



研究紹介(進学ガイダンス)



極限原子核構造グループ (NUSPEQ group)

下浦 享

shimoura@cns.s.u-tokyo.ac.jp

<http://www.cns.s.u-tokyo.ac.jp/~shimoura/>

<http://www.cns.s.u-tokyo.ac.jp/nuspeq/>

<http://www.cns.s.u-tokyo.ac.jp/sharaq/>



自然とは？
この世の成り立ちは？

原子核

Center of Atom, Core of Matter
Core of Matter, Fuel of Star

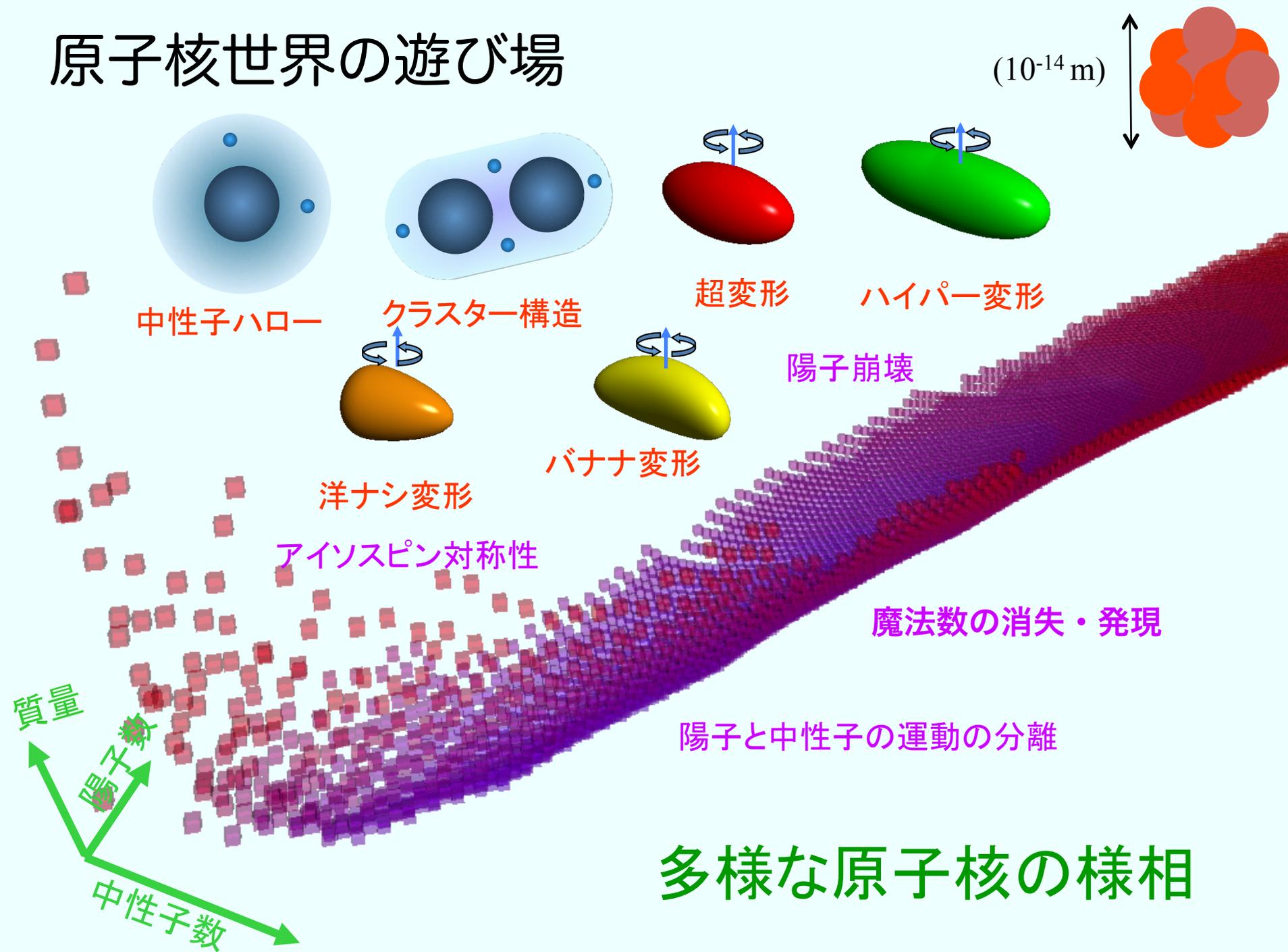
極微世界の景色

量子力学の不思議

ひとつ、ふたつ、たくさん

粒子数、自由度、量子数...

原子核世界の遊び場





安定領域から離れた極限原子核の研究

- 原子核物理学: 強い相互作用をする有限量子多体系の物理
自然界に存在する安定な原子核(最小エネルギー: 極低温):
 - 陽子、中性子のフェルミ面が同じ
 - Self Consistency (自己無撞着)
 - 量子状態の不均一性が同期
 - 陽子が魔法数近傍なら中性子も魔法数の近傍
 - ...
- 陽子数と中性子数がアンバランスなエキゾチックな原子核の性質は、高い励起状態は、高速回転させると?
 - 陽子、中性子それぞれの分布の拡がり、形は?
 - 硬さは? 応答は?
 - 魔法数は? 一粒子波動関数は? 相関は?
 - 対称性は? その破れは? 回復モードは?
 - ...

新しい原子核像



原子核の実験研究

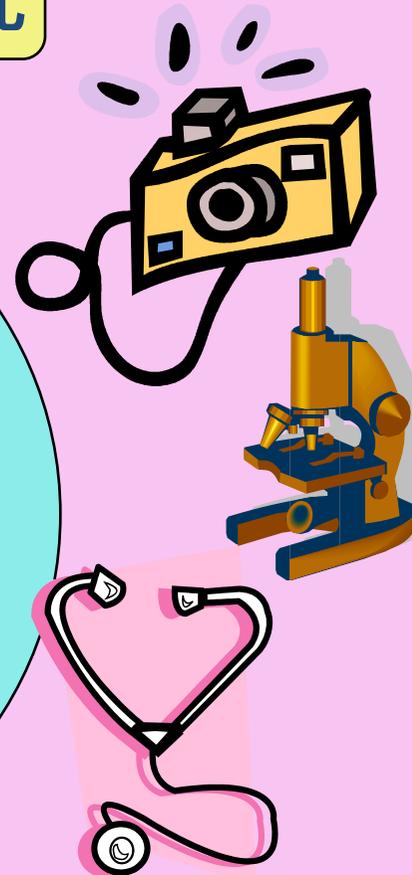
原子核

物質質量の大半を担う
核力が支配
量子複合系
自然界では
凍りついている



加速器

さまざまなプローブ
新物質の生成



測定器

粒子、光の
エネルギー、種類

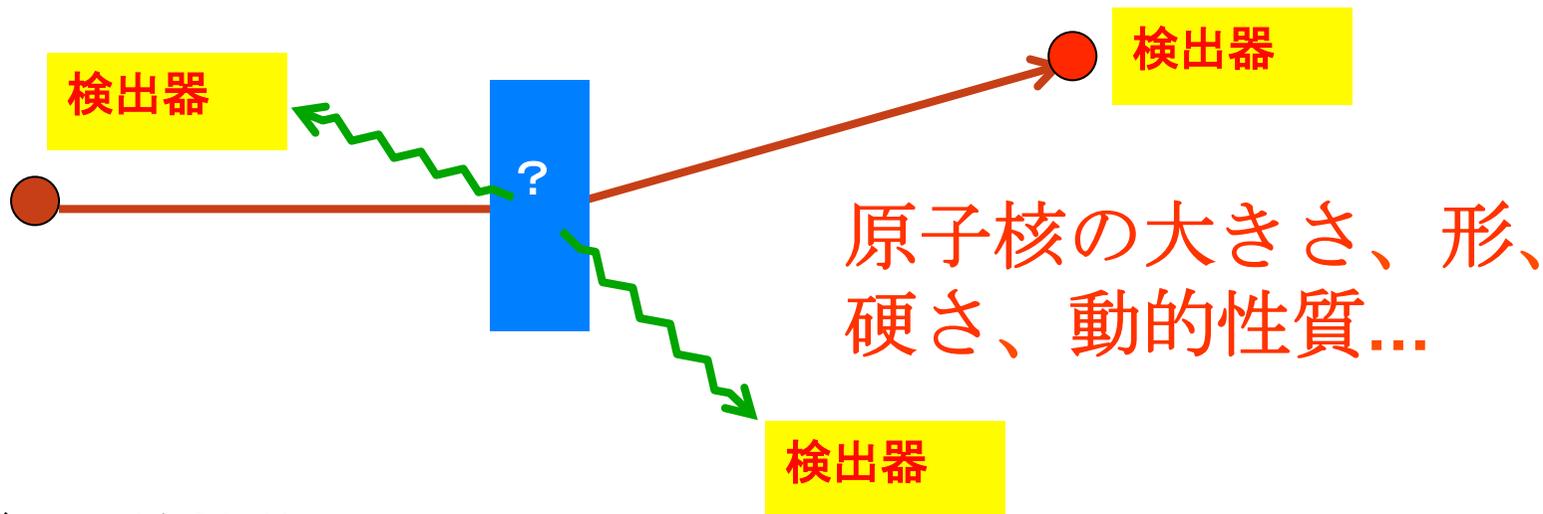
ほどほどの「素」とほどほどの「多様性」
Fundamental & Variety



研究内容

粒子(イオン)を衝突させて
散乱粒子を見る
崩壊(光・粒子)を見る

加速器
荷電粒子検出器
ガンマ線検出器



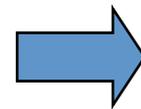
- ガンマ線核分光
 - 二次ビームエネルギー: $\geq 30 \text{ MeV/u}$ (中間エネルギー)
 - 一次、二次ビームエネルギー: $\sim 5 \text{ MeV/u}$ (低エネルギー)
 - Ge検出器開発: GRAPE、CdTe、...
- 理研、東北大、原子力機構、IPN-Orsay、...



研究方法

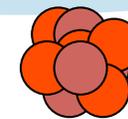
様々な原子核の励起状態

- 二 様々な陽子、中性子数
- 高い励起エネルギー
- 高い角運動量
- 大きな変形



ガンマ線（光）を
放出して
遷移（状態が変化）

原子核



陽子

中性子

約 10^{-14}m

1兆分の1センチ

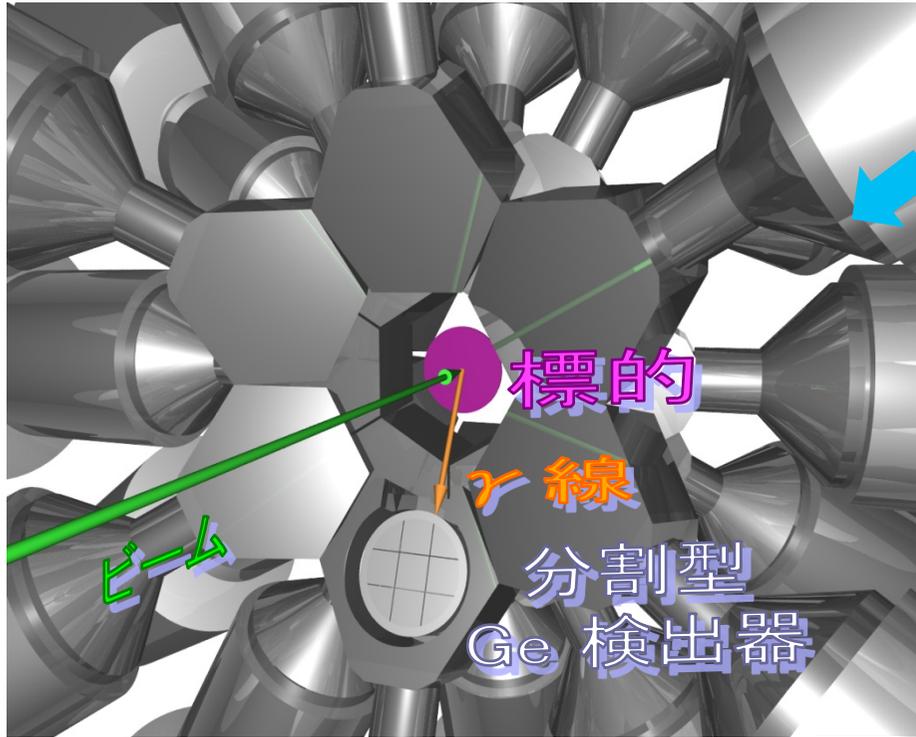
- ◆ 励起状態の生成
- ◆ ガンマ線の観測（エネルギー、時間、分布）

見る:原子核を探査子にぶつける

変化、応答を見る＝原子核反応の測定

何かで叩いて(核反応)、返答を見る、聞く(核分光)

つぶやき(音、光)を聞き(見)分ける
センサー



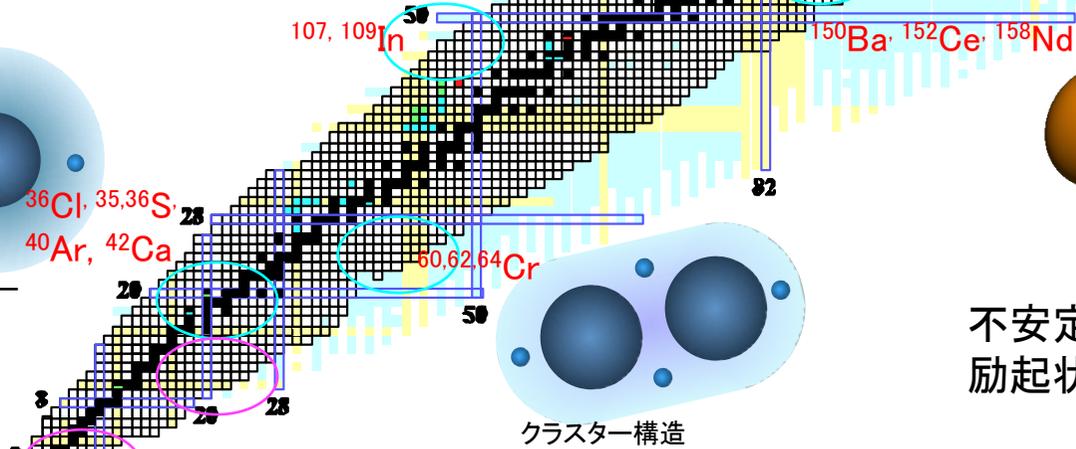
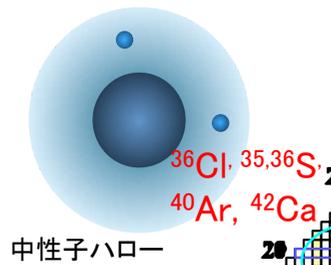
278113

超変形 2:1

ハイパー変形 3:1

バナナ型変形

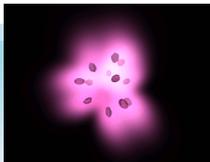
洋ナシ型変形



クラスター構造

不安定核ビーム
励起状態を生成

テトラ中性子 (4n)





SHARAQ プロジェクト

核反応前後でやりとりされるエネルギー・運動量を高分解能で測定

新しい魔法数
様々な変形・振動状態
中性子物質
高温原子核の反応
...

SHARAQスペクトロメータの仕様

- 運動量分解能 $\Delta p/p < 1/15000$
どれだけ音程が区別できるか？
- 最大磁気剛性 $B\rho = 6.8\text{Tm}$ ($\rho=4.8\text{m}$)
どれだけ高い音まで測れるか？
- 立体角 $\Delta\Omega = 5\text{ msr}$
どれだけ小さな音まで測れるか？
- 運動量範囲 $\pm 3\%$
どれだけ音域が広いかわかるか？

高機能 RI ビームライン

- 分散測定
最初の音の音程を測る
- 分散整合
始めと終わりの音程差を測る

2009年稼働開始





将来計画

低速RIビームライン開発 (OEDOプロジェクト)

大江戸

中重核領域の低速RIビームが拓く科学

移行反応によるエキゾチック原子核構造の進化、核子相関の解明

- エキゾチック原子核における新たな魔法数とその背後にある殻構造の進化から、元素のなりたちを解明
- 希薄中性子物質中の核子対相関の測定による相変化の解明
- クラスタ状態生成反応を用いた核内における多核子相関の解明

エキゾチック原子核の融合反応による新たな極限状態の探査

- 多様な形状の原子核と新たな集団運動モードの探査
- 中性子過剰原子核融合による原子核の高速回転極限の探査および重元素生成手法の開拓

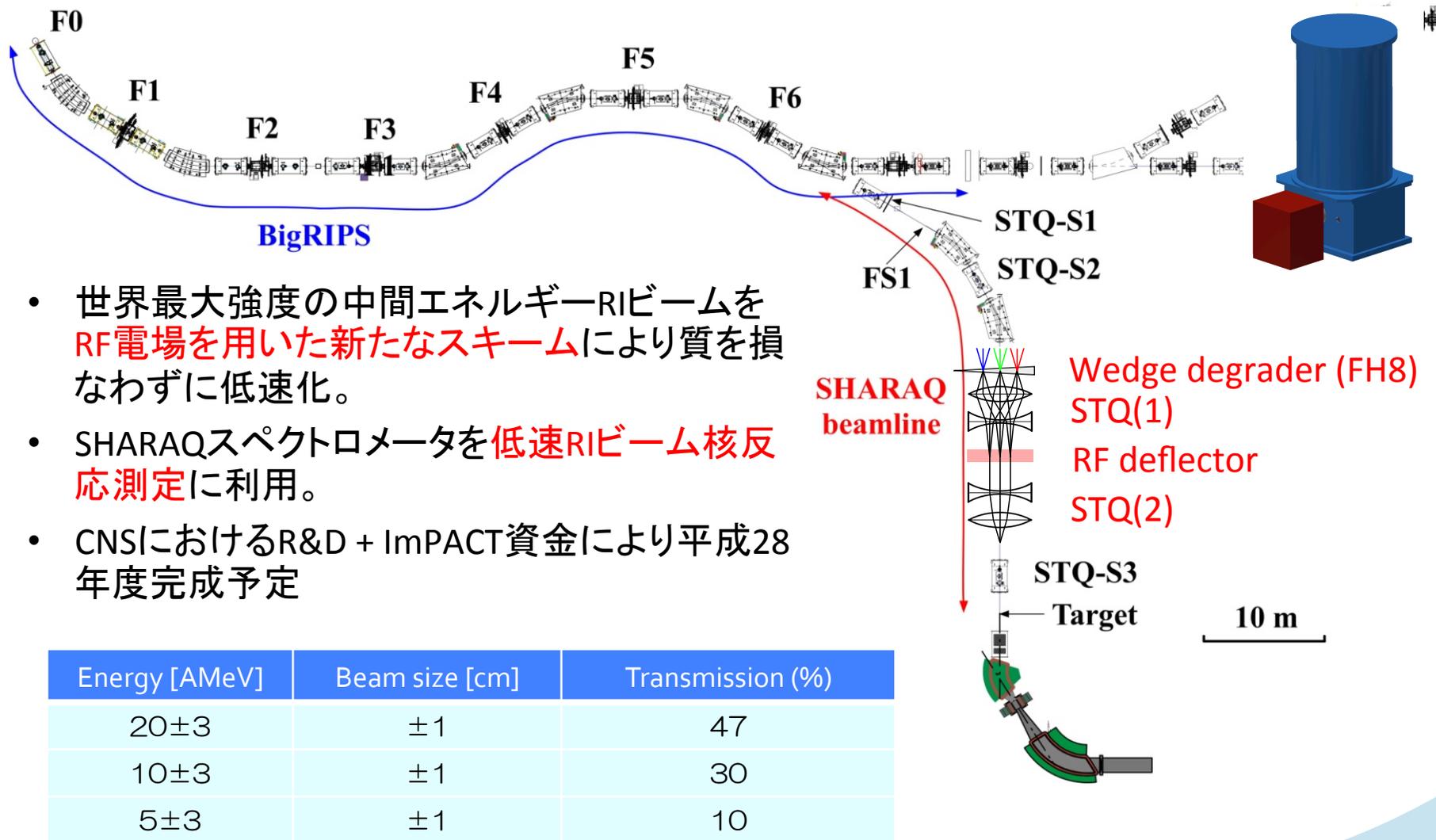
核変換に関わる核データ

- 核廃棄物の核変換システムに必要な核データの測定・評価



次期プロジェクト 低速RIビームライン開発 (OEDO)

大江戸



- 世界最大強度の中間エネルギーRIビームをRF電場を用いた新たなスキームにより質を損なわずに低速化。
- SHARAQスペクトロメータを低速RIビーム核反応測定に利用。
- CNSにおけるR&D + ImPACT資金により平成28年度完成予定

Energy [AMeV]	Beam size [cm]	Transmission (%)
20±3	±1	47
10±3	±1	30
5±3	±1	10

OEDO: Optimized Energy-Degrading Optics



最近の成果

■ 核分光実験・データ解析

- 新アイソマー探査 (井手口、横山): 論文執筆中
- Various deformations in very neutron-rich Ba-Nd nuclei (EURICA) (横山、井手口): 横山D論解析中
- 発熱型二重荷電交換反応(^8He , ^8Be)によるテトラ中性子@RIBF (木佐森D論)
- 軽い核に対する発熱型荷電交換反応(^8He , $^8\text{Li}^*$)の研究(宮D論執筆中)
- 陽子荷電交換反応 $^8\text{He}(p,n)$ による ^8He のスピンアイソスピン応答(小林): 論文執筆中
- 二重荷電交換反応(^{18}O , ^{18}Ne)による、 ^{12}Be 核の構造研究(高木): 論文執筆中
- (^{12}C , $^{12}\text{Be}^*(\text{O}_2^+)$)を用いた、DGT状態の研究 (高木D論解析中)
- Quadrupole collectivity in island-of-inversion nuclei $^{28,30}\text{Ne}$ and $^{34,36}\text{Mg}$ (道正; PRC)

■ RIBFでの実験および計画

- Development of Energy Degraded RI beams (RIBF, ZDS) → OEDO project
- 中性子トラッキング検出器

■ CAGRA project @ RCNP

- High-spin states (井手口、横山)
- MUSIC



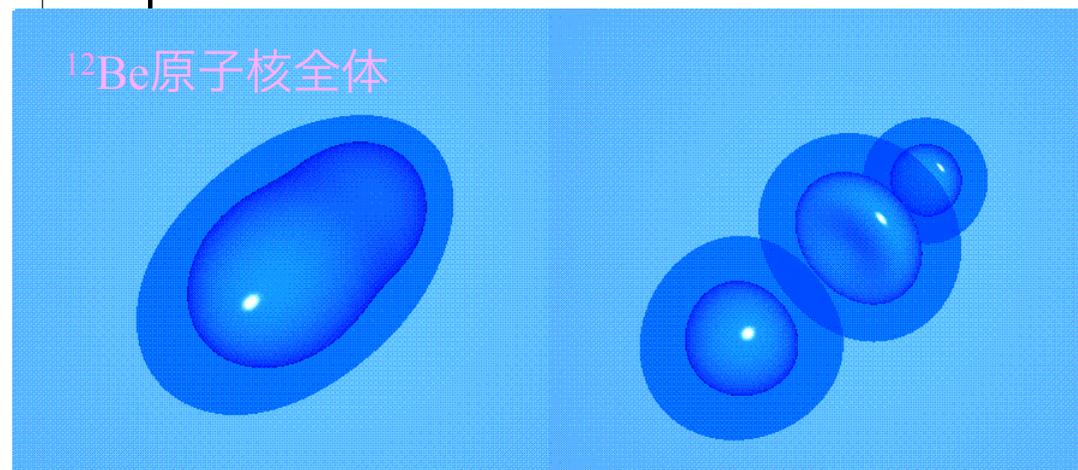
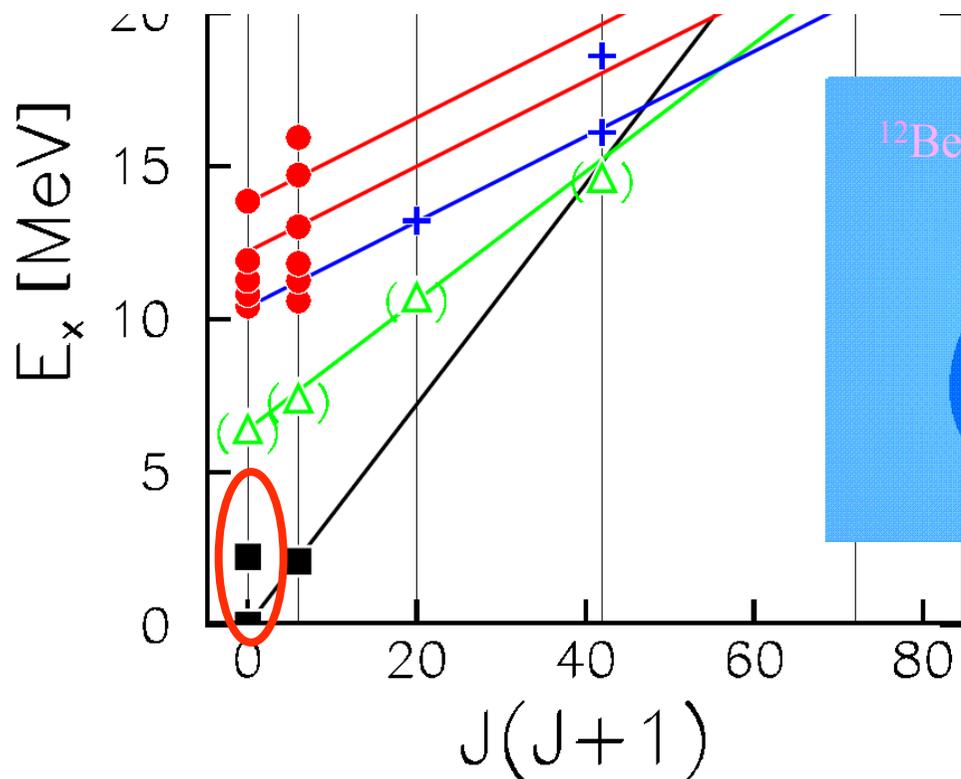
研究例

- ^{12}Be 双子の 0^+ 状態
 - 魔法数なのに大きな変形
 - 大きな遷移強度
 - 2成分の波動関数
 - 遷移はベータ振動モードに類似

2中性子波動関数

$$\Phi(1) = \alpha \left| \begin{array}{c} \text{[Diagram: 2 neutrons in a single nucleus]} \end{array} \right\rangle + \beta \left| \begin{array}{c} \text{[Diagram: 2 neutrons in separate nuclei]} \end{array} \right\rangle$$

$$\Phi(2) = -\beta \left| \begin{array}{c} \text{[Diagram: 2 neutrons in a single nucleus]} \end{array} \right\rangle + \alpha \left| \begin{array}{c} \text{[Diagram: 2 neutrons in separate nuclei]} \end{array} \right\rangle$$



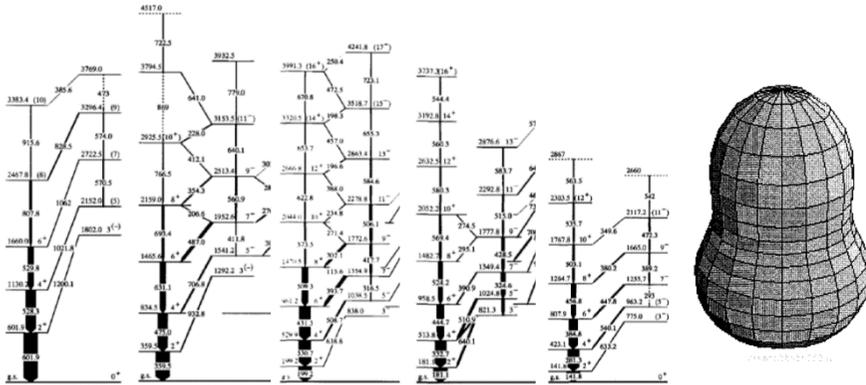
$\Phi(1) \Leftrightarrow \Phi(2)$ ベータ振動



ハイライト

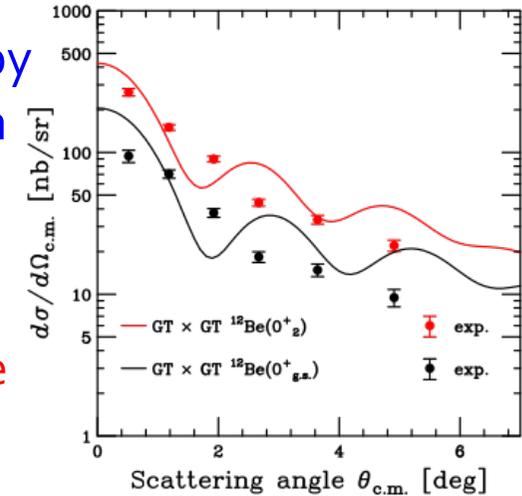
Gamma-Ray Spectroscopy

Search for Octupole deformation in ^{150}Ba



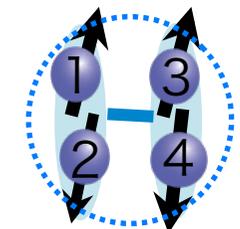
New spectroscopy using Heavy-Ion double-charge exchange

Search for Double Gamow-Teller Resonance



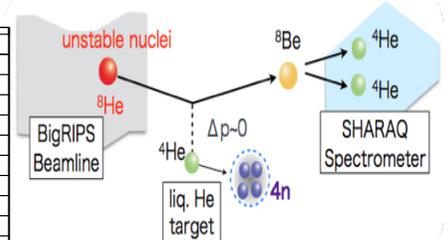
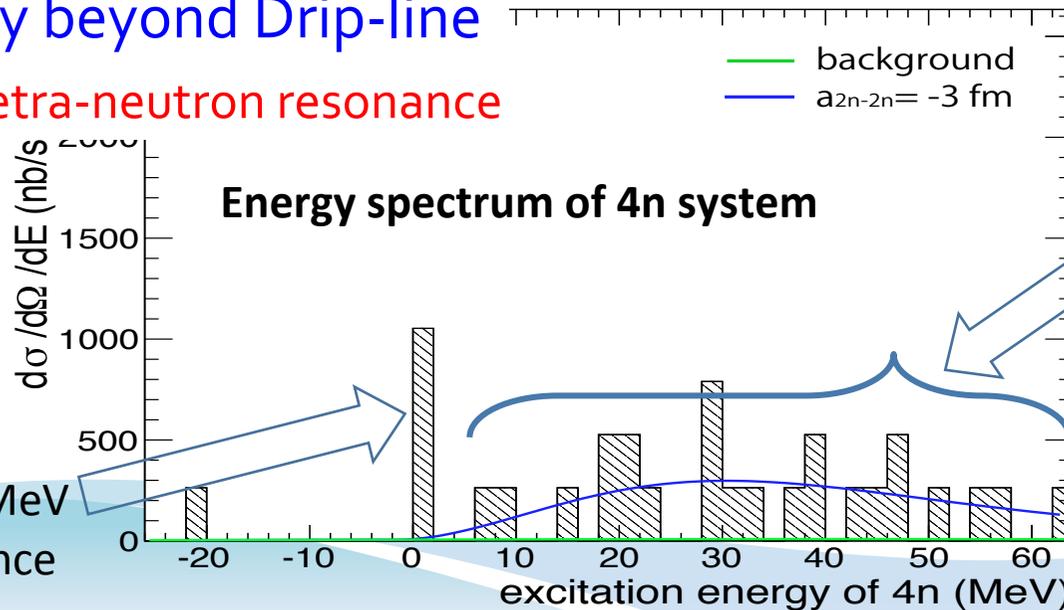
Spectroscopy beyond Drip-line

Search for Tetra-neutron resonance

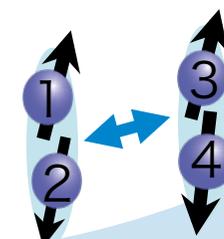


4n resonance

$E_{4n} = 0.83 \pm 0.25 \text{ MeV}$
 $\Rightarrow 3.5\sigma$ significance



4n scattering state

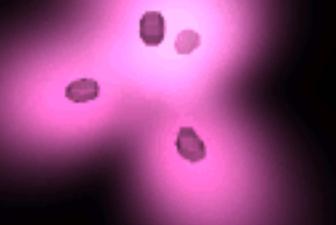




4核子系の密度分布

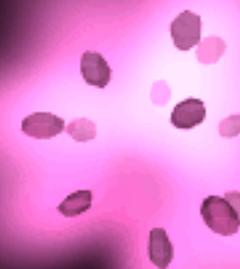
$(0s)^4$

アルファ粒子



テトラ中性子

$(0s)^2(0p)^2$



$$\exp \left[-\frac{r_\alpha^2 + r_\beta^2 + r_\gamma^2}{a^2} \right]$$

$$\left[(r_\alpha^2 - r_\beta^2)^2 + (r_\beta^2 - r_\gamma^2)^2 + (r_\gamma^2 - r_\alpha^2)^2 \right] \times \exp \left[-\frac{r_\alpha^2 + r_\beta^2 + r_\gamma^2}{a^2} \right]$$

$$\vec{r}_\alpha = \frac{\vec{r}_1 + \vec{r}_2}{2} - \frac{\vec{r}_3 + \vec{r}_4}{2}; \quad \vec{r}_\beta = \frac{\vec{r}_1 + \vec{r}_3}{2} - \frac{\vec{r}_4 + \vec{r}_2}{2}; \quad \vec{r}_\gamma = \frac{\vec{r}_1 + \vec{r}_4}{2} - \frac{\vec{r}_2 + \vec{r}_3}{2}$$



極限原子核構造研究グループメンバー

NUSPEQ (Nuclear Spectroscopy for Extreme Quantum system)

CNS

下浦 享 (教授)
井手口 栄治 (協力准教授; RCNP)
高木 基伸(PD)
宮 裕之 (PD (SHARAQ))
横山 輪 (D3)
小林 幹 (D2)
山口 勇貴(M1)
増岡 翔一郎(M1)

立教(共同研究)

栗田 和好
小林 和馬(M2)
國本 雄太(B4)
田中 耀平(B4)

共同研究

道正 新一郎
松下 昌史 (PD (OEDO/SHARAQ))
大田 晋輔
SHARAQグループ
エキゾチック核反応グループ(矢向)
低エネルギー重イオン反応グループ(今井)
木佐森 慶一 (学振(理研))

理研測定器開発チーム

馬場 秀忠 (理研)

...

Exp. @

RIBF, RCNP, IPN-Orsay, JAEA, Tohoku ...



研究: ?自然の不思議から、?何が腑に落ちないことなのかを見だし、
関連性に着目し、それを解明すること