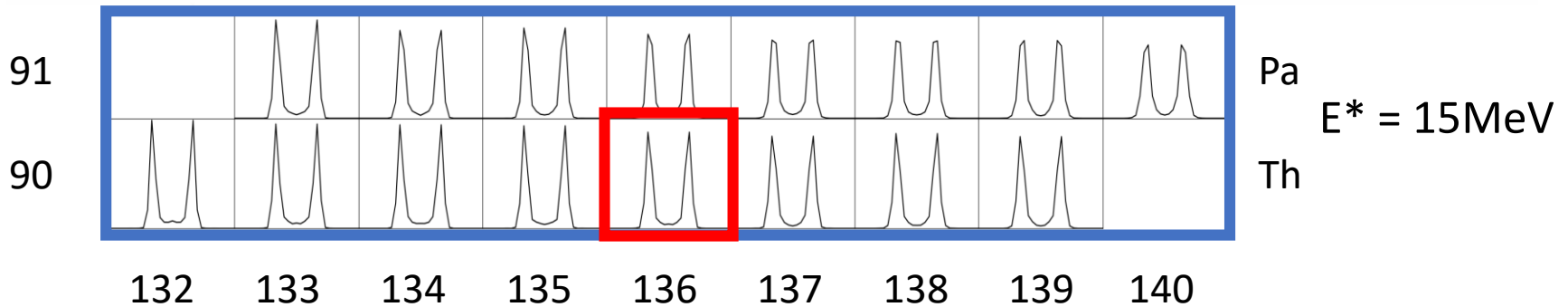
- 中性子が少ない不安定な領域である ${}^{227}_{90}\text{Th}_{137}$ 付近では、対称核分裂と非対称核分裂が同時に現れる。

実験値との比較

実験値



ランジュバン計算の結果



Neutron number

研究の目的

- 過去の研究により、我々が理論計算に用いている動力学モデルは、ウランやプルトニウムなどの安定な核分裂の実験データを再現し、核分裂現象の説明に貢献している。



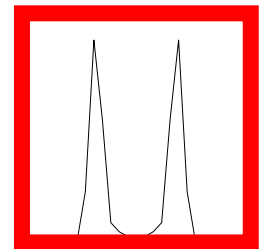
しかし

- 中性子が少ない不安定な原子核では、実験結果より知られている核分裂現象を再現できない。

実験値



現在の計算値



- ${}_{90}^{226}\text{Th}_{136}$ を詳しく解析することにより原因の解明をする。

目次

1. 背景と目的

2. 理論と方法

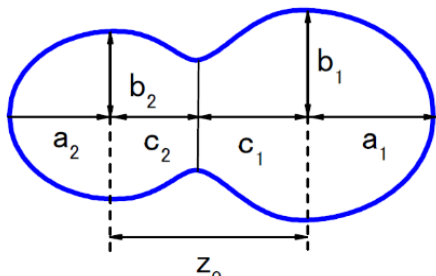
3. 計算結果

4. 考察

5. 結論と今後の展望

理論模型

* 二中心間模型



R: 複合核の半径
 A_1 : 分裂片質量1
 A_2 : 分裂片質量2

中心間距離 : $z = |c_1| + |c_2|$

変形度 : $\delta = \frac{3(a-b)}{2a+b}$

質量非対称度 : $\alpha = \frac{A_1 - A_2}{A_1 + A_2}$

(Maruhn and Greiner, Z. Phys. 251(1972) 431)

* ポテンシャルエネルギー

$$V(q_i, T) = V_{LDM}(q_i) + V_{SH}(q_i, T) + \frac{\hbar^2 L(L+1)}{2J(q_i)}$$

* 液滴ポテンシャル

$$V_{LDM}(q_i) = E_s(q_i) + E_c(q_i)$$

$E_s(q_i)$: 表面項

$E_c(q_i)$: クーロン項

* 殻補正エネルギー

$$V_{SH}(q_i, T) = E_{shell}^0(q_i) \Phi(T)$$

$$\Phi(T) = \exp\left\{-\frac{aT^2}{E_d}\right\}$$

$E_d = 20 \text{ MeV}$
 $E = aT^2$

* 多次元ランジュバン方程式

$$\frac{dq_i}{dt} = (m^{-1})_{ij} p_j$$

$$\frac{dp_i}{dt} = -\frac{\partial V}{\partial q_i} - \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial q_i} (m^{-1})_{jk} p_j p_k - \gamma_{ij} (m^{-1})_{jk} p_k + g_{ij} R_j(t)$$

摩擦力
散逸

ランダム力
揺動

q_i : 変形度パラメータ

p_j : 共役運動量

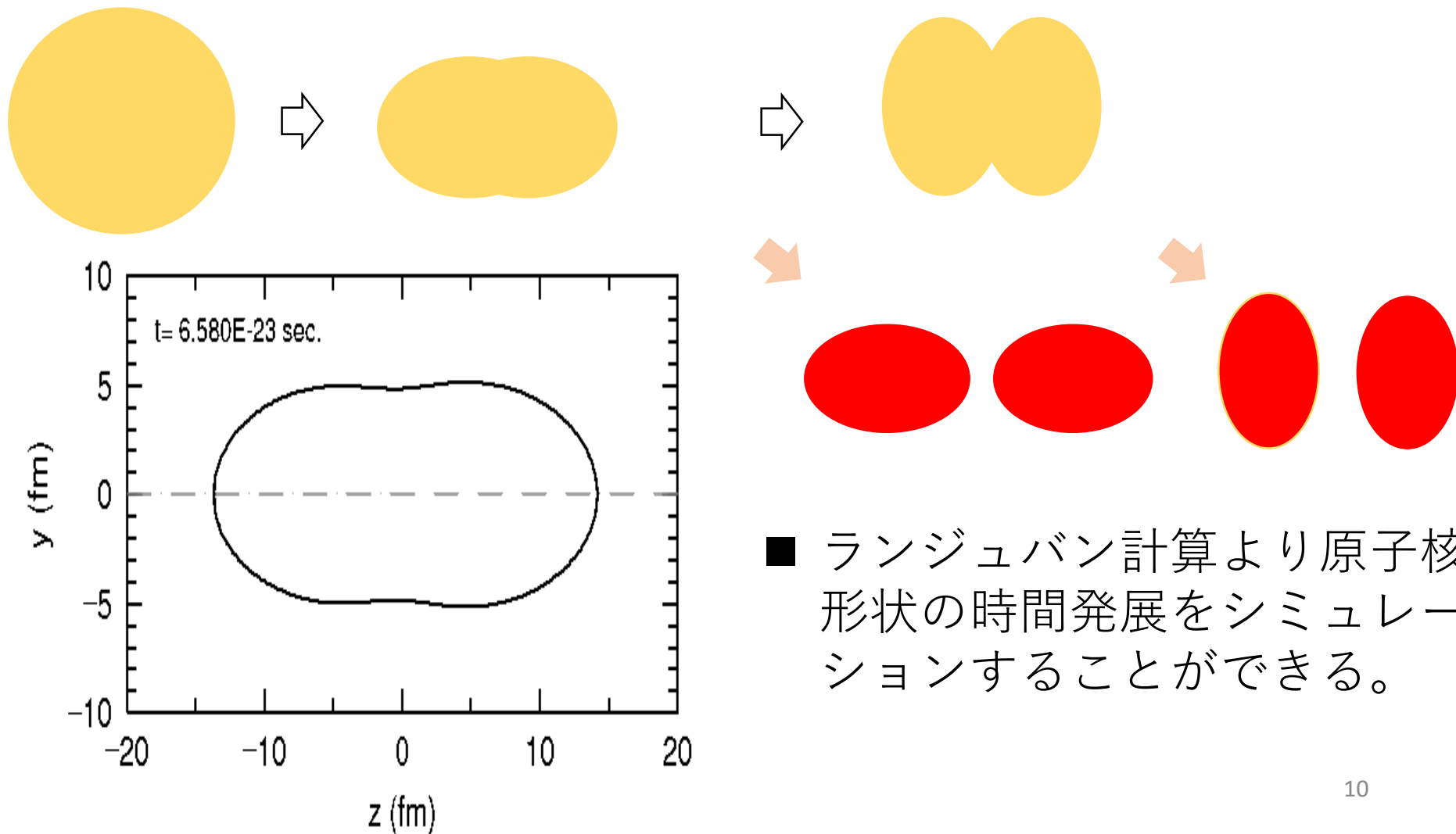
m^{-1} : 慣性質量

γ_{ij} : 摩擦係数

R_j : ランダム変数

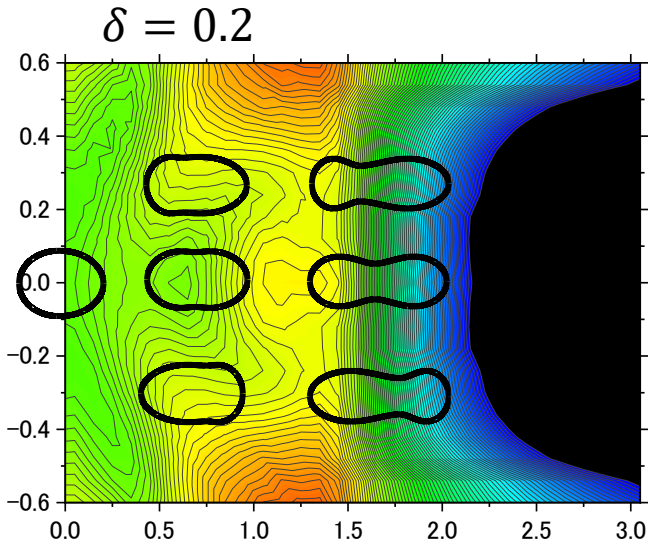
動力学モデルによる核分裂シミュレーションの例

反応時間[s]

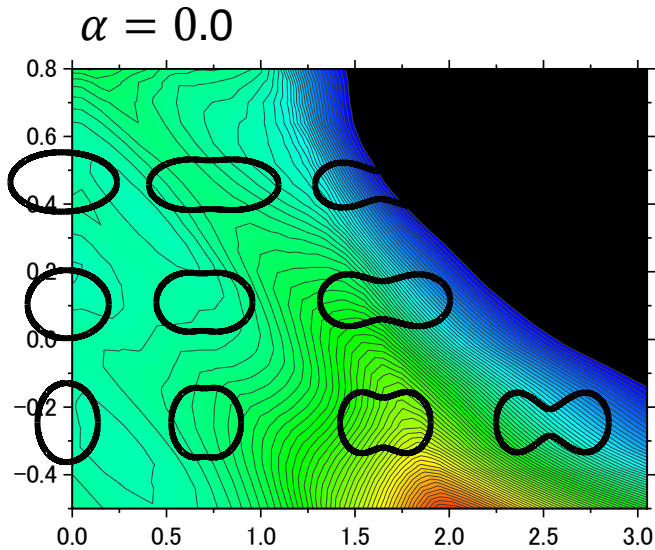


z- δ - α 空間ポテンシャルの見方

Mass asymmetry α



Deformation δ



Distance between centroids z

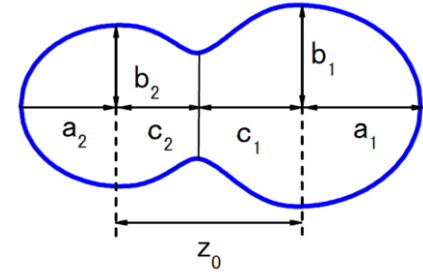
$$z = \frac{z_0}{BR}$$

$$B = \frac{3 + \delta}{3 - 2\delta}$$

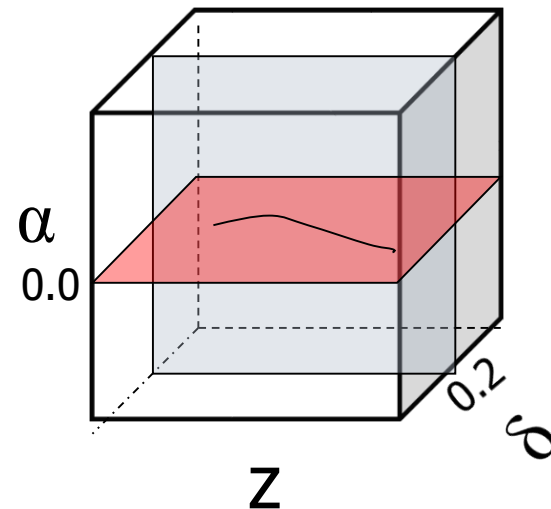
R : Radius of the spherical compound nucleus

$$\delta = \frac{3(a - b)}{2a + b}$$

$$\alpha = \frac{A_1 - A_2}{A_{CN}}$$



Projection on two-dim. plane

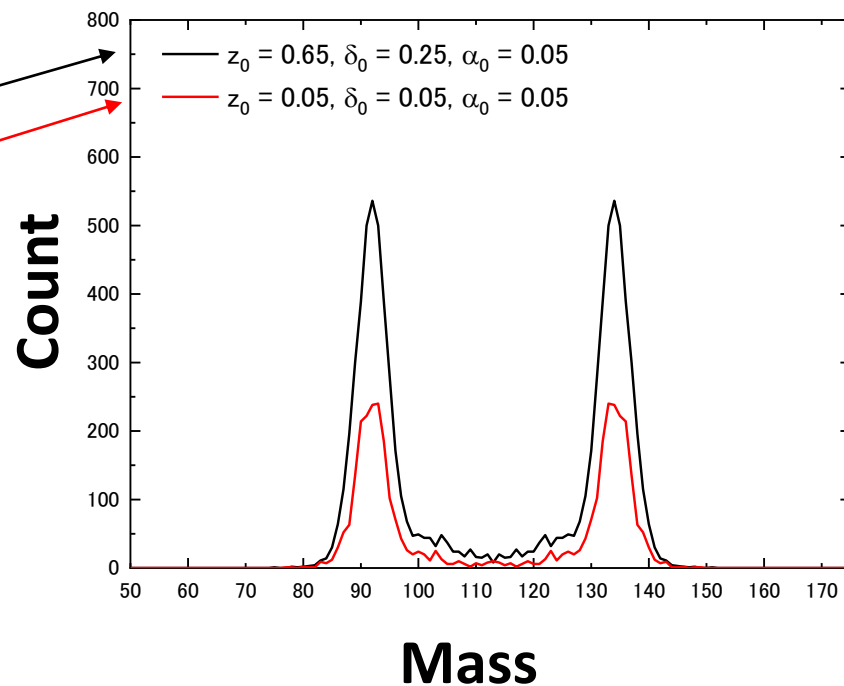
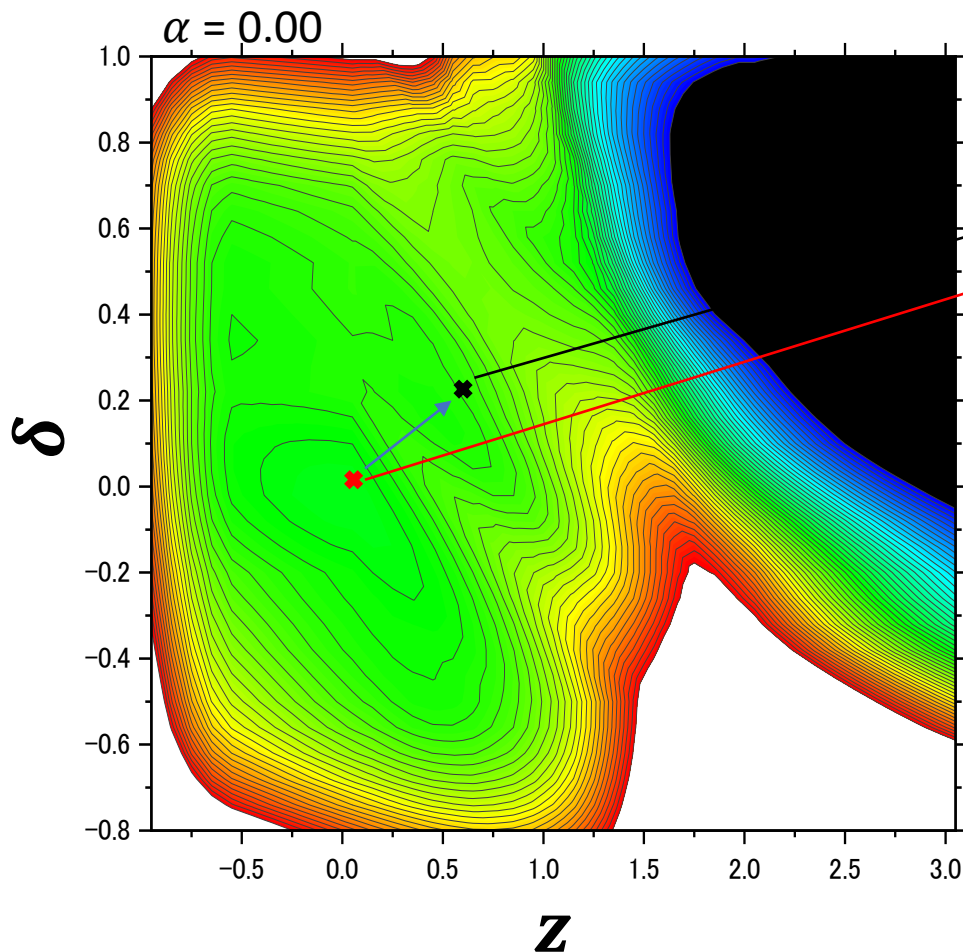


$^{226}_{90}\text{Th}_{136}$ の計算

✖ $\{z_0, \delta_0, \alpha_0\} = \{0.05, 0.05, 0.05\}$

✖ $\{z_0, \delta_0, \alpha_0\} = \{0.65, 0.25, 0.05\}$

計算開始地点



目次

1. 背景と目的

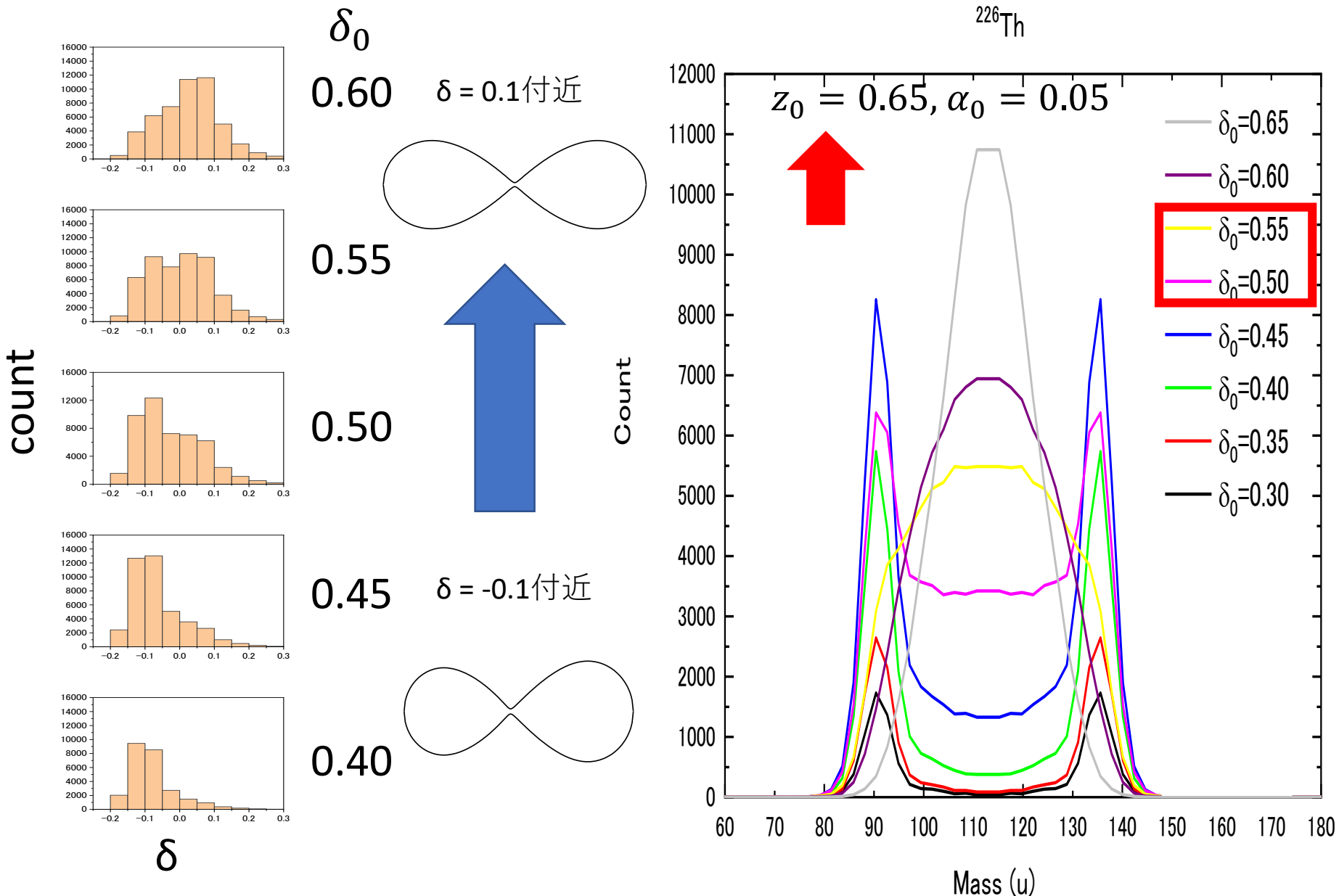
2. 理論と方法

3. 計算結果

4. 考察

5. 結論と今後の展望

計算結果①



目次

1. 背景と目的
2. 理論と方法
3. 計算結果
- 4. 考察**
5. 結論と今後の展望

目次

1. 背景と目的

2. 理論と方法

3. 計算結果

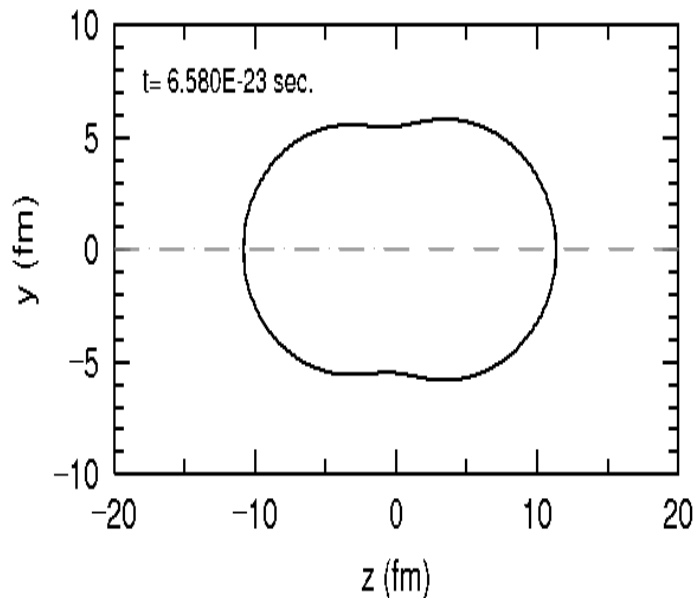
4. 考察

5. 結論と今後の展望

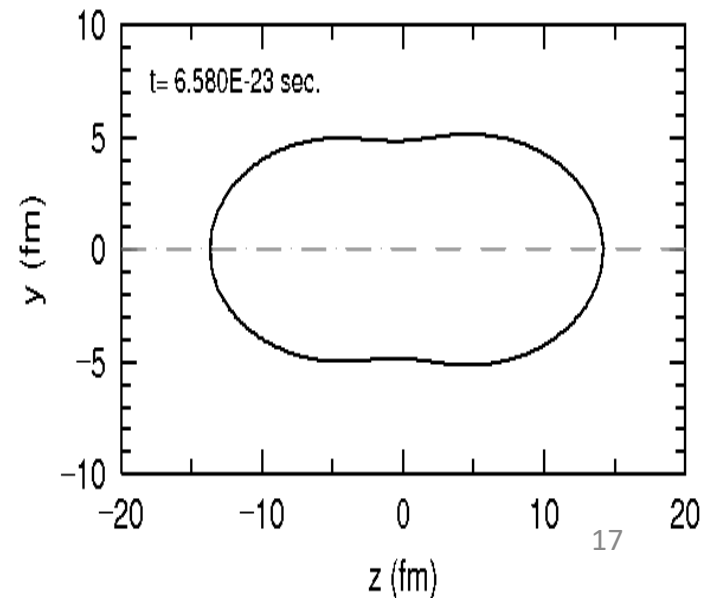
まとめ

- z - δ 平面の軌道は重心間距離離れるにつれて δ が小さくなり、最終的に核分裂点 δ 、 -0.1 、 0.1 に落ち着く。
- δ_0 が大きいほど z - α 平面ポテンシャルは対称核分裂の谷が現れる。

非対称分裂



対称分裂



ご静聴ありがとうございます