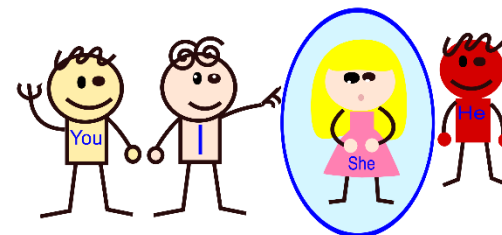
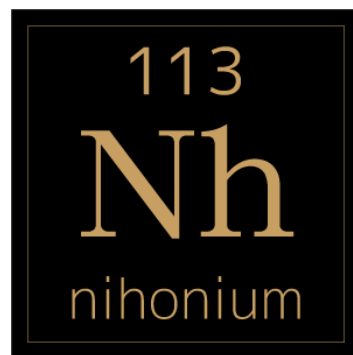
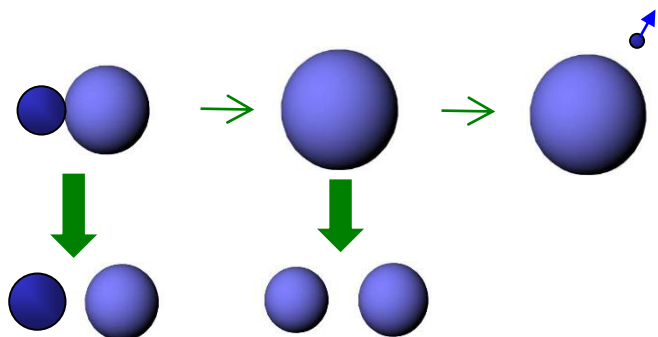


超重元素領域における 核反応理論の課題



TOHOKU
UNIVERSITY

萩野浩一 東北大学



she

1. 超重元素領域における重イオン核融合反応
2. $Z=119$ 及び 120 に向けて
3. 安定の島に向けて
4. まとめ

超重元素科学

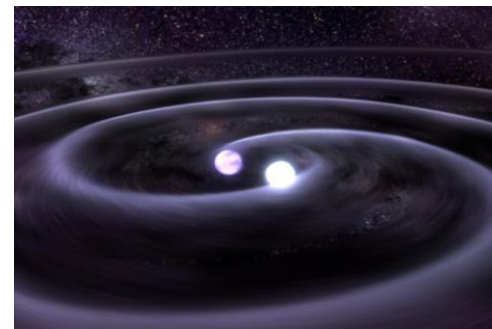
物理



化学

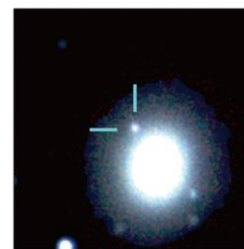


天文

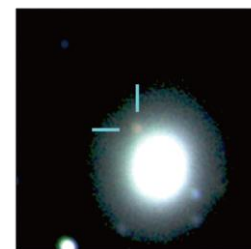


1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 H	2 He																
3 Li	4 Be																
5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne												
11 Na	12 Mg																
13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar												
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	89 Ac	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og
* 58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu				
* 90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr				

2017.08.18-19



2017.08.24-25



超重元素：強いクーロン場の下での量子多体問題

→ 物理、化学、天文の連携による超重元素科学の包括的な理解

この研究会で、連携の在り方を議論できれば。。。。

超重元素科学における核物理の課題

➤ 新元素をどう作るのか?

- ✓ 新元素の探索と超重元素の核構造
- ✓ 中性子過剰ビームを使った新原子核生成反応の開拓
- ✓ 超重元素合成の鍵を握る中性子過剰核の研究
- ✓ 多核子移行反応手法の開拓

➤ 重元素/超重元素を使った応用

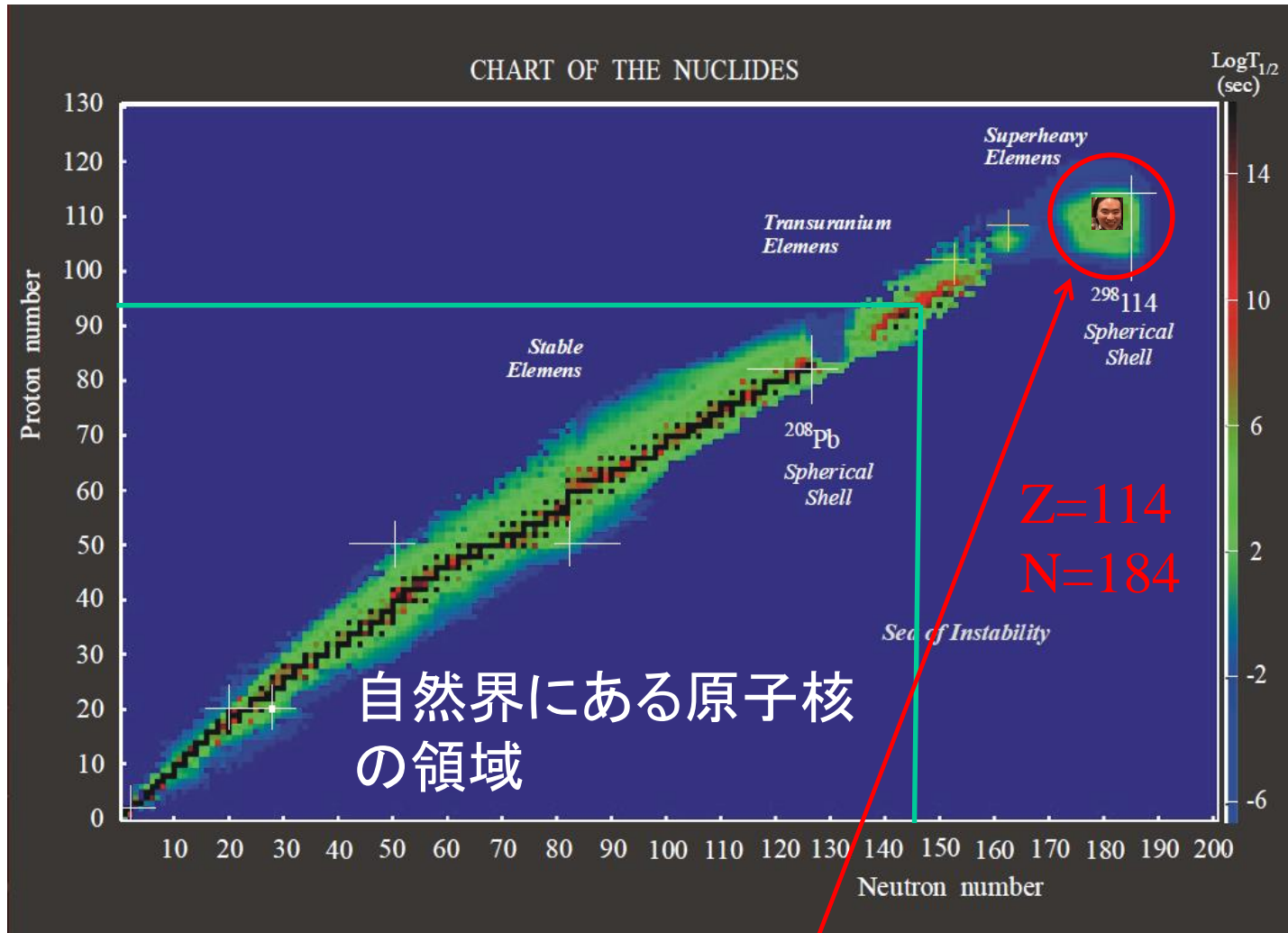
- ✓ 人工重元素結晶で解明する反物質消失機構



- 新元素 ($Z=119, 120$) の探索
- 安定の島の探索
- 重元素・超重元素を使った応用

核反応理論の
立場から

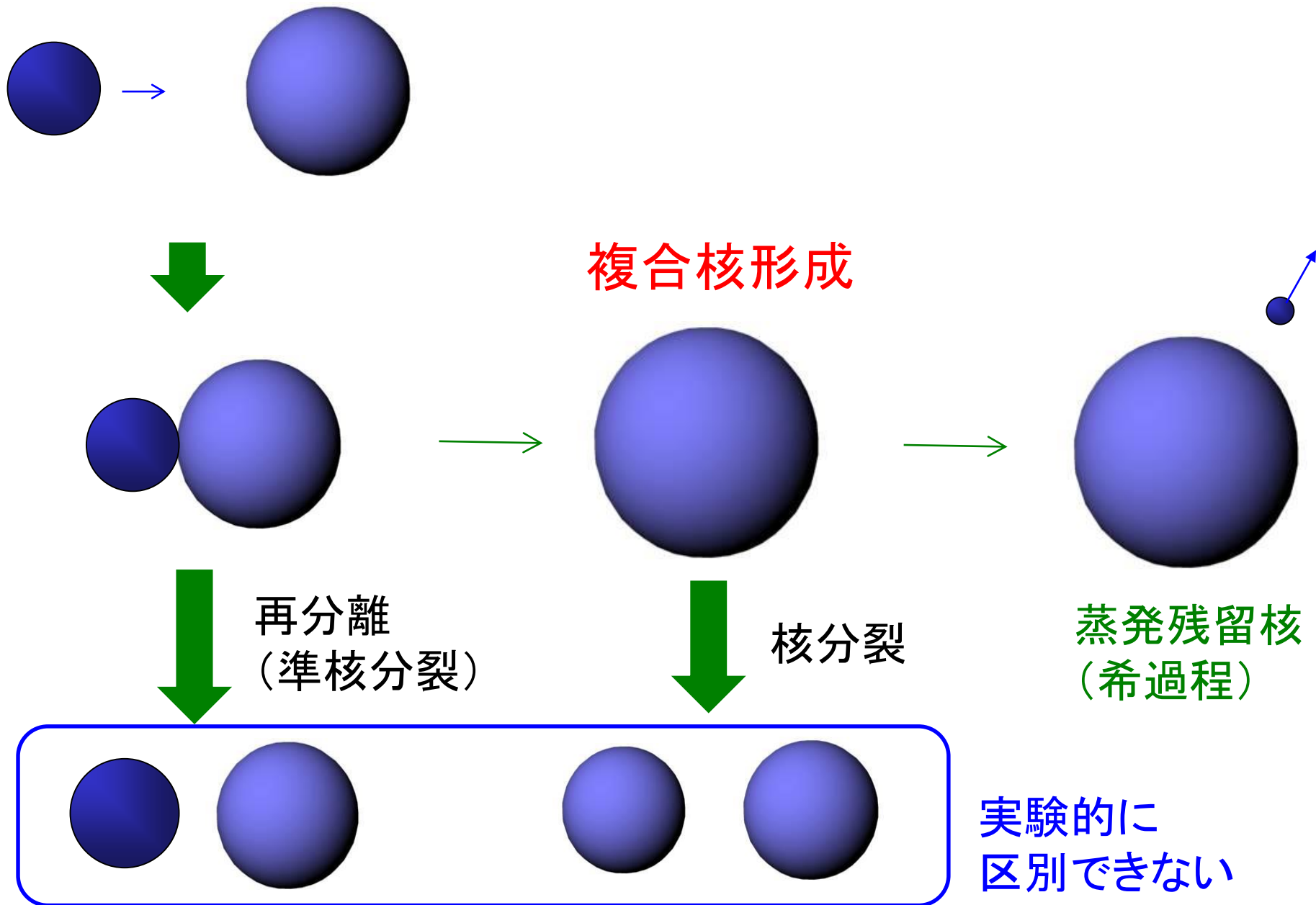
超重元素合成反応



Yuri Oganessian

「安定の島」の理論的予言
(1966年: スビアテッキラ)

超重元素領域における重イオン核融合反応



超重核領域における核融合反応 ($Z_P * Z_T > 1600 \sim 1800$)

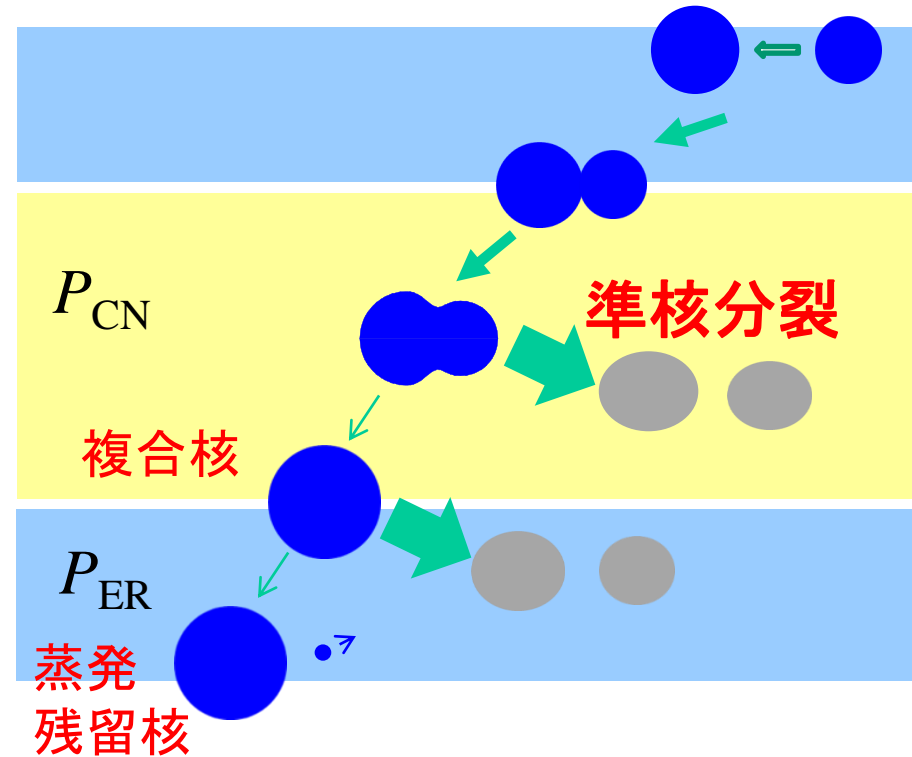
超重元素の生成: 非常に稀な過程

→ 大きな理論的不定性

- ✓ P_{CN} に対する実験データがない
- ✓ 実験データは P_{ER} のみ

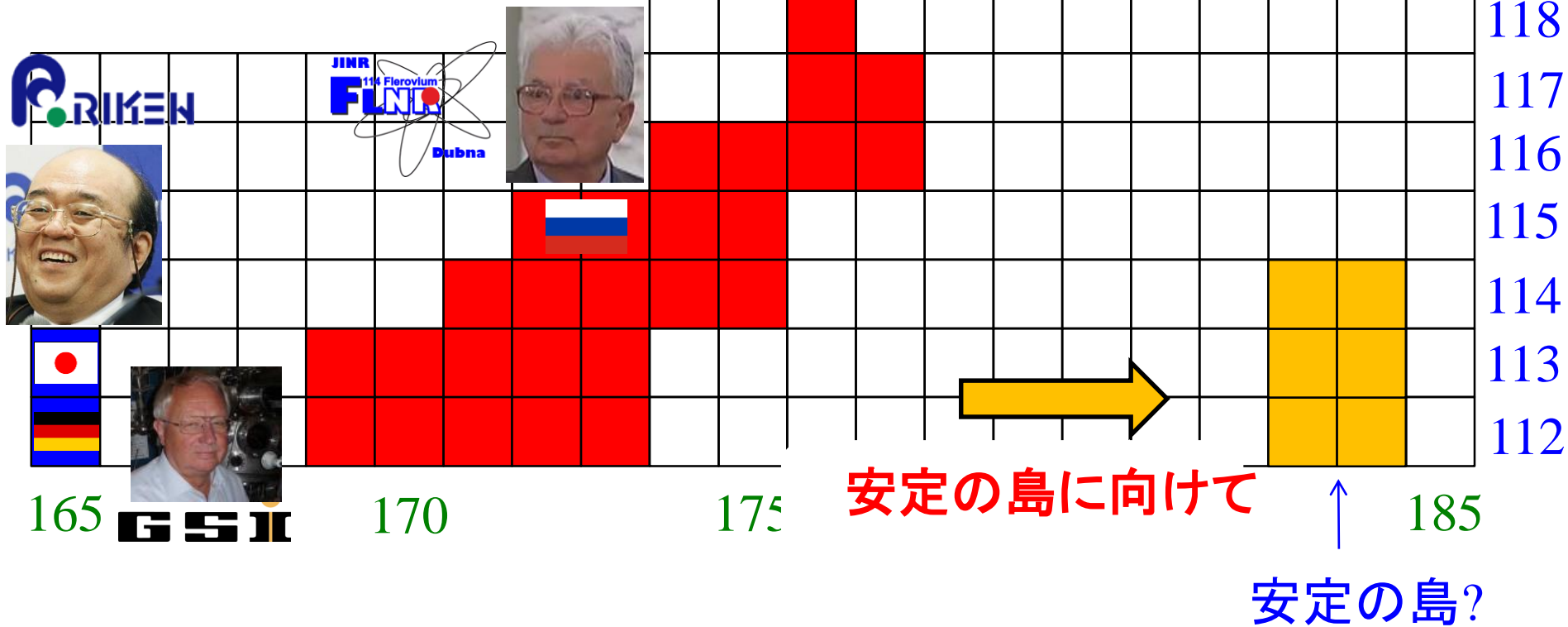
CN=複合核、ER=蒸発残留核

挑戦的課題:
いかに理論的不定性を小さくして
信頼できる理論予言が出来るか?



今後の研究の方向性

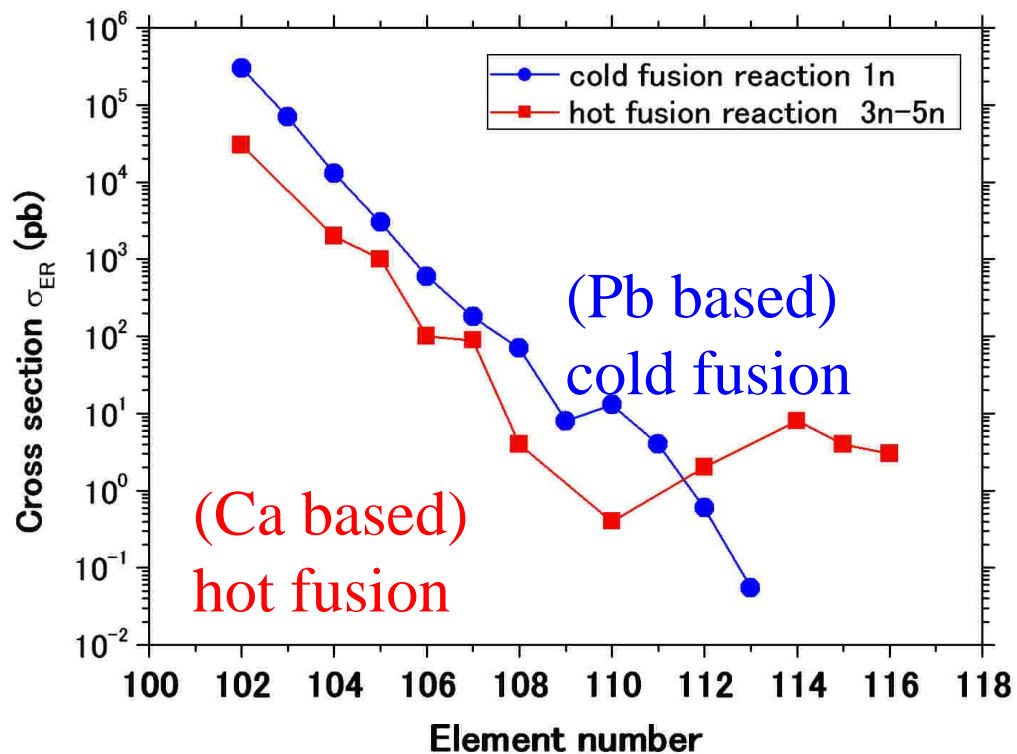
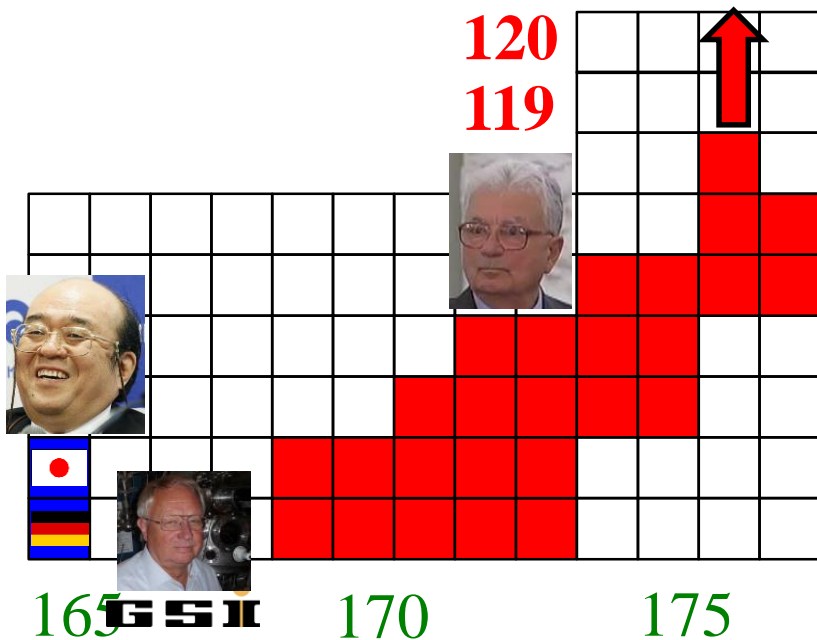
これまでに生成された
超重元素



理論の課題:

- 反応ダイナミクスの理解
- 融合断面積の信頼度の高い理論予言

熱い核融合によるZ = 119 及び 120核の生成



➤ 熱い核融合: ^{48}Ca + アクチノイド核

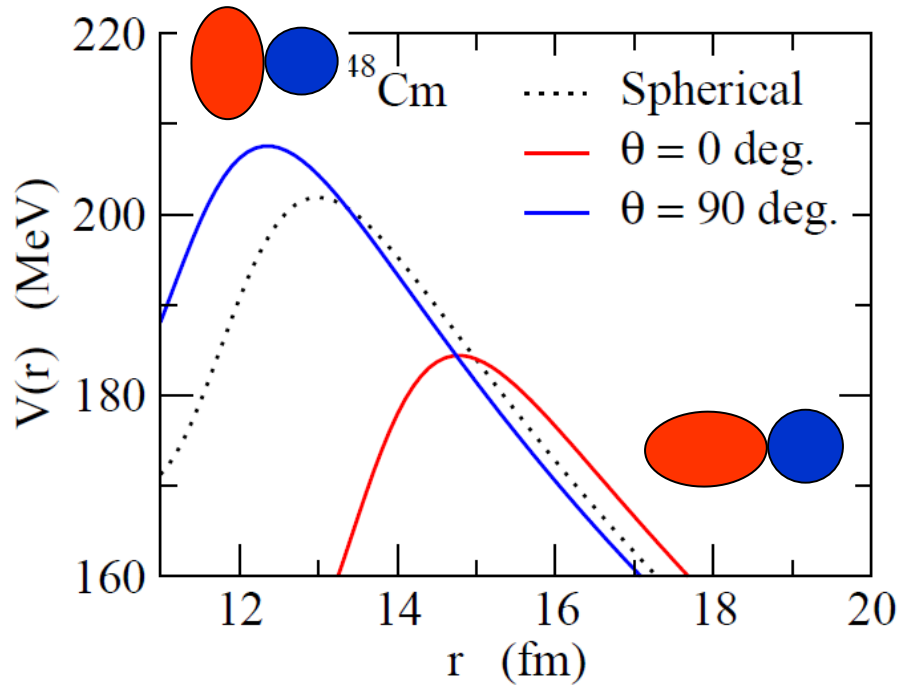
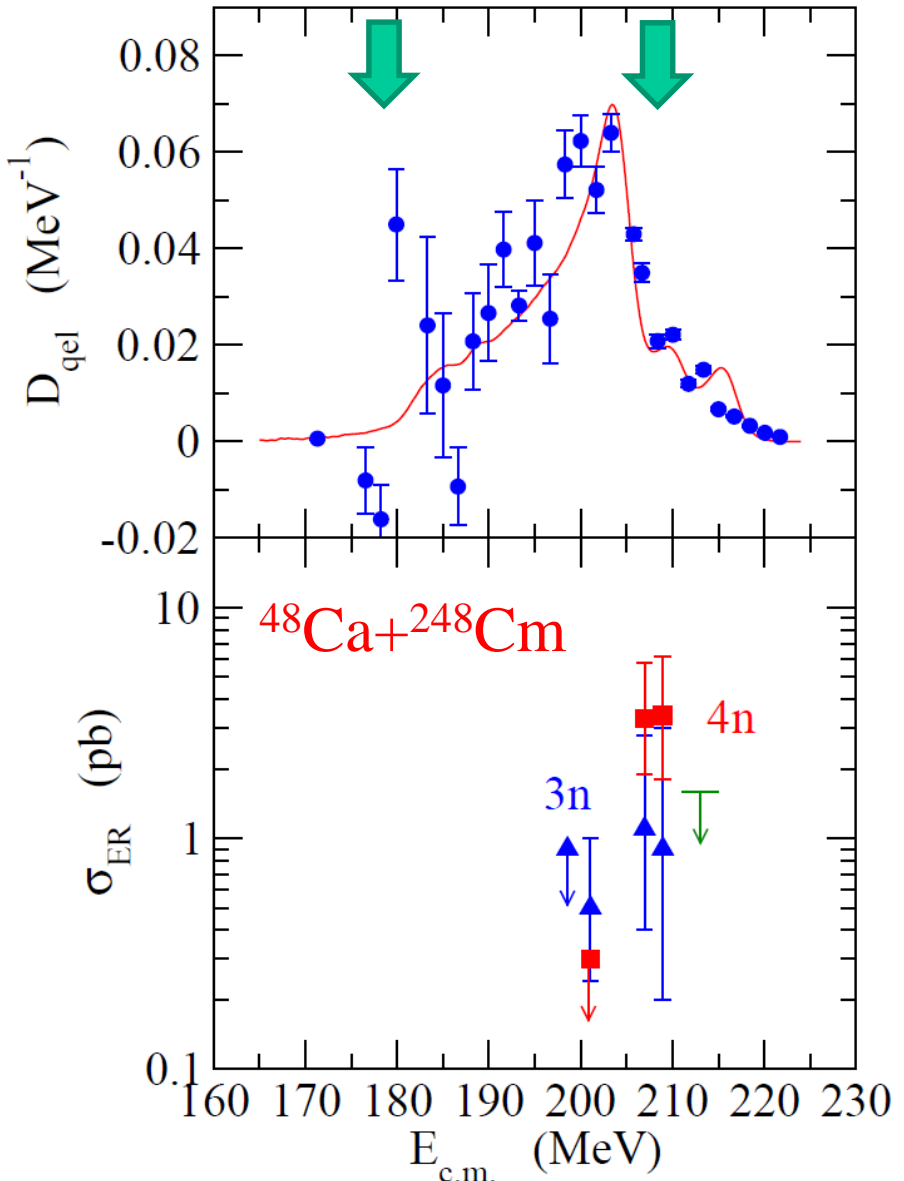
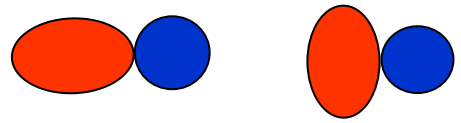


核変形の果たす役割?

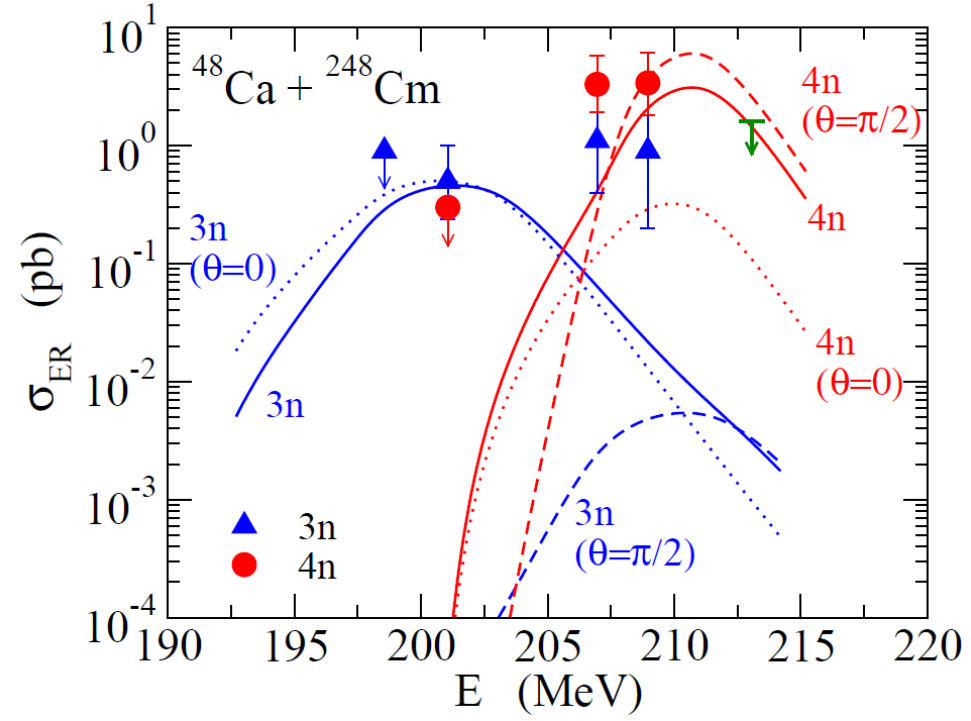
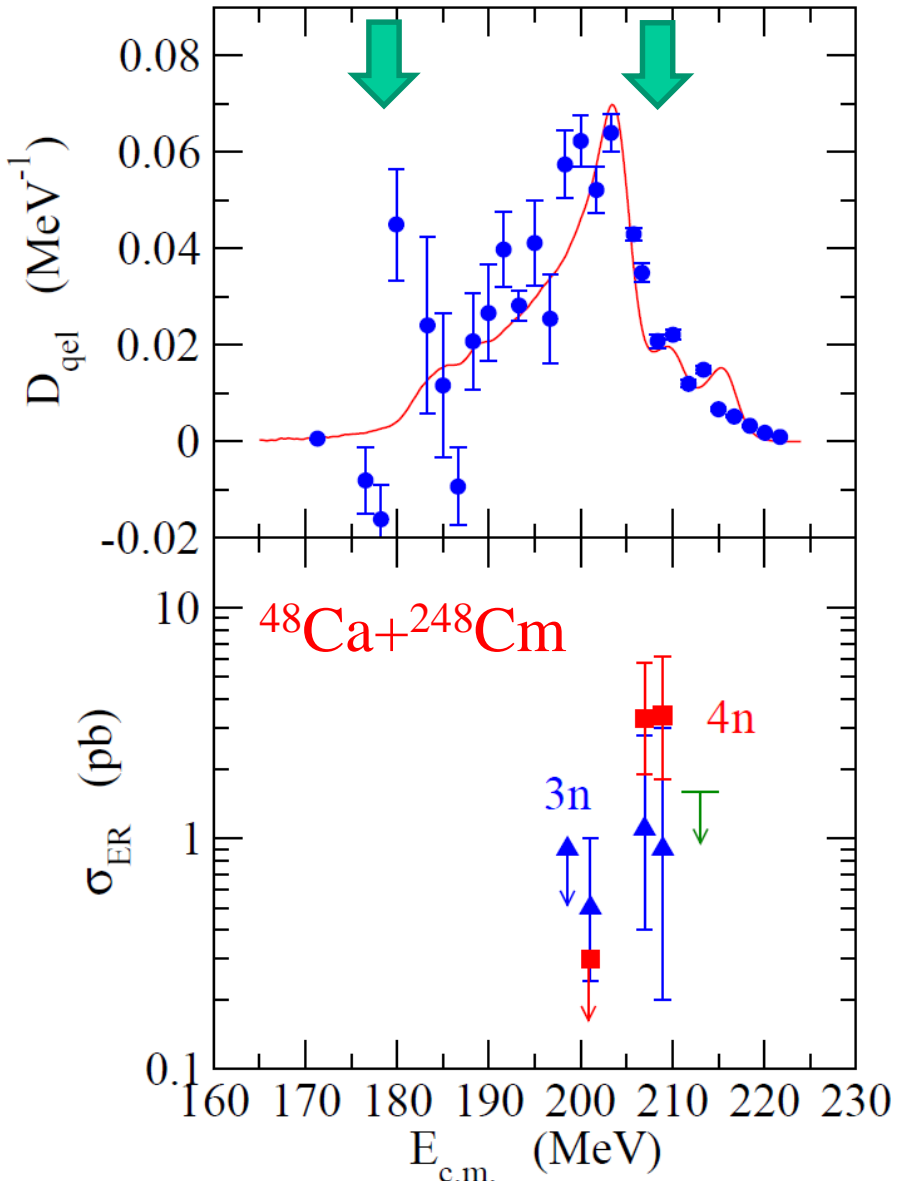
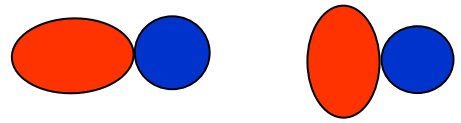
➤ Z=119, 120: $^{48}\text{Ca} \rightarrow ^{50}_{22}\text{Ti}, ^{51}_{23}\text{V}, ^{54}_{24}\text{Cr}$

核融合断面積はどのくらい変わるのか?(まだ誰も知らない)

熱い核融合反応における核変形の果たす役割



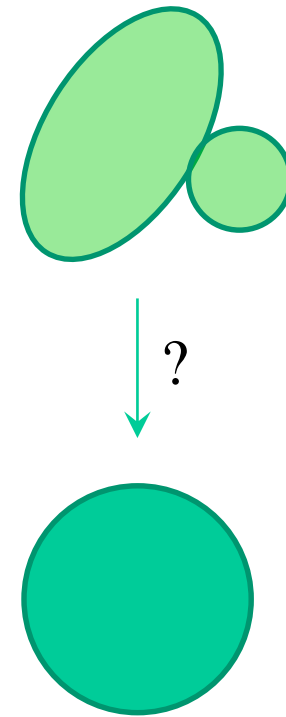
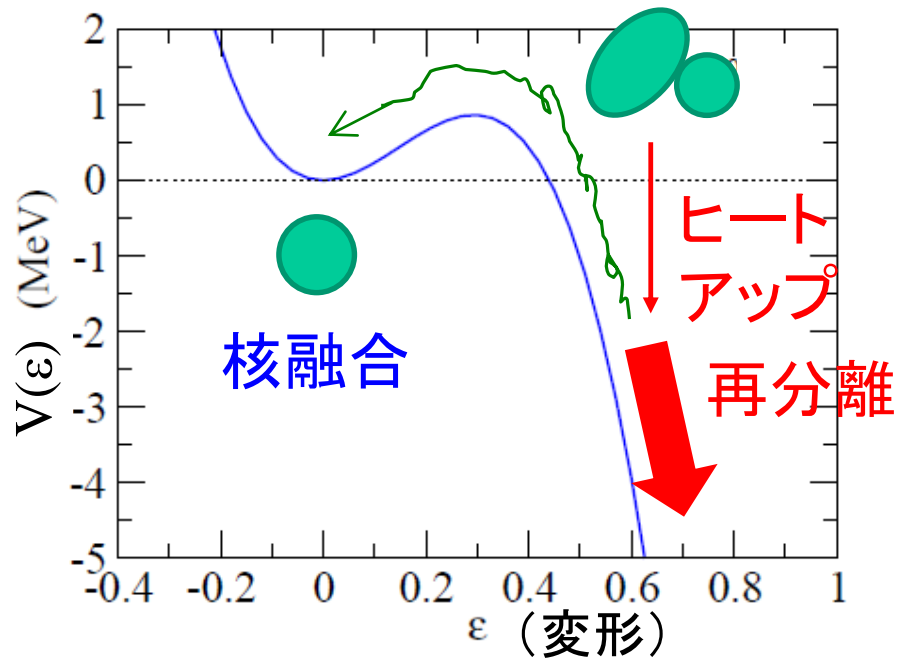
熱い核融合反応における核変形の果たす役割



K. Hagino,
PRC98 ('18) 014607

T.Tanaka et al., JPSJ87 ('18) 014201

変形核の核融合反応



未解決の問題

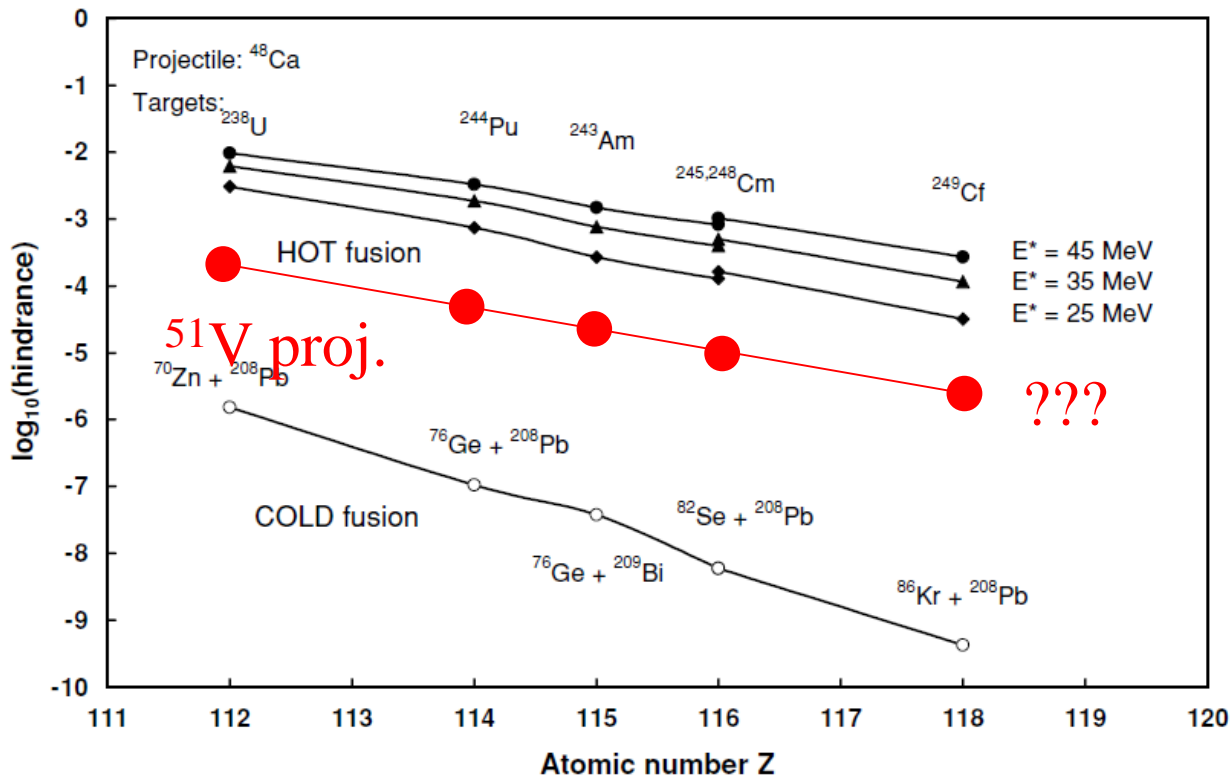
- どのように形状が進化して複合核になっていくのか?
- 変形: 量子効果
ヒート・アップの過程でどのように変形が小さくなっていくのか?

摩擦の量子論

➤ $Z=119, 120: {}^{48}\text{Ca} \rightarrow {}^{50}_{22}\text{Ti}, {}^{51}_{23}\text{V}, {}^{54}_{24}\text{Cr}$

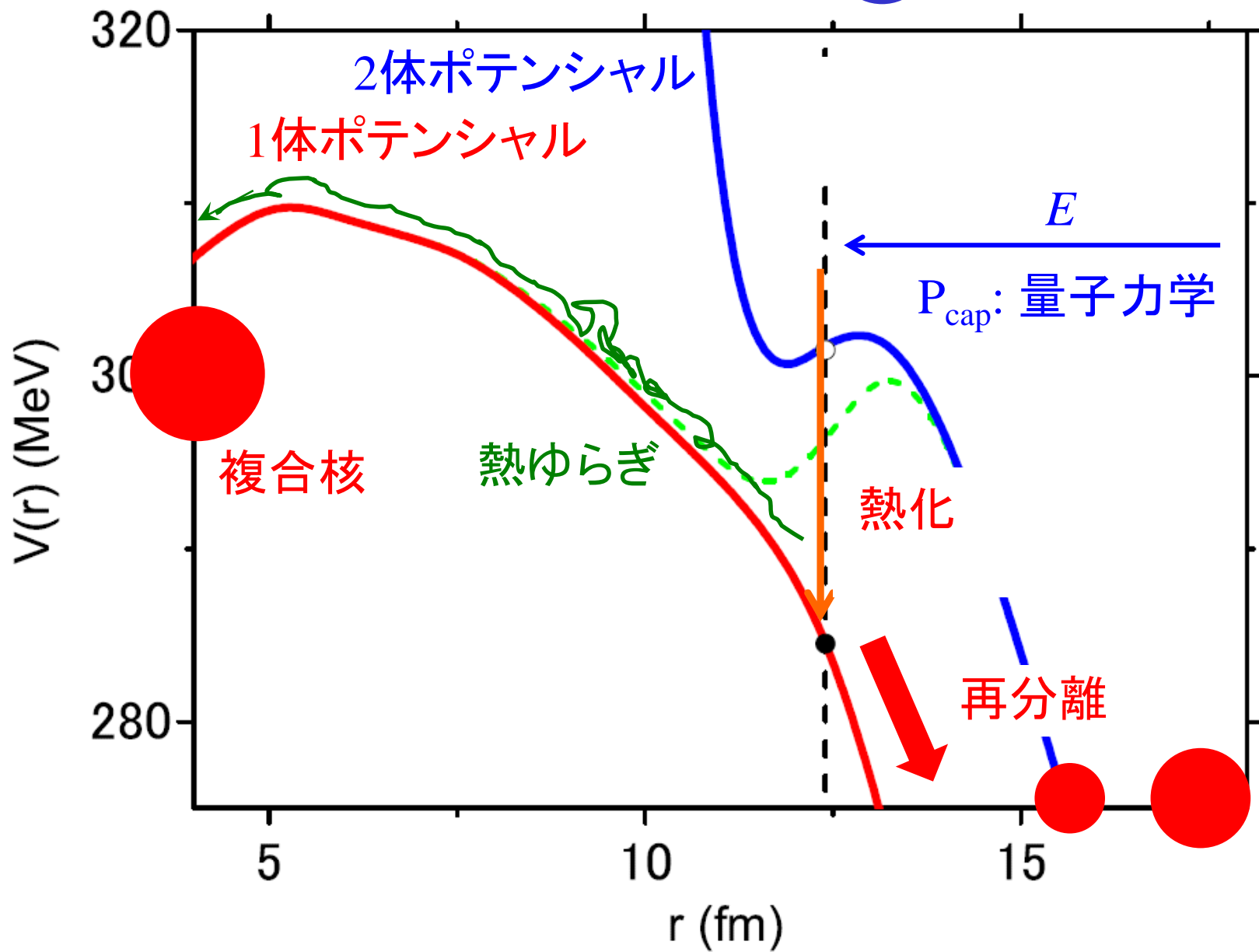
核融合断面積はどのくらい変わるのか?(まだ誰も知らない)

fusion-by-diffusion model による P_{CN} の見積もり

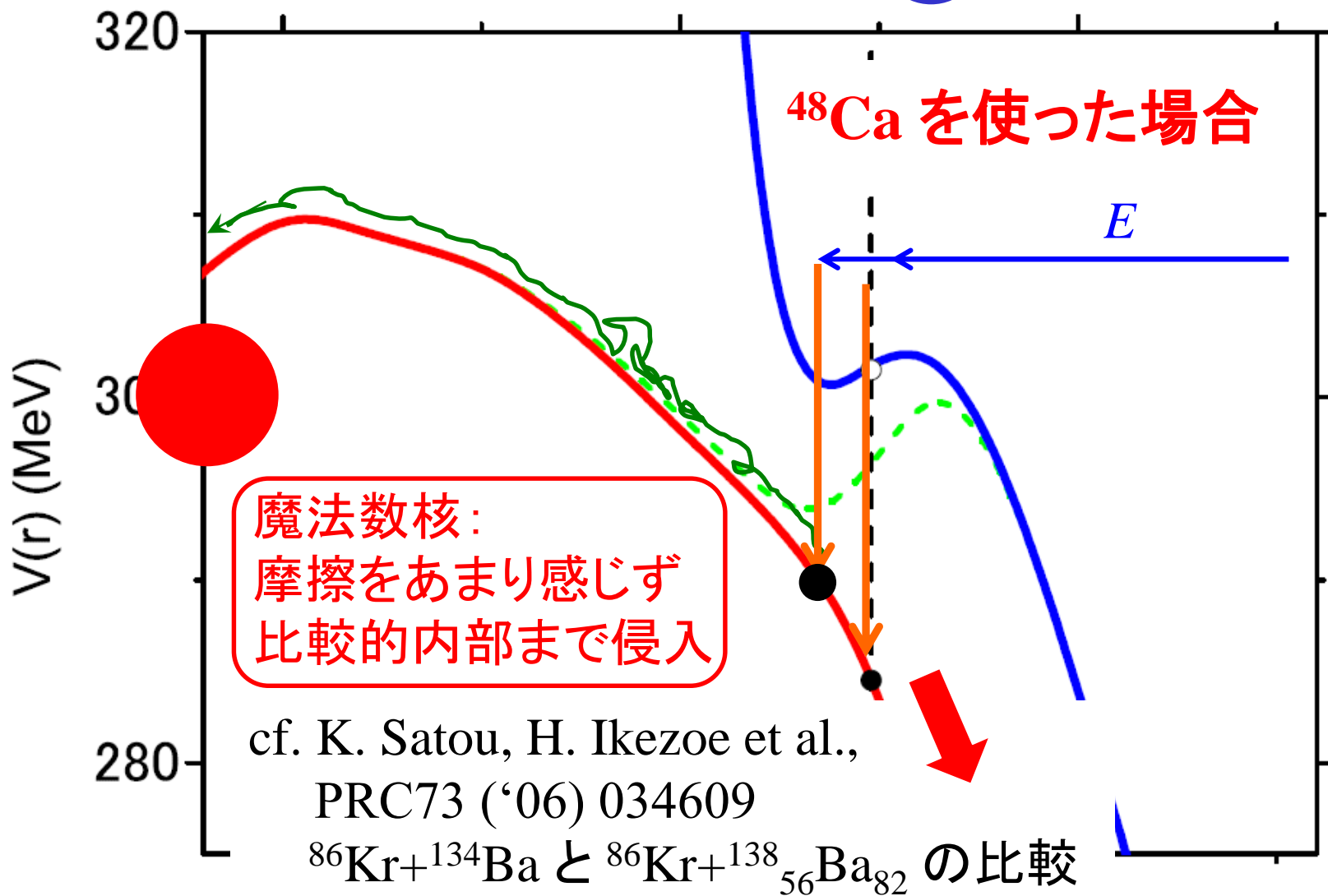


W.J. Swiatecki, K. Siwek-Wilczynska, and J. Wilczynski,
 PRC71 ('05) 014602

超重核生成反応



超重核生成反応

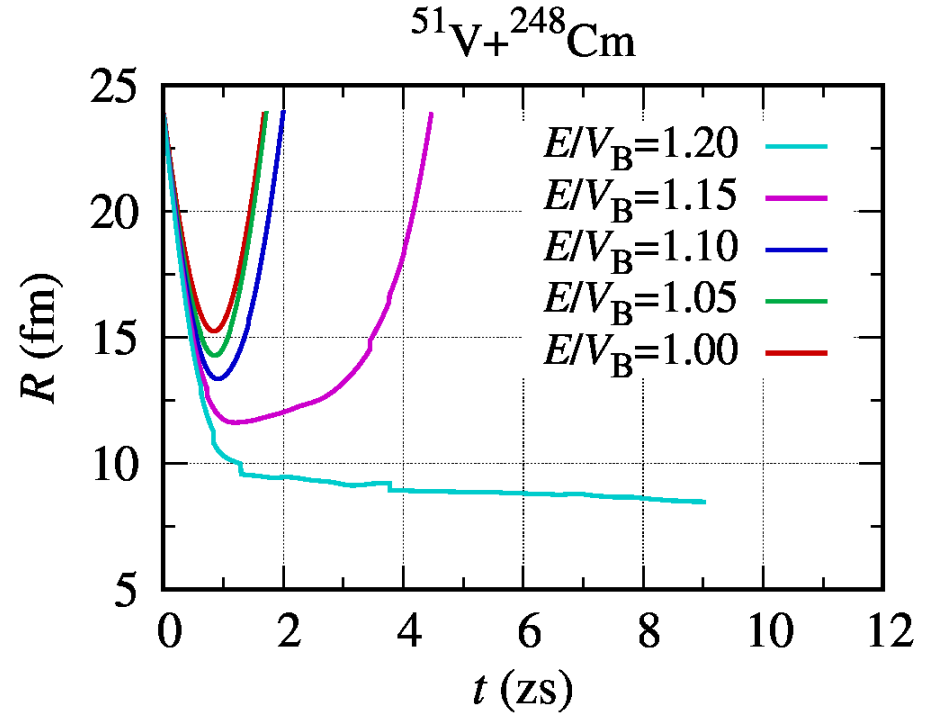
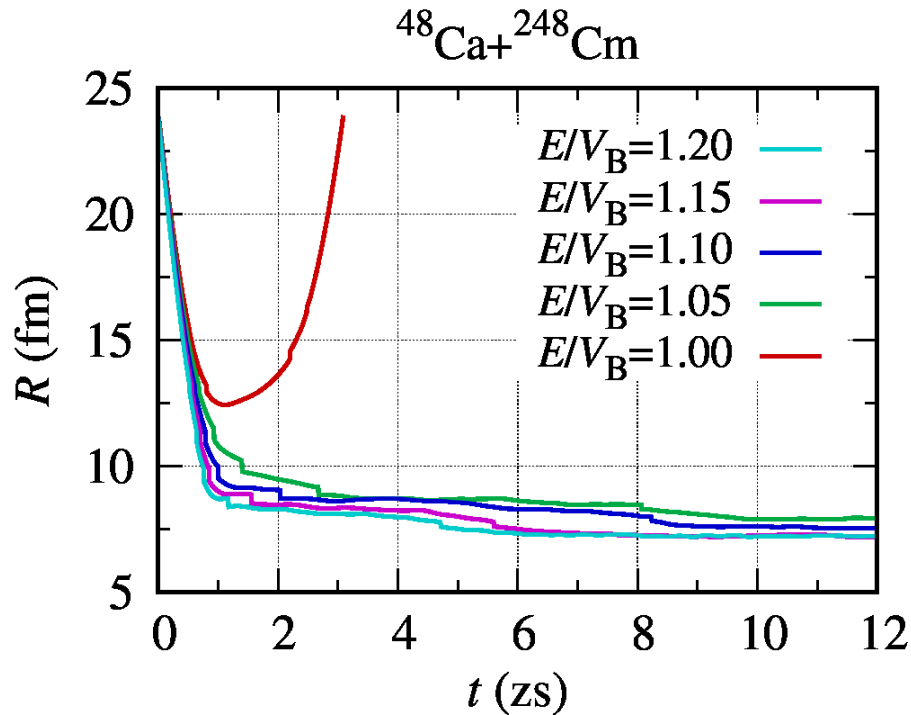


→ CN 生成に有利: ^{51}V などではこの機構がなくなる

TDHF+Langevin法による融合断面積の見積もり

K. Sekizawa and K. Hagino, a work in progress

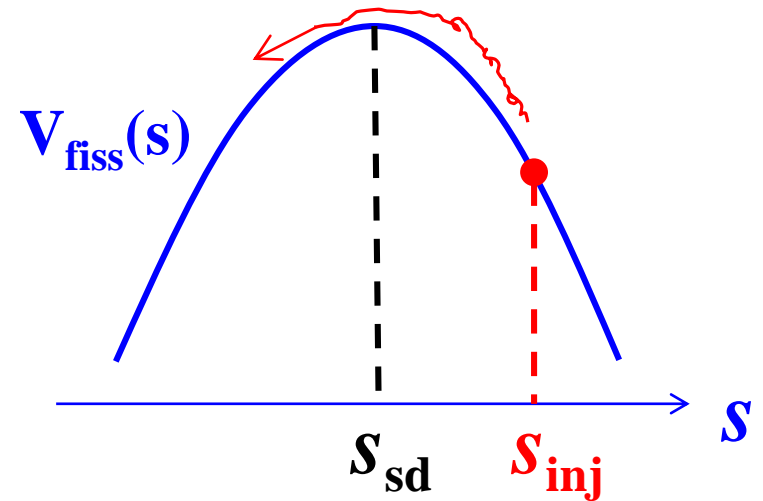
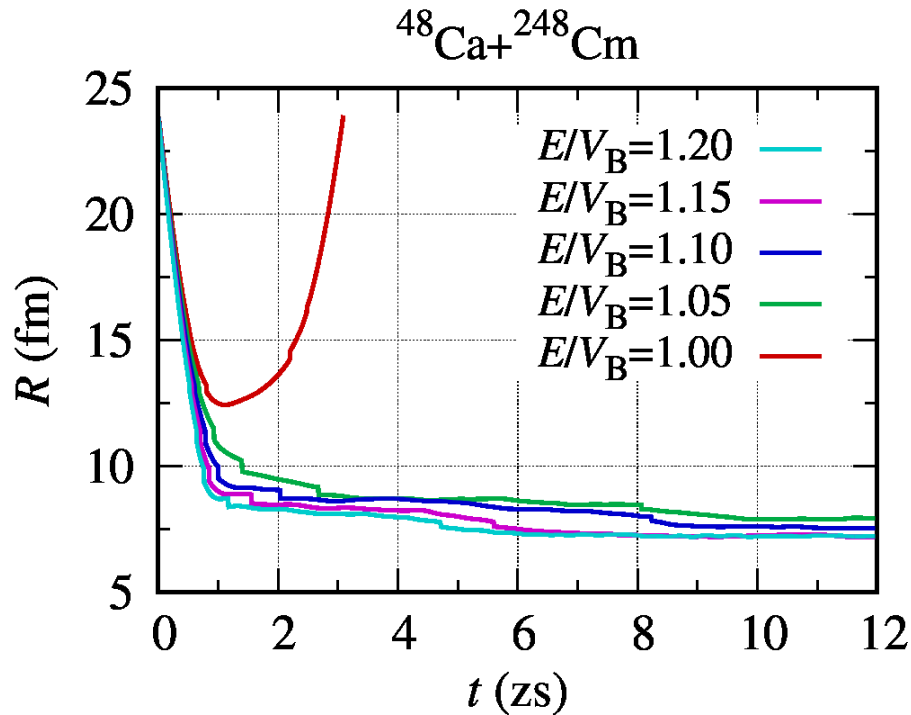
TDHF法による最近接距離の見積もり (side collision):



TDHF+Langevin法による融合断面積の見積もり

K. Sekizawa and K. Hagino, a work in progress

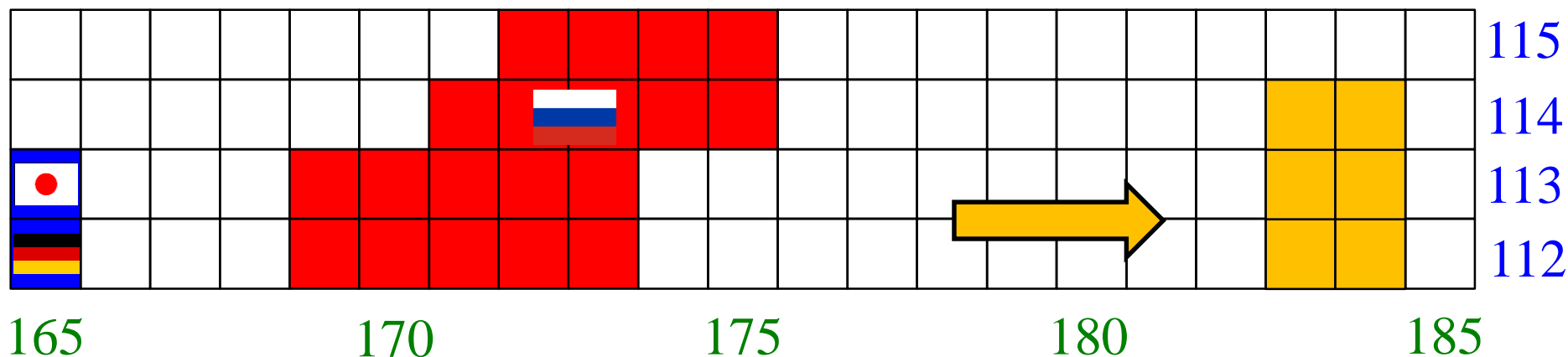
TDHF法による最近接距離の見積もり (side collision):



→ Langevin 計算の初期値 (インプット)

→ 入射核が ^{48}Ca の場合と ^{51}V , ^{52}Cr の場合の比較 (準備中)

安定の島に向けて



中性子過剰核ビーム: 不可欠

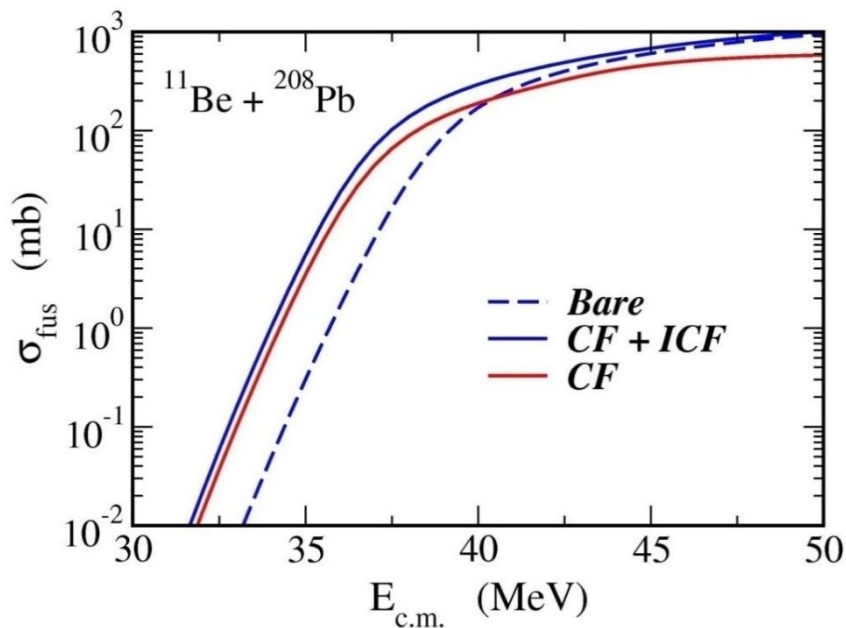
- ビーム強度の低さをどう克服するか?
- 中性子過剰核の反応の機構? ← n/p のアンバランスの影響?
 - ✓ 分解や多中性子移行反応?
 - ✓ 形状進化中における中性子放出?
 - ✓ 統計模型の妥当性?

cf. 中性子星内部の核融合: $^{28}\text{Ne} + ^{28}\text{Ne}$ など (deep crustal heating)

さらなる研究が必要

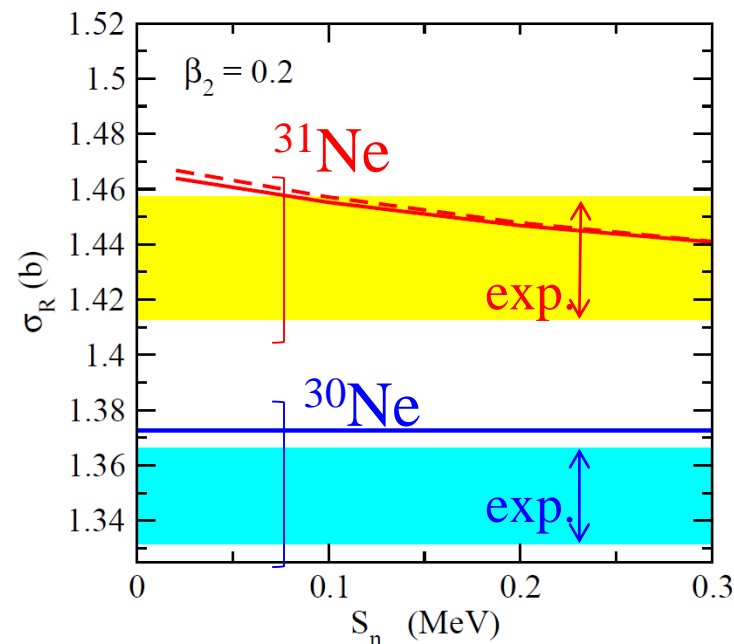
➤ 安定の島に向けて

反応機構の理解
(分解、核子移行、融合)



K. Hagino, A. Vitturi, C.H. Dasso,
and S.M. Lenzi, Phys. Rev. C61 ('00) 037602

中性子過剰核の構造の理解
も重要



Y. Urata, K. Hagino, and H. Sagawa,
PRC86('12) 044613

中性子過剰核を軸にした超重核の物理の探究の可能性

まとめ

超重元素領域における核反応理論(核融合反応)

接触、融合、統計崩壊 希プロセス → 大きな理論的不定性

課題: いかに不定性を小さくして信頼できる理論予言が
出来るか? ← 反応機構の理解

✓ より重い超重元素 ($Z=119, 120$)に向けて

- 標的核の変形の効果
障壁分布の測定と解析
- ^{48}Ca でない入射核
TDHF+ランジュバン

✓ 安定の島に向けて

- 中性子過剰核を軸にした超重元素科学の探究
(核融合反応の機構の解明と中性子過剰核の構造)

重要課題が山積 ← 理論のネットワーク形成も重要