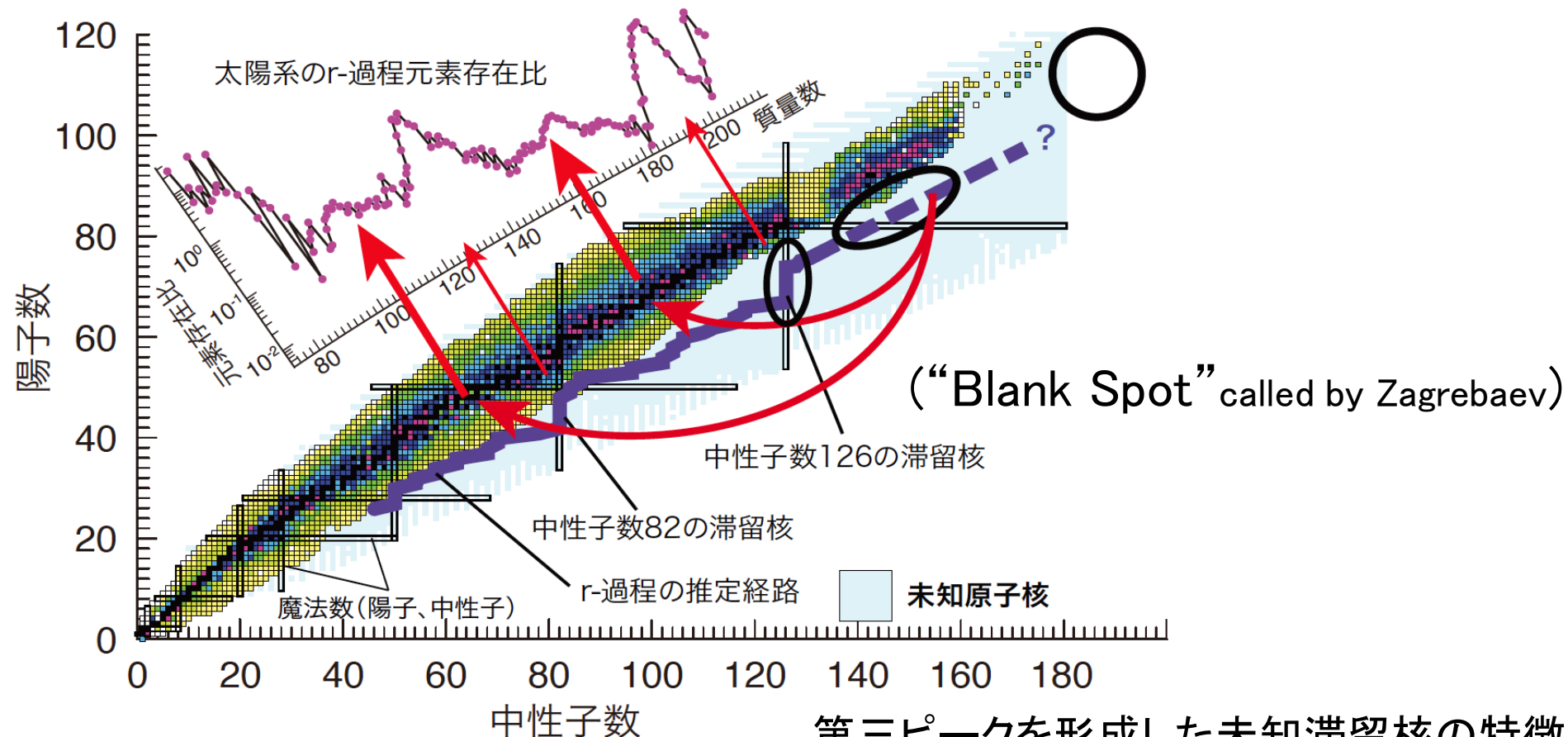


- Motivation
 - Status
 - Plan

Rapid neutron capture(R-過程)の天体起源を探る

-21世紀に持ち越された基礎物理重要課題の一つ-

Motivation



第三ピークを形成した未知滞留核の特徴

- 極端に金属の欠乏した初期世代星からも観測
- さらに重い元素(U, Th)生成のボトルネック
- すべてが未知核(BIGRIPS/RIBFで到達困難)

第三ピーク(A=195)の滞留核測定から分かること

半減期, 質量および崩壊様式の測定:

- (n, γ)-(γ , n) 平衡条件:

$$Y_{r, \text{prog}} / T_{1/2}(\text{waiting}) \sim \text{const.} \leftrightarrow \text{R-過程の経路決定}$$

- R-過程形成に要する最小時間:

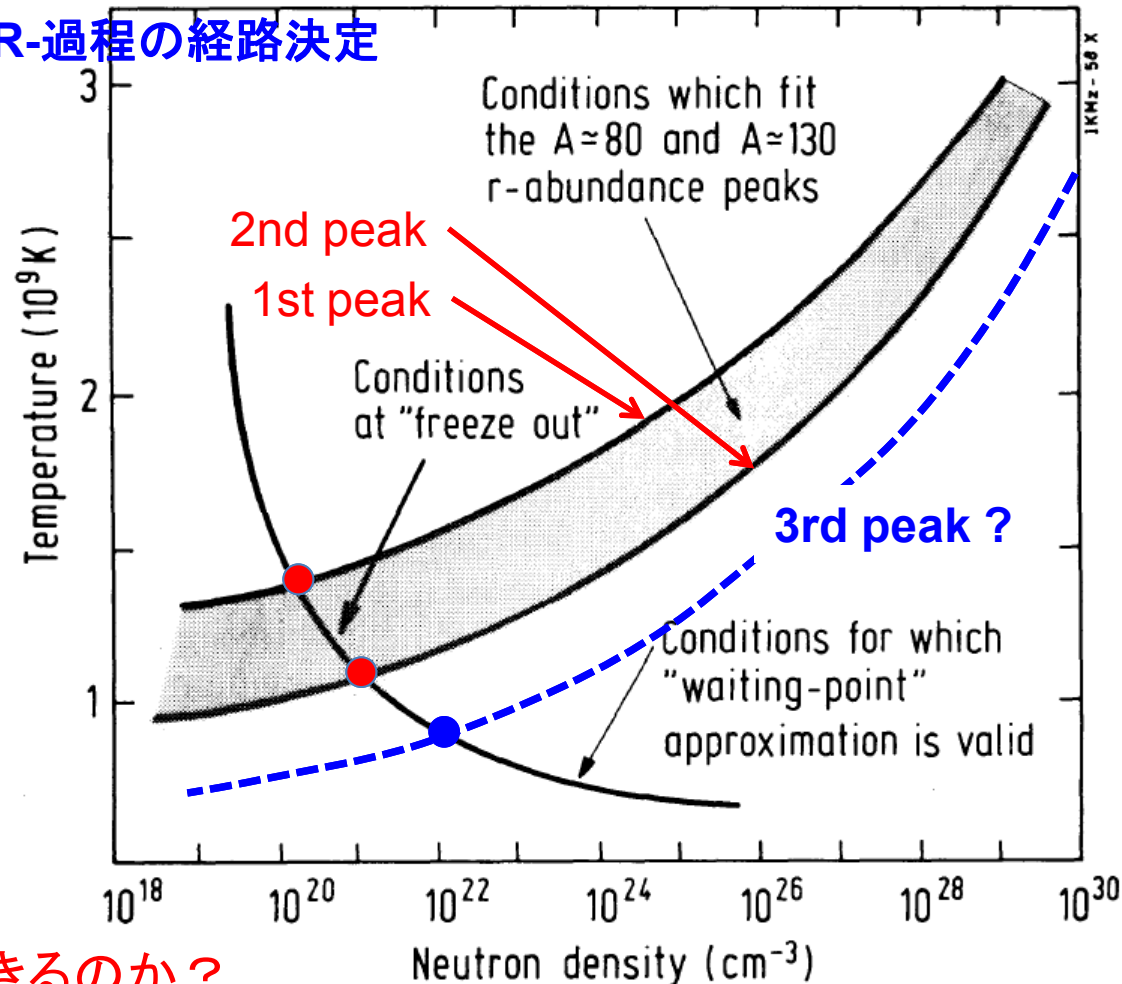
$$\sim \sum T_{1/2}(\text{waiting})$$

- 天体環境条件:

$$N_n - T_9 \text{ 相関}$$

- 凍結条件: T_9 and N_n

- 重元素(U, Th)生成率



R-過程: 単一天体環境で説明できるのか?

禁止転移と許容転移

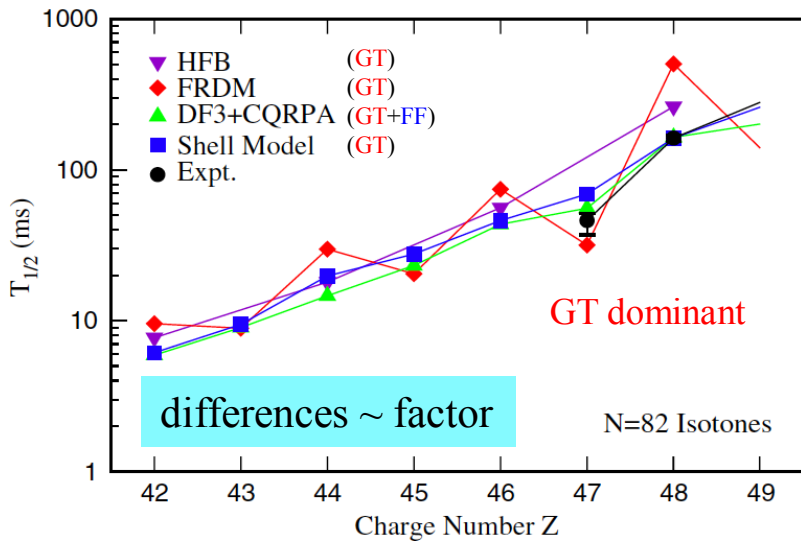
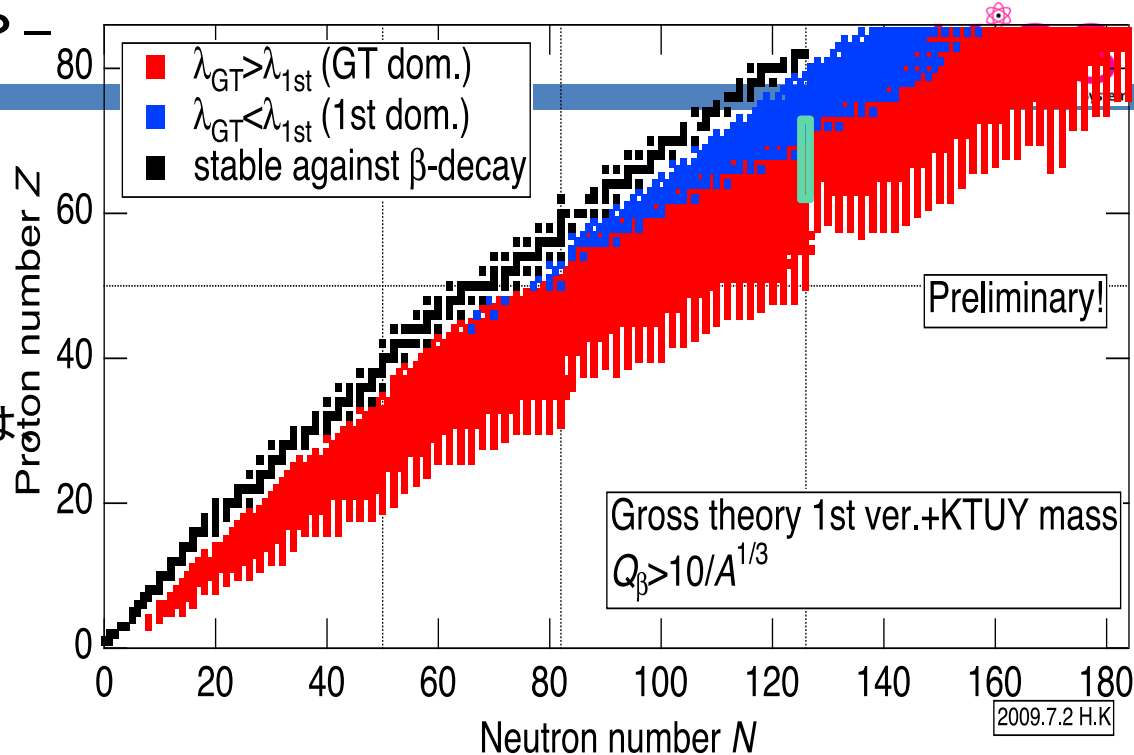
-N=126近傍殻構造の特徴？-

Motivation

$$\lambda_{\beta}(s^{-1}) \propto |M|^2 f \square |M|^2 E_0^5$$

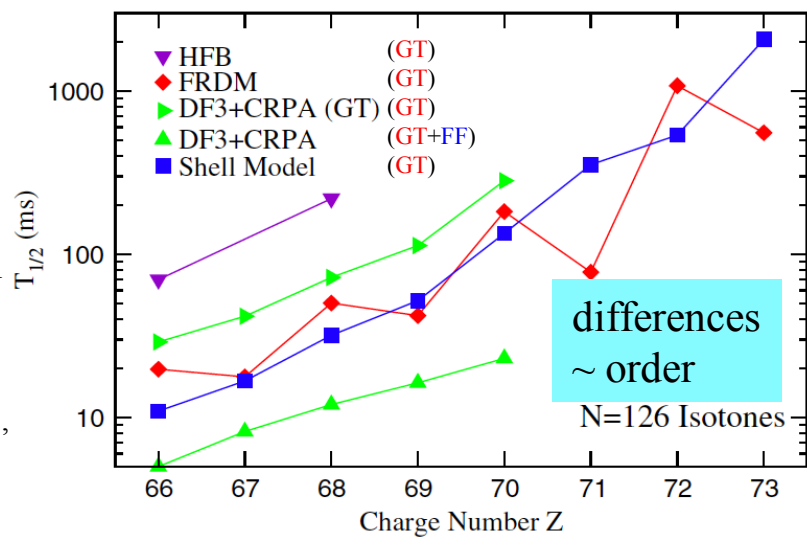
中性子過剰な原子核の構造によっては
通常では1万倍も遅い禁止転移が
滞留核の寿命を決める

詳細な核構造に対する知識



Predictions
for
A=130, 195
waiting nuclei

from H. Grawe et al.,
Rep. Prog. Phys.
70(2007)1525.



KISS: KEK Isotope Separation System

- A=195未知滞留核に到達する新たな研究方法 -



Status

(1) 多核子移行反応

中性子過剰ビーム (~10 MeV/u)

i.e. $(^{136-144}\text{Xe} + ^{198}\text{Pt})$

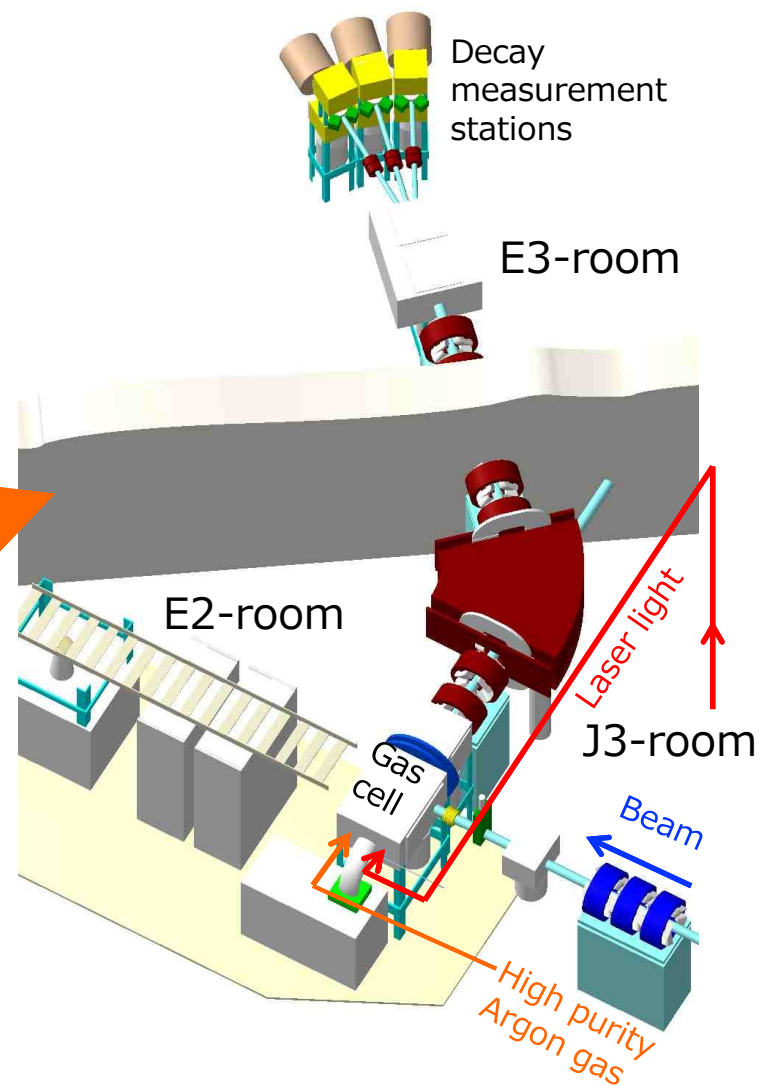
(2) In-gas laser イオン化法

アルゴンガスによる生成核捕獲

+ レーザー共鳴イオン化 (Z)

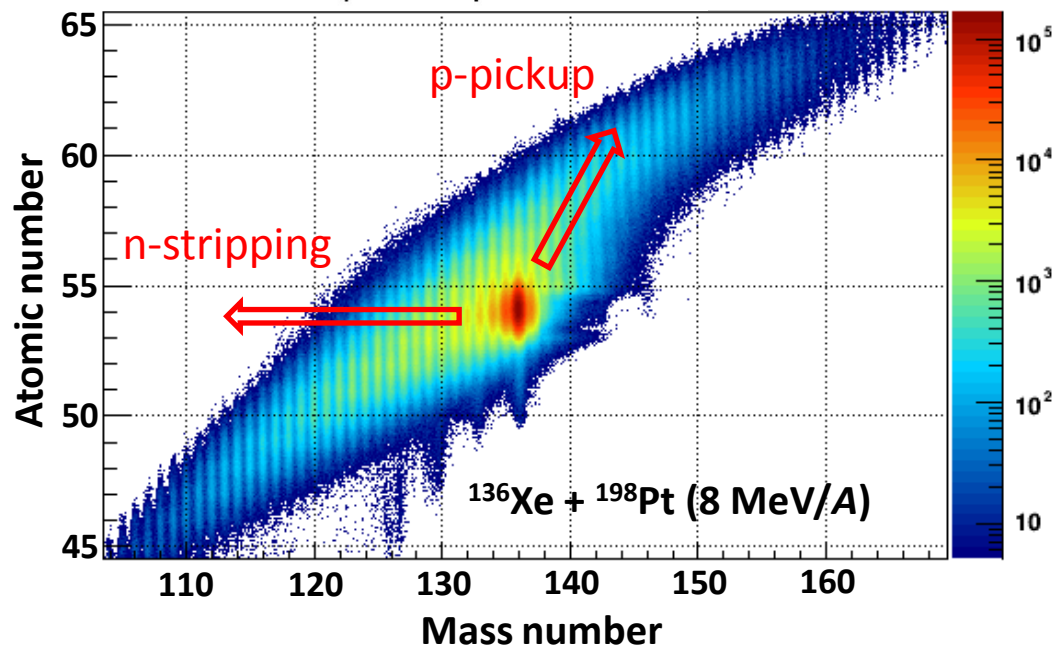
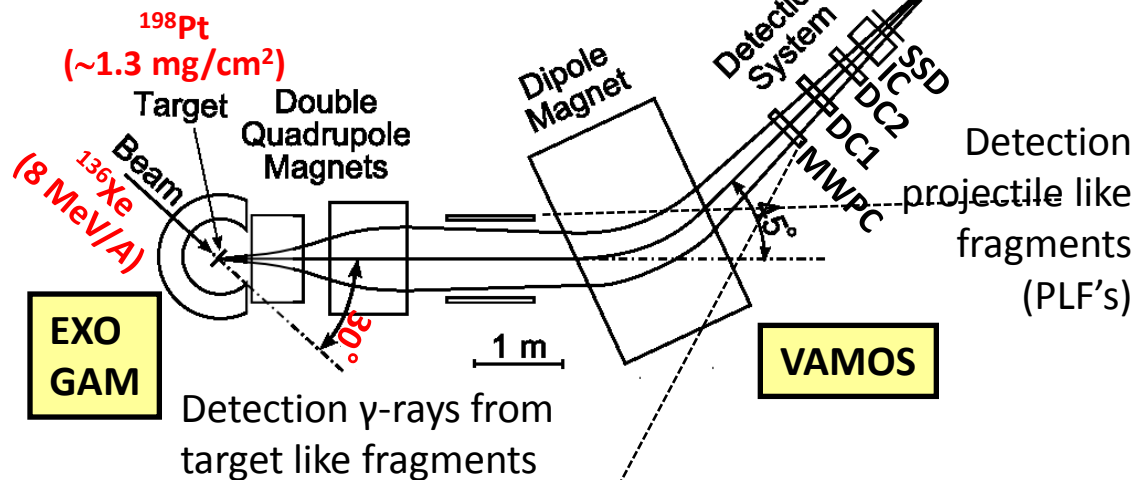
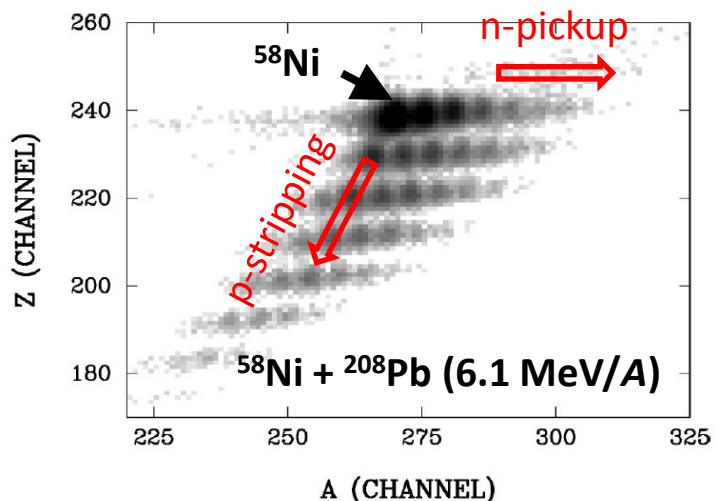
+ 質量分離 (A)

+ 低バックグラウンド検出器システム



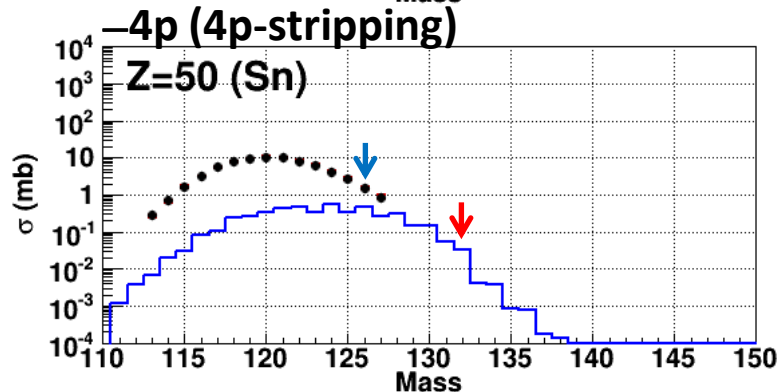
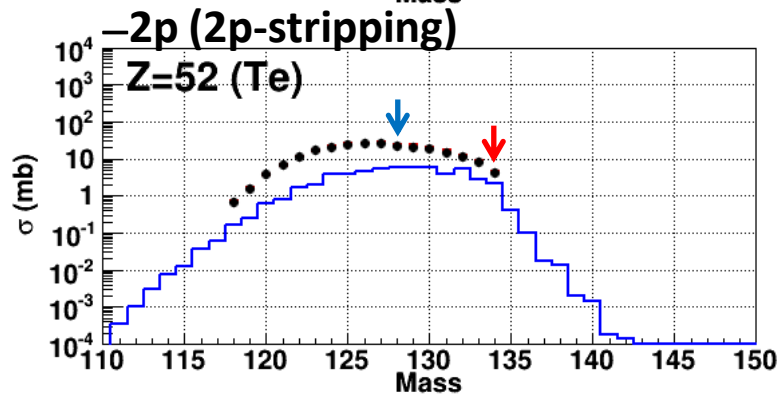
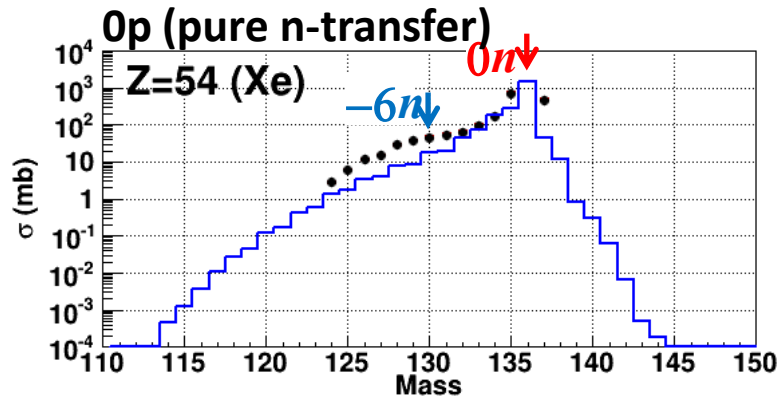
多核子移行反応実証実験 at GANIL(E619: 2012.3.19-26)

Status



- 質量数の軽い反応系($^{58}\text{Ni} + ^{208}\text{Pb}$)に較べて n -pickup and p -stripping channels が強く生成される事を確認
- 標準的生成断面積コードよりも1~2桁大きな値となる可能性を示唆

Isotopic distributions of PLF

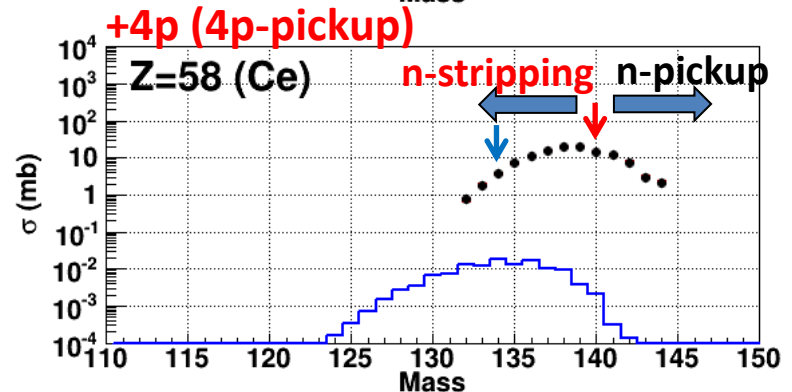
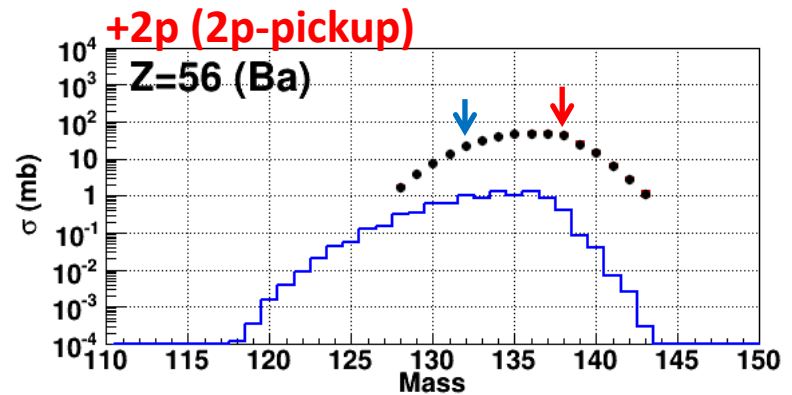


- Measurements

— GRAZING calculations

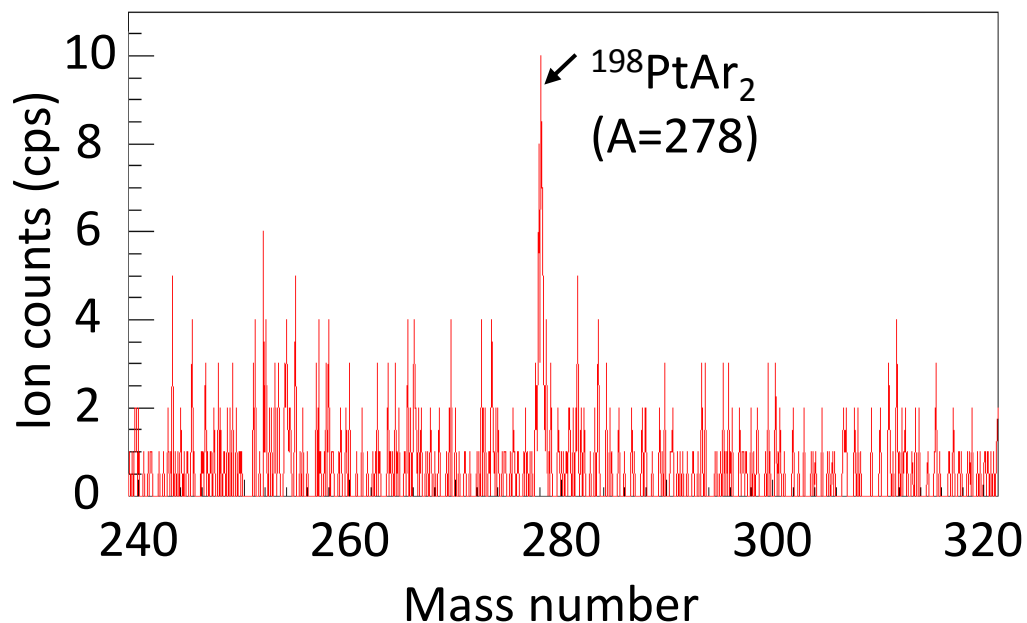
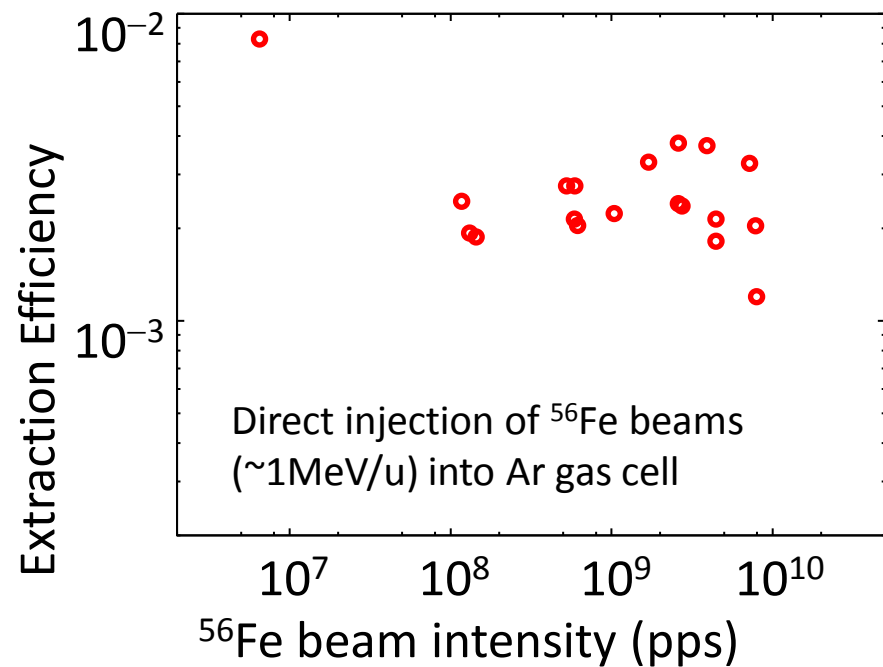
$\sigma(\text{p-pickup})$ are larger than $\sigma(\text{p-stripping})$, whereas the calculations show the smaller $\int(\text{p-pickup})$

TLF : p-stripping and n-pickup



ビームを用いたKISS装置性能試験(2012~2014)

鉄および白金の共鳴イオン化



- 鉄ビームのガスセル直接打込み:
0.2 to 20 pAの領域で一定の引出効率
($\sim 0.3\%$)

- 共鳴イオン化した鉄イオンのS/N比: 50

- ^{124}Xe ビームの照射による標的から散乱された白金元素の共鳴イオン化:
 $^{198}\text{Pt} : ^{198}\text{Pt}(\text{H}_2\text{O}) : ^{198}\text{PtAr}_2 = 1:4:10$

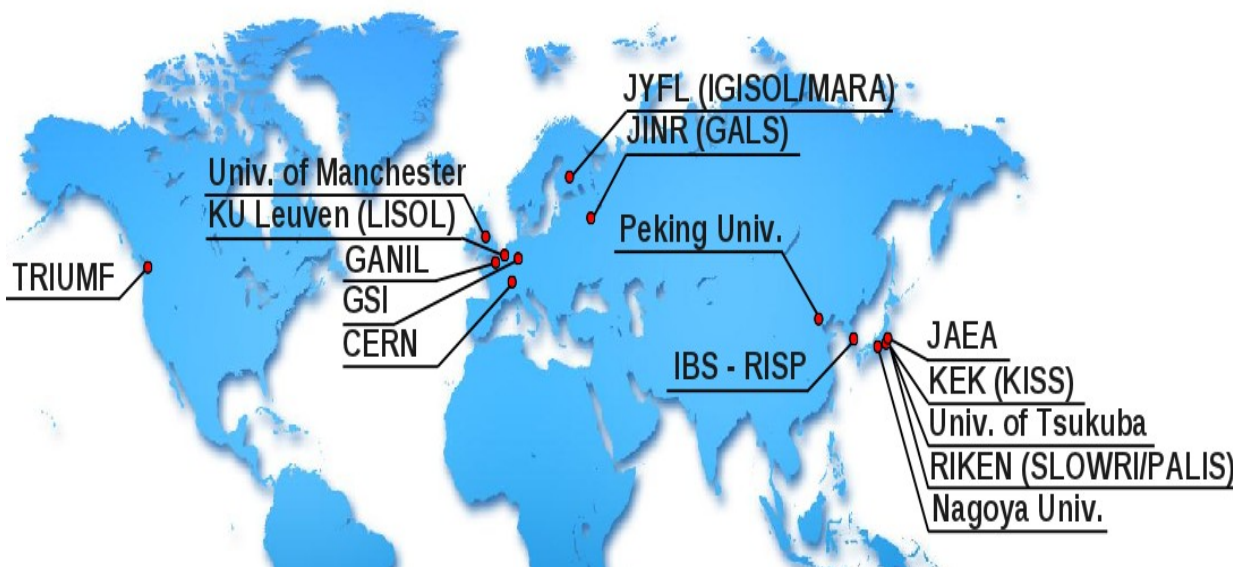
KISS共同利用開始(2015.後半)に向けたネットワーク

Status

RIBFの装置では不可能であった中性子過剰な重い未知原子核へのアプローチが可能
天体核物理、原子核物理の新たな展開

- 中性子過剰な超重核領域での核構造
- R-過程の終端領域での未知な核情報
- レーザー核分光などによる詳細な核構造研究

- IGLIS-NET(In-Gas Laser Ionization and Spectroscopy NETwork)の発足(2012)



research groups of 15 laboratories



- exchange of the current information in the research field of IGLIS
- discussion of the relevant physics subjects
- * collaboration between KEK, RIKEN, and KU-Leuven

プロジェクトのタイムスケジュール

Plan

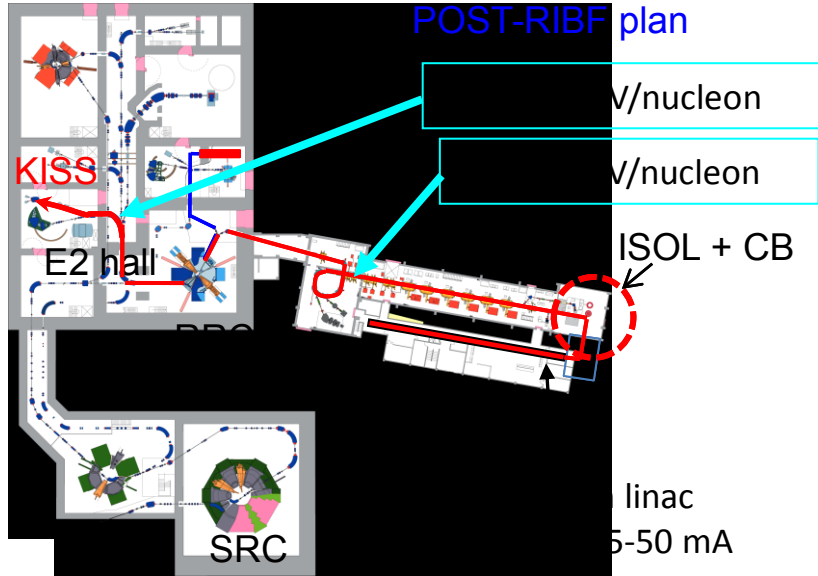
年度	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020		
第1期 2010~ 2014	TRIAC移設	KISS設置・試験開発・予備測定											
		予備実験(仏)遂行・解析											
第2期 2015~ 2019						第一期共同利用・本測定							
						アップグレード							
長期 2020~						理研RIBF高度化							
										第二期共同利用			
期待される おもな物理 成果						<ul style="list-style-type: none"> ・滞留核近傍未知核種(~19種)測定から、r過程形成時の天体条件を定量的に予測 ・中性子過剰重イオンビームによる多核子移行反応機構解明と中性子過剰未知重原子核探索への有効性を確立 ・原子番号90以上の未知中性子過剰核測定からr過程での核分裂サイクル効果を定量化 						<ul style="list-style-type: none"> ・W, Ta, Hfなどの未知滞留核直接測定によるr過程起源の候補天体を選別・特定 ・r過程終焉部での中性子魔法数184の影響を解明 ・質量数130,195ピーク間のr過程経路の特定 	

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
KISS実験施設*		建設中	実験						

施設	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
新一次陽子・高運動量ビームライン		建設							
ハドロン質量起源解明		準備		実験					
ハドロン内部構造探索	設計		準備				実験		
核子構造研究	設計			準備				実験	
ハドロンホール拡張*	設計		建設						
K1.8/K1.8BR: ストレンジ核(S=-1→-2)				実験					
K1.1: ストレンジ核(S=-1)		準備	実験		準備		実験		
HR: 高分解能ストレージ核分光					準備		実験		
K10: ストレンジ(S≤-2)・チャームのハドロン・核					準備		実験		

ストレッチャーリング	調査・検討	設計・建設
------------	-------	-------

重イオン加速器	調査・検討	設計・建設
---------	-------	-------



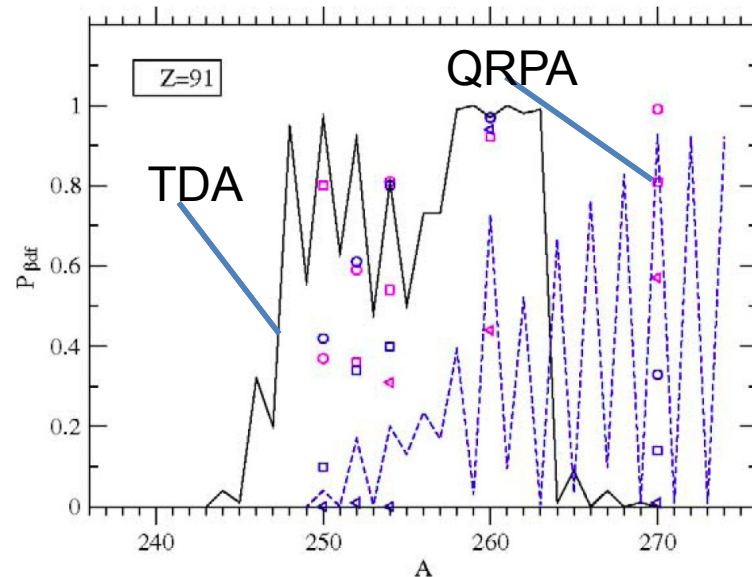
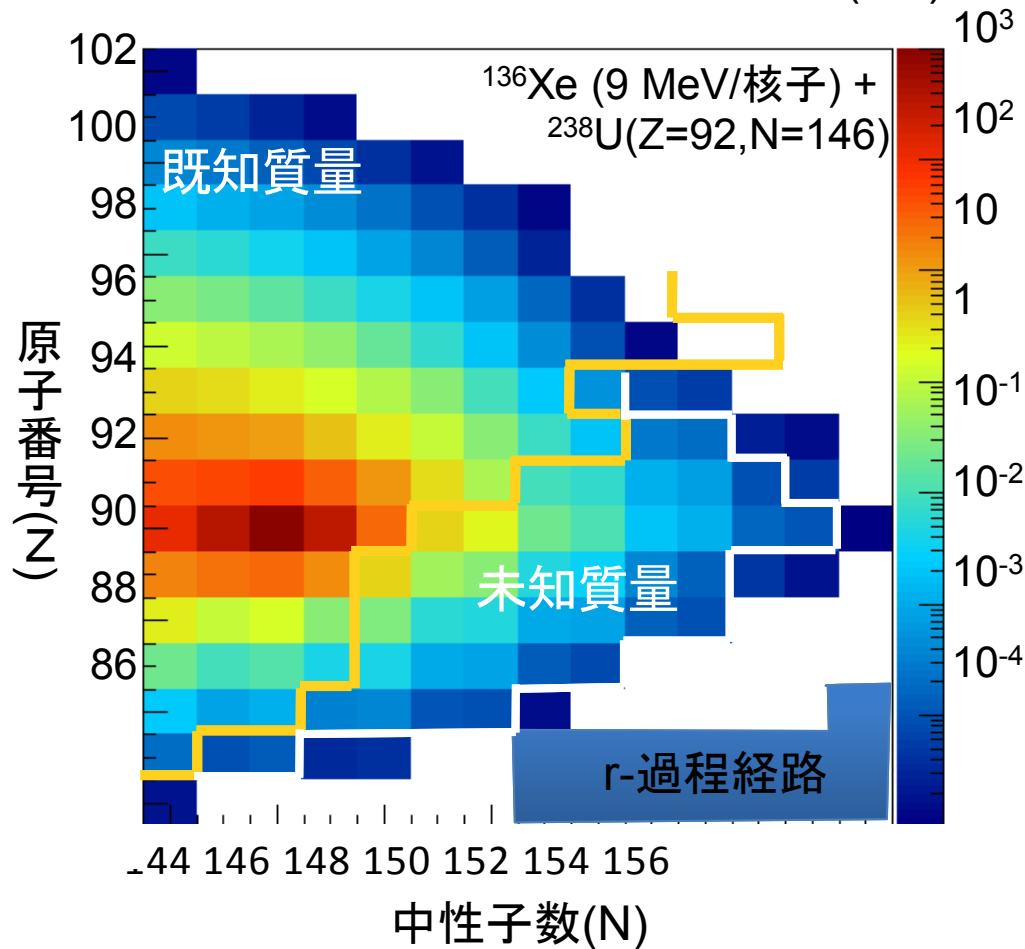
大歓迎！！

実験課題の相談、KISSと関連する研究課題の議論

<http://kekrnb.kek.jp>

Unknown region of the r-process termination

生成断面積(mb)



^{136}Xe (9 MeV/u)

+ ^{238}U (Z=92, N=146, 4×10^9 y)

-> $88 < Z < 95$, $N < 157$

+ ^{248}Cm (Z=96, N=152, 3×10^5 y)

-> $92 < Z < 99$, $N < 163$??

If $^{140-144}\text{Xe}$ RNBS ●●●●●

●●●●●

Required luminosity: $\sim 10^{30} \text{cm}^2/\text{s}$ for $\sigma=1 \text{nb}$, 100 events/day

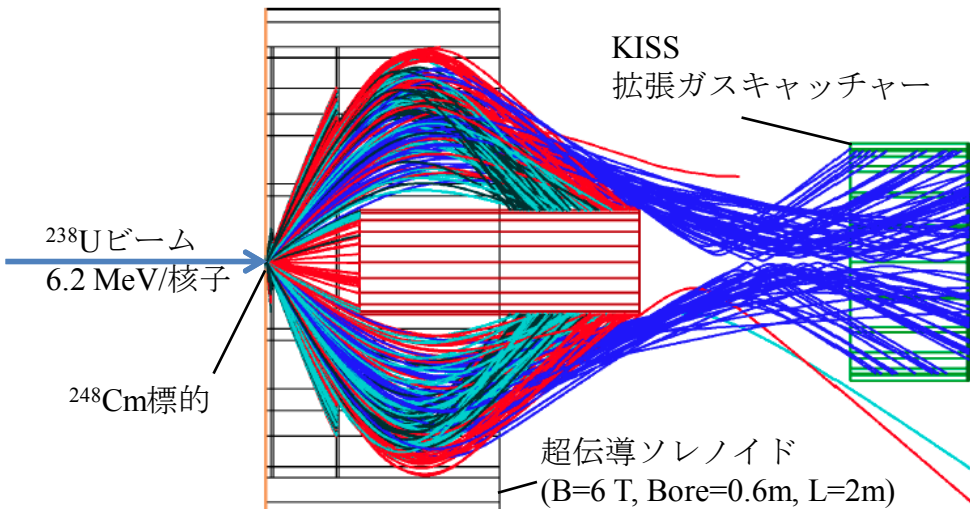
Waiting list for upgrading KISS

Short term

- レーザーシステムの増強： 200Hz, 1W → 15kHz, 9W
- 測定ステーションの充実： 1 station → 3 stations
- 質量測定準備： MRTOF + injection line

Long term

- 超伝導一次ビームフィルターの導入： ex. ガス充填型ソレノイド磁場



装置の特徴

- 超大立体角($\Delta\Omega\sim 1\text{ sr}$)
- 適度な一次ビーム抑制率($\sim 1/10^8$)
- 多岐な独立利用法
(核分光、反応機構研究)

Collaborators

KISS project

KEK	Y. Hirayama, N. Imai*, H. Ishiyama, S.C. Jeong, H. Miyatake, M. Oyaizu, Y.X. Watanabe
Seoul National University	Y.H.Kim
Tsukuba University	M. Mukai, S. Kimura
RIKEN	M. Wada, T. Sonoda
K.U. Leuven	P. Van Duppen , Yu. Kudryavtsev, M. Huyse

* N. Imai is now CNS.

MNT measurements at GANIL

KEK	Y. Hirayama, N. Imai, H. Ishiyama, S.C. Jeong, H. Miyatake, Y.X. Watanabe
GANIL	M. Rejmund, C. Schmitt, A. Navin, G. de France, E. Clement
Torino University	G. Pollarolo
LNL	L. Corradi, E. Fioretto
Padova University	D. Montanari
Seoul National University	S.H. Choi, Y.H. Kim, J.S. Song
IPN	M. Niikura, D. Suzuki
Osaka University	H. Nishibata, J. Takatsu

END