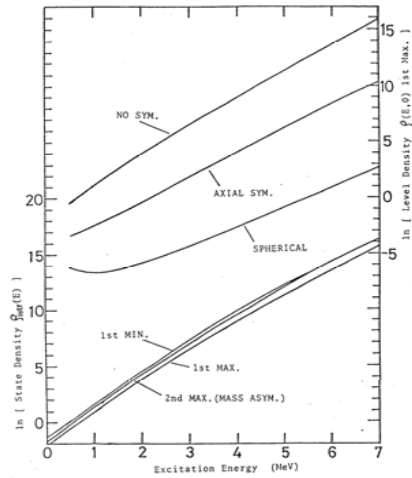


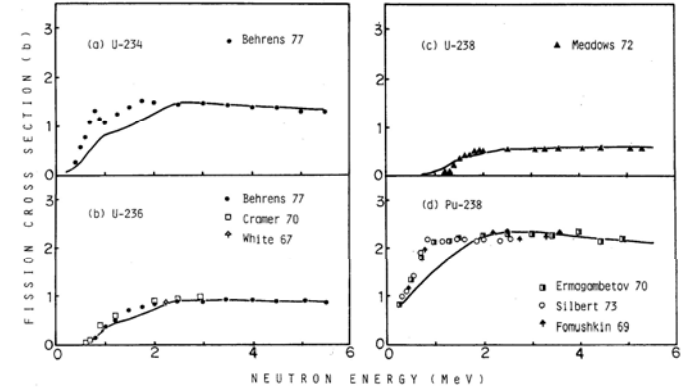
Collective Enhancement of Level Density



原子核の変形モードによって
準位密度は大きく異なる！

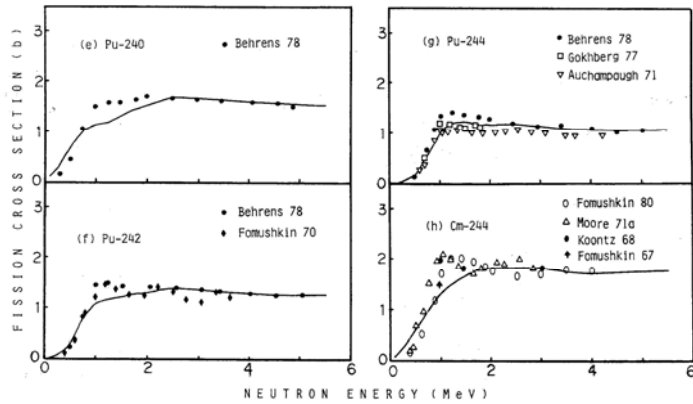
核分裂断面積の解析例(1)

偶偶標的核



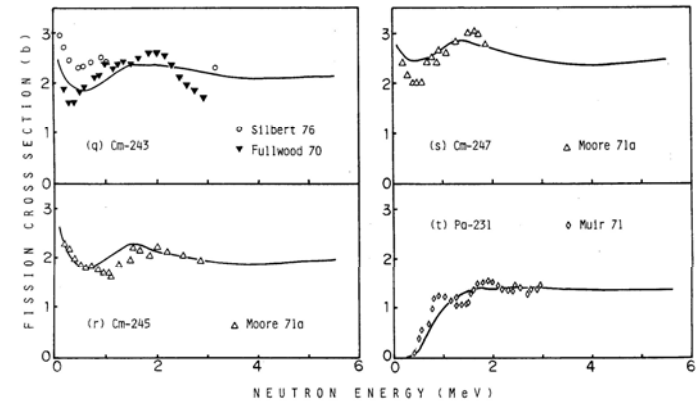
核分裂断面積の解析例(2)

偶偶標的核



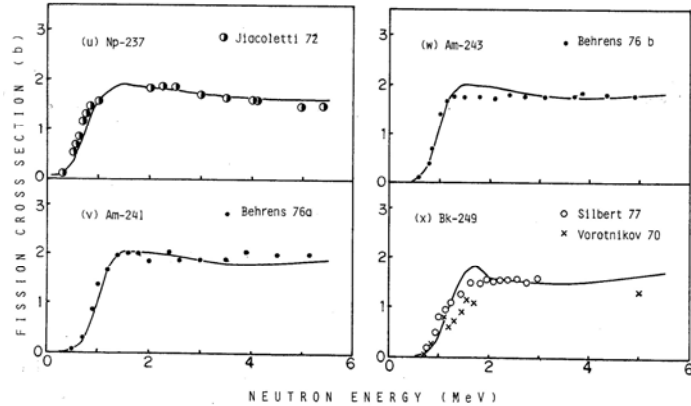
核分裂断面積の解析例(3)

偶奇標的核



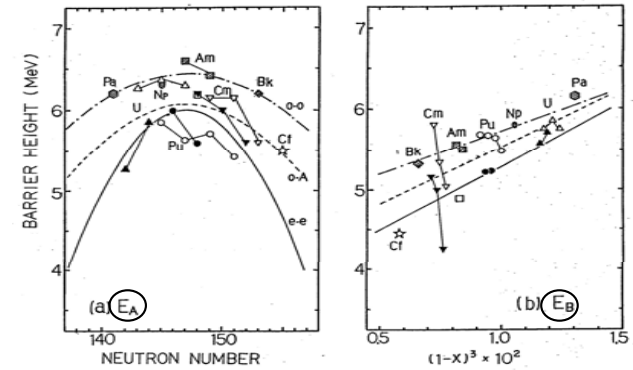
核分裂断面積の解析例(4)

偶奇/奇偶標的核



核分裂断障壁の系統性を求めて(1)

Systematics in barrier heights of barriers A and B (without shell correction)



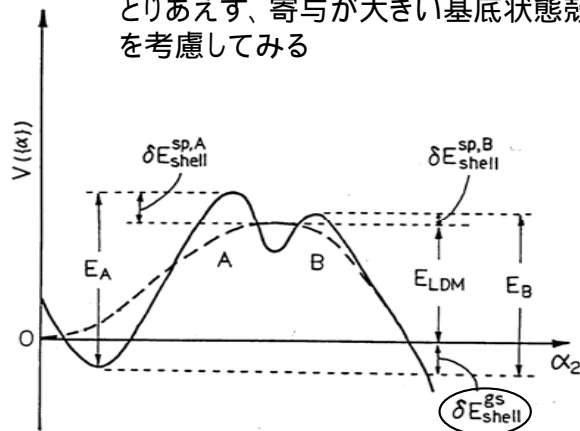
中性子数

液滴モデルの障壁高さ予測値

核分裂断障壁の系統性を求めて(2)

Three Component Analysisの試み

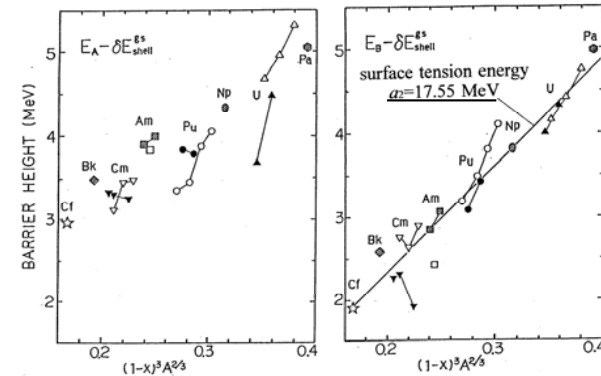
とりあえず、寄与が大きい基底状態殻補正を考慮してみる



核分裂断障壁の系統性を求めて(3)

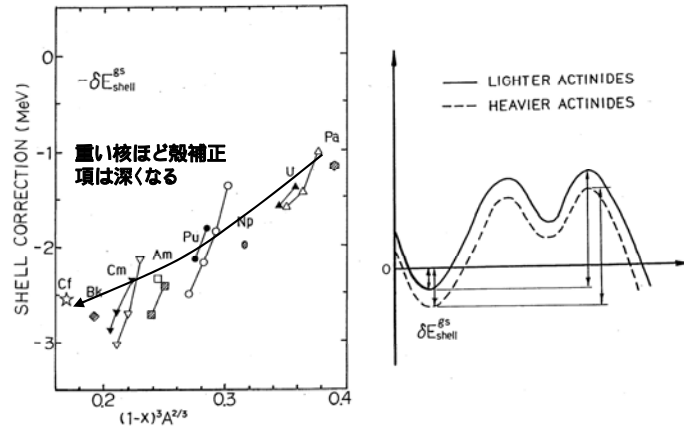
基底状態殻補正を考慮しただけで、 $(1-x)^3 A^{2/3}$ との相関が大幅に改善された!

Systematics in barrier heights of barriers A and B (with shell correction)

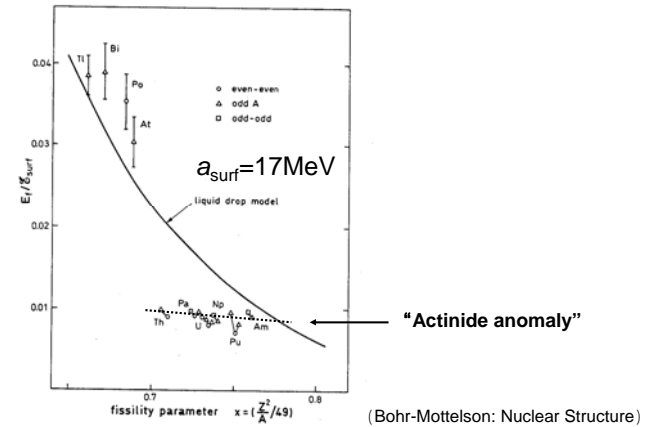


核分裂障壁の「アクチニド特異性」の解釈

基底状態殻補正項



核分裂障壁の「アクチニド特異性」とは？



結論

1. アクチニド核種 ($^{231}\text{Pa} \sim ^{252}\text{Cf}$ の 24 核種) の核分裂断面積データから核分裂障壁高さの情報を抽出した。その結果、次のことがわかった：
 - (a) 基底状態殻効果の補正をおこなうことにより、障壁高さの系統性を見出すことができた。
 - (b) 第1障壁よりも第2障壁について良好な系統性が見られた。
 - (c) 第2障壁高さの系統性から導かれた表面張力係数 $a_{surf} = 17.55\text{MeV}$ は原子質量の研究から導出された値とほぼ一致した。これは、第2障壁あたりでは殻効果は減衰しているという推定を裏付ける。
2. 「アクチニド特異性」は、基底状態殻効果の増加と核分裂障壁の低下が打ち消し合った結果である。

Thの障壁の理論値と実験値の差が大

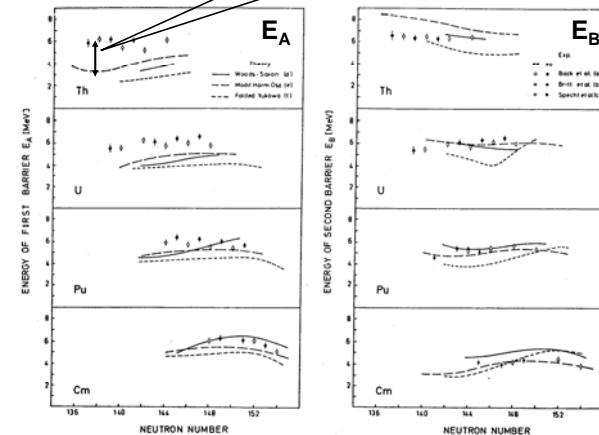
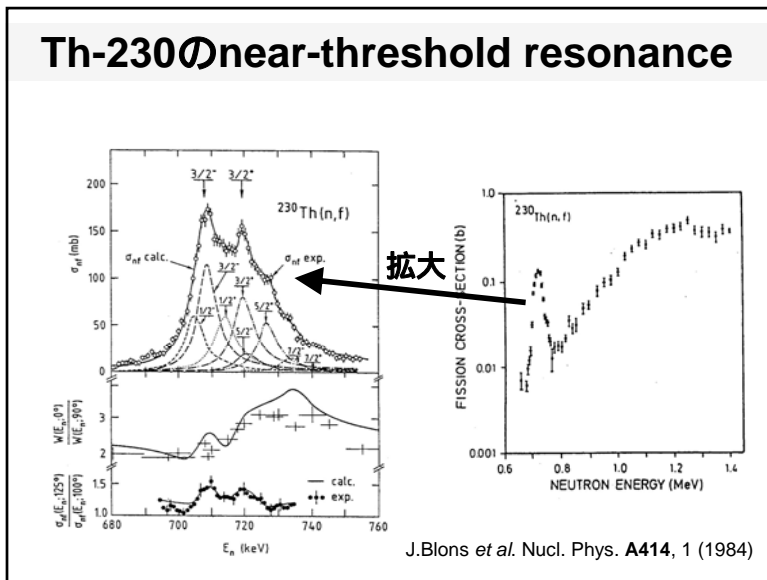
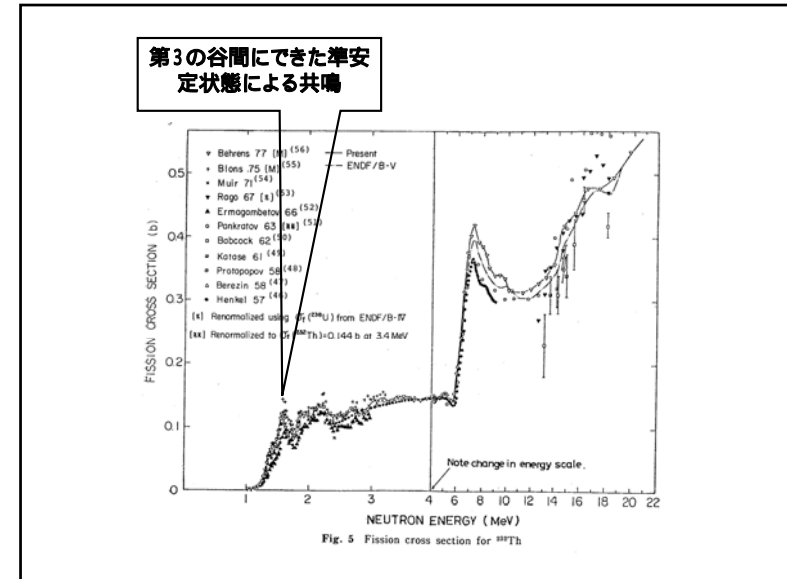
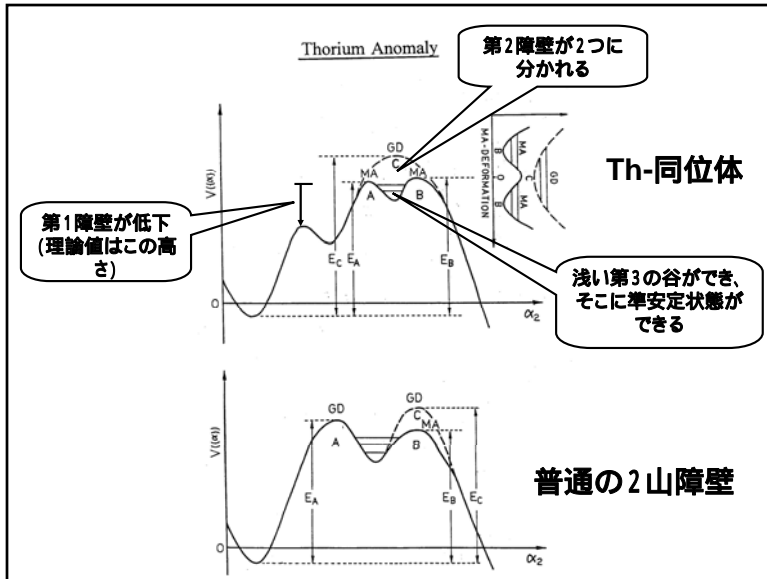
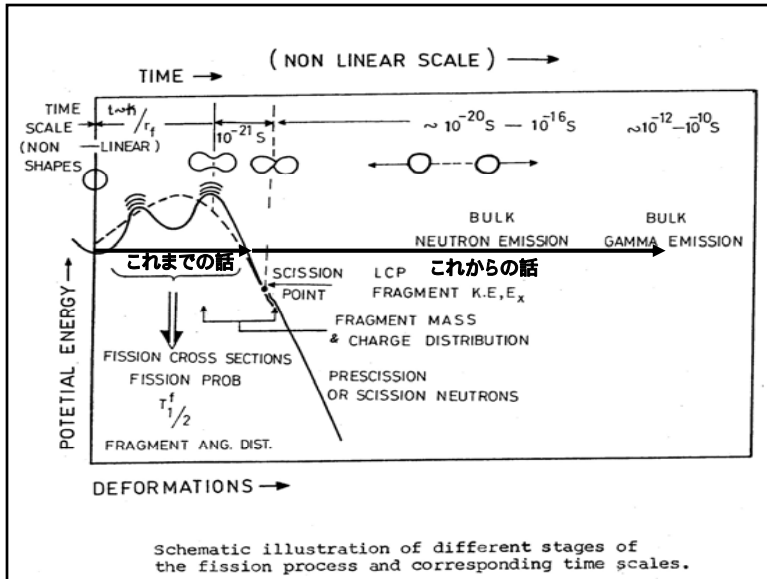


Fig. 8. Measured heights of the first and second barrier (a [30, 31], b [33], c [32]) as a function of neutron number and theoretical predictions from shell correction calculations based on different single particle potentials (d [5], e [34] for E_A and [4, 34] for E_B , f [4]). Further differences are described in the text. Physica Scripta 10 A



さて、これで鞍部点までの話はおしまい。

つぎは、鞍部点を超えて断裂点へ向かって谷間を転落していく話。



鞍部点と断裂点の間で何がおこるか？

- 断裂点(scission point)への降下過程
 - エネルギーの散逸(粘性、摩擦)
 - 質量数、荷電数の偶奇性 (pair breaking)
 - レベルの交差点で何がおこるか
 - 断裂点近傍でのポテンシャルの地形
- 断裂点での分裂片の変形度
 - どのようにしてそれを知ることができるか？
 - a) 核分裂片の運動エネルギー
 - b) 分裂片質量の関数としての即発中性子数
 - c) 個々の分裂片からの即発中性子スペクトル

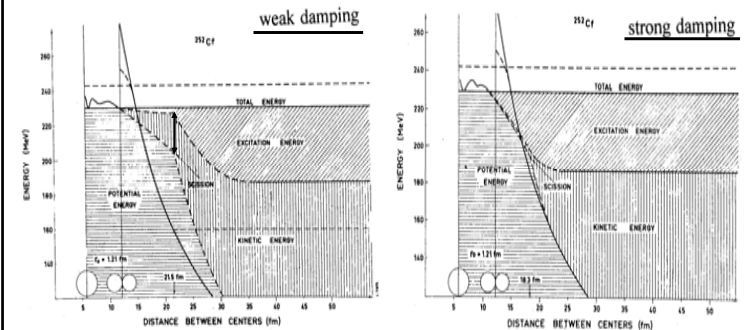
断裂点と断裂後になにがおこるか？

- 核分裂片の質量分布
 - 核分裂片質量分布の一般的特徴
(プレ・アクチニド、アクチニド、超アクチニド、超重核種)
 - 質量分布の理論
(Fongの統計モデル, Wilkinsらのscission-point model, Brosaモデル)
- 断裂後の現象
 - 即発中性子スペクトル
(核種 / 入射エネルギーへの依存性)
 - 遅発中性子収率

Scission pointへ向かっての降下

余った変形エネルギー → 核分裂片の初期運動エネルギー
 はどうなるか？ → 核分裂片の内部励起エネルギー

小 ← 粘性 / 摩擦 → 大



Scissionにおける運動エネルギー大

Scissionにおける運動エネルギー小

「核分裂の谷」と「核融合の谷」の関係は？

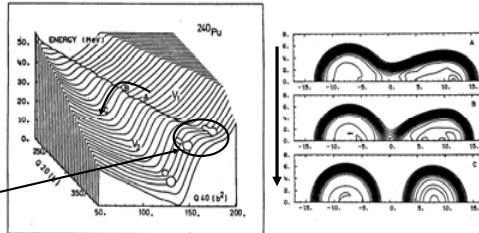
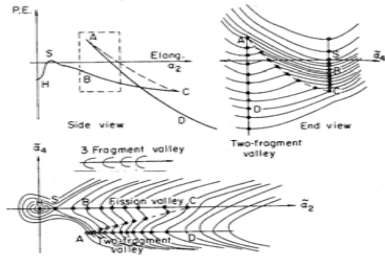
Mis-aligned Valleys
(Swiatecki-Bjornholm)

Fission valleyとFusion valley
は尾根で分けられている

どこかでFission valleyからFusion valleyへの乗り移りがおこる

Hartree-Fock-Bogoliubov calc.
(Bernard, Girod, Gogny)

ほとんどの断裂は
ここで起こる



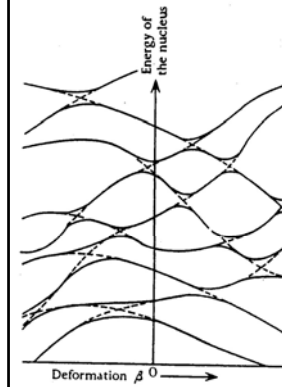
レベルの交差点で何がおこるか？

1. 断熱仮定 (ゆっくり変化)

- ・残留相互作用が強いと
→ 核子はエネルギーの低いレベルへ移行する (全エネルギーは保存)
- ・ポテンシャルの変化に追従して核子は再配置される

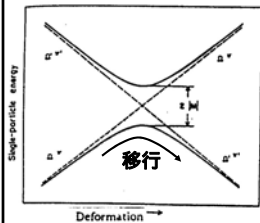
2. 非断熱仮定 (すばやく変化)

- ・核子は同じレベルに留まる
- ・そのために必要なエネルギーは集団運動エネルギーから供給される (粘性が重要になる)
- ・実際には、集団運動エネルギーの変化が急激すぎて核子が最小エネルギー配置に適合できないときにおこる



Adiabatic energy levels (solid lines) which arise from the independent particle model levels (broken lines) when a weak two-body interaction is present. Under rapid collective motion, the system can jump at crossings to levels with higher internal excitation energy ("misplacement").

レベルの交差点での移行確率



$$E = a\alpha + c \quad |M| = \text{残留相互作用の強さ}$$

$$E' = b\alpha + c \quad a, b = \text{交差するレベルの勾配}$$

$$\quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad = \text{変形度の時間微分}$$

$$E' = b\alpha + c$$

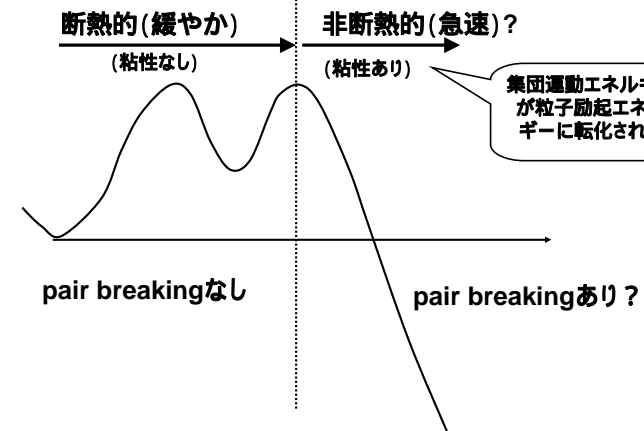
$|M| = \text{大} \rightarrow P = \text{小}$
[断熱仮定] 移行がおこる
特に $D < |M|$ のとき多数粒子
励起 → 統計モデル成立!
 $= \text{大} \rightarrow P = \text{大}$
[非断熱仮定]
移行はおこらない
集団運動の変化大のとき
ダイナミクスが重要

移行(乗り換え)が起こらない確率

$$P = \exp \left[-\frac{2\pi|M|^2 / \eta |a-b|}{|\alpha'|} \right]$$

(Landau-Zener's relation)

断熱仮定と非断熱仮定: どちらが正しいか?



断熱仮定と非断熱仮定：どちらが正しいか？

[Test 1] $^{239}\text{Pu}(n_{\text{th}},f)$ と $^{240}\text{Pu}(sf)$ における中性子数の測定

(H. Condé *et al.*, J. Nucl. Energy 22, 53 (1968))

余剰エネルギー6MeV $\left\{ \begin{array}{l} \Delta\text{TKE} = 2 \text{ MeV} \\ \Delta\text{TXE} = 4 \text{ MeV} \quad 67\% \text{ damping!} \end{array} \right.$

[Test 2] LRA fissionにおける荷電中心間距離

$d = 18.3 \text{ fm}$ (TKE測定値より)

$= 21.5 \sim 26 \text{ fm}$ (LRA fissionでの 粒子のエネルギー、
角度分布より)

(G.M. Reisbeck+, Phys. Rev. 172, 1272 (1968); Boneh+, *ibid.* 156, 1305(1967))

→ d が長くなった分だけTKEが減少
それを補うためには $\text{TKE}_0 = 20 \sim 40 \text{ MeV}$ が必要
No damping!



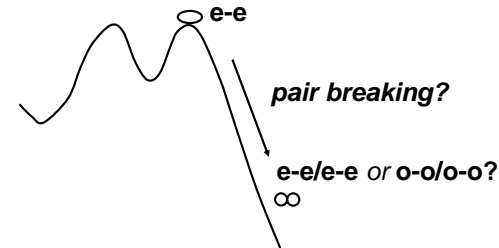
断熱仮定と非断熱仮定：どちらが正しいか？

[Test 3] 偶-偶分裂核の分裂片の陽子数の偶奇性

(F. Gönnerwein+, ZfK-648(1988))

もしpair breakingがなければ→奇-奇(初期)分裂片は生じないはず

$$\delta_z = \frac{\sum Y_e - \sum Y_o}{\sum Y_e + \sum Y_o} = 1 \quad \text{if no pair breaking}$$



断熱仮定と非断熱仮定：どちらが正しい？

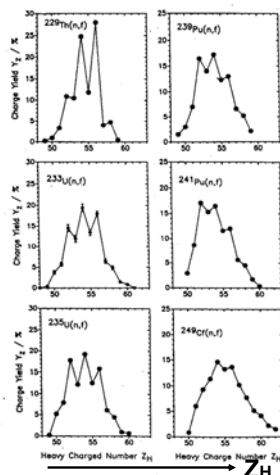
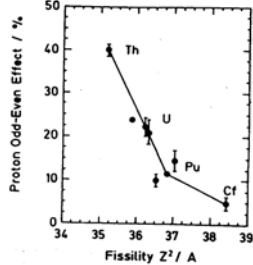


FIGURE 92. Charge distributions vs. heavy fragment charge for various induced fission reactions.

δ_z vs. fissility



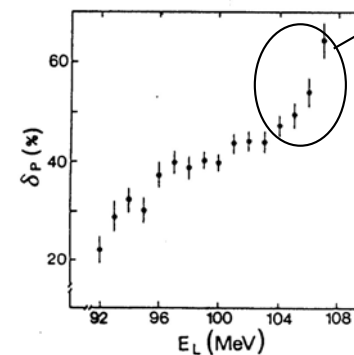
No correlation between δ_z and B_f nor $B_f - B_n$.

Fissilityが大きくなると、Zの偶奇効果は消滅する

← pair breakingがおこりやすい (粘性大)

Pair breakingと分裂片運動エネルギーとの相関

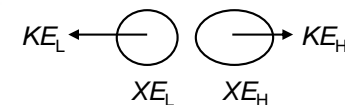
δ_z vs. KE_L



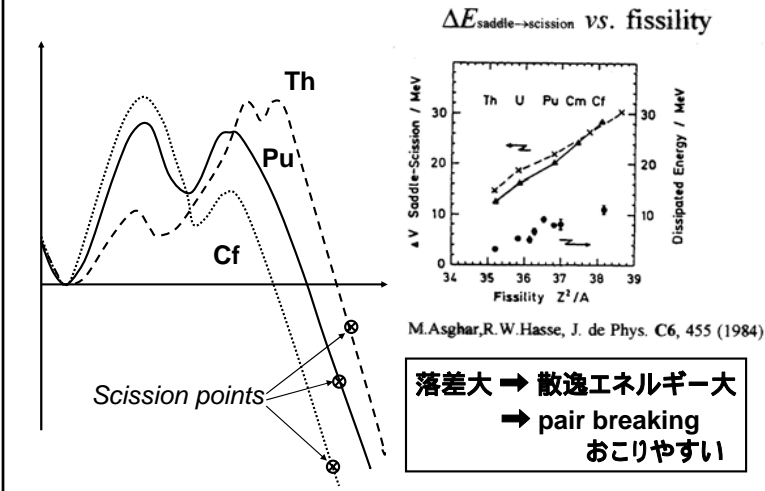
KE_L 大 → 内部励起エネルギー小
→ pair breaking おこりにくい

$$Q = [KE_L + KE_H] + [XE_L + XE_H]$$

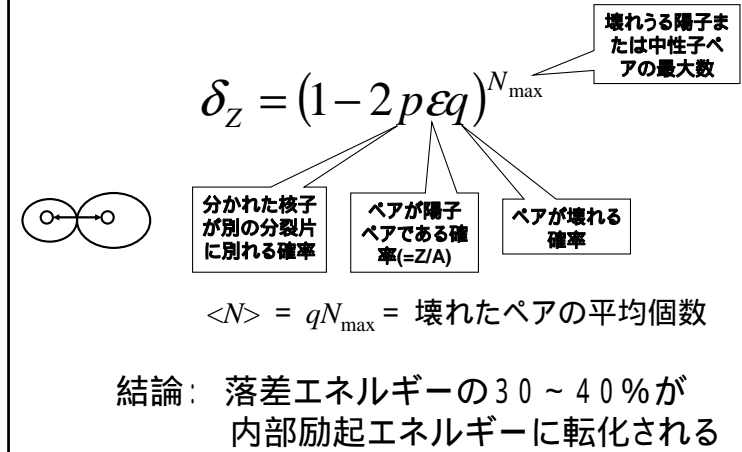
運動エネルギー 励起エネルギー



鞍部点と断裂点の落差



Niefeneckerのproton pair breaking解析



断裂点における核分裂片の変形度

—それをどう推定するか?—

1. 全運動エネルギー測定

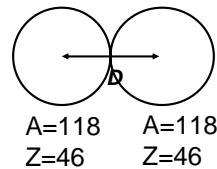
$$TKE(\text{MeV}) = 1.44 \frac{Z_L Z_H}{D(\text{fm})} + TKE_0$$

$$D = r_0 (A_L^{1/3} + A_H^{1/3}) = 11.77(\text{fm})$$

$$r_0 = 1.2(\text{fm})$$

$$TKE = 259\text{MeV} > 160\text{MeV}$$

(実測値)



核分裂片が変形していると...

