



JAEA-ISOL用イオン源の開発

原子力機構 長 明彦

原子力機構 佐藤哲也、中村暢彦、松田 誠、浅井雅人、
西尾勝久、塚田和明、市川進一、
タンデム加速器グループ
KEK 宮武宇也、石山博恒、TRIACグループ



H18年度上期実施済み課題

- ウラン標的FEBIADイオン源

運転毎に“当たり外れ”がある(H17年度)

組立手順でターゲットにコールドスポットができることが判明(H18年2月)

→安定した動作・性能が再現することを確認(H18/6/20)

照射条件の多少の変化では収量に変化がないことを確認

- ウラン標的表面電離型イオン源

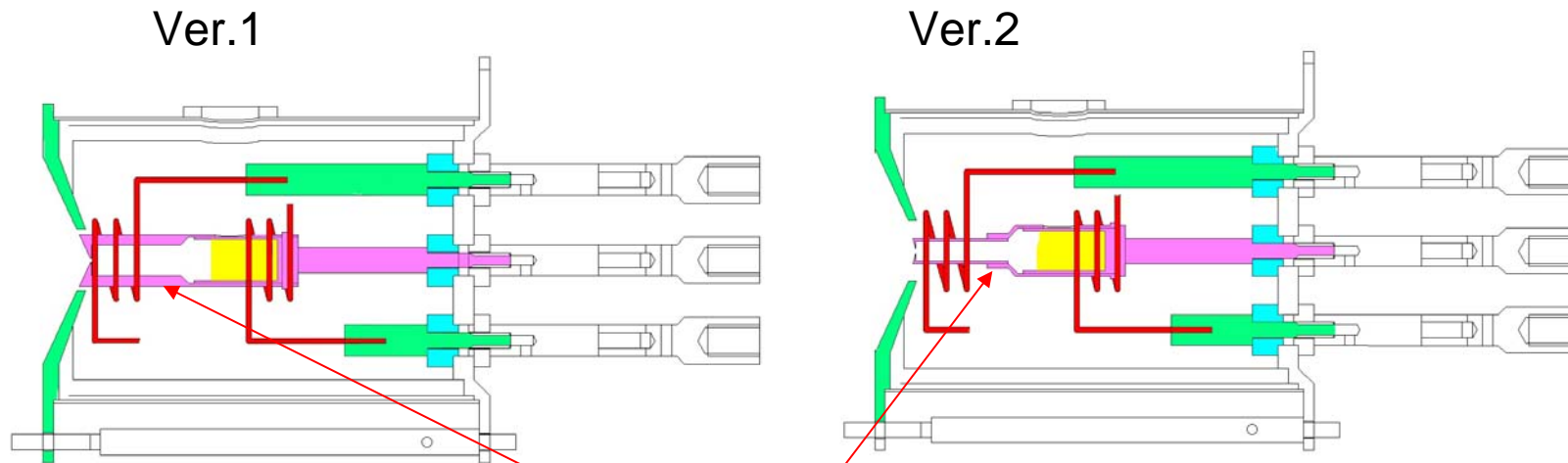
^{140}Cs イオン化効率14%→アルカリ、アルカリ土類元素への適用を確認

In (沸点2072°C、IP=5.786eV)の単離に適用できるはず

^{126}In ($T_{1/2}=1.6\text{s}$)イオン化効率0.08%(核融合-蒸発反応での実績0.8%)

→アイオナイザーの小型化・高温化で0.8%を達成(H18/6/15)

ウラン標的表面電離型イオン源の改良



Ionizer 表面からの輻射熱を抑えるため、相互作用領域である内壁面積をあまり減少させずに Ionizer の小型化を図った。
→ Ionizer の高温化によるイオン化効率の向上



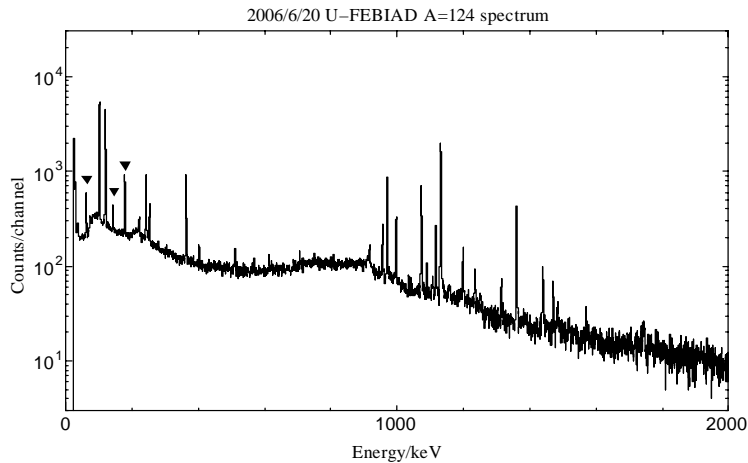
ウラン標的表面電離型イオン源の改良

改良によるイオン化効率改善

(強度は標的量 $320\text{mg}/\text{cm}^2$, 陽子ビーム強度 100nA で規格化)

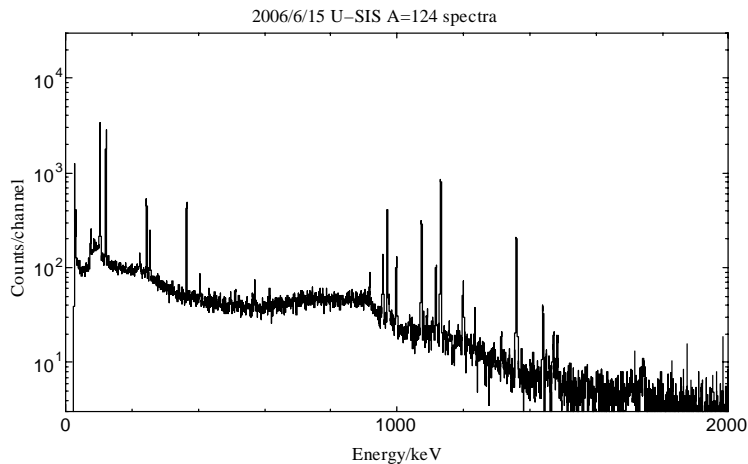
核種	強度(ions/s)		効率	
	Ver.1	Ver.2	Ver.1	Ver.2
$^{126\text{g}}\text{In}$	2×10^3	1.5×10^4	0.08%	0.8%
$^{126\text{m}}\text{In}$		1.7×10^4		
^{143}Cs	2×10^4	1.1×10^5	4%	23%
^{143}Ba	2×10^3	2.8×10^5	0.2%	28%

Inビームの高純度化



U-SISで核反応で生成したIn同位体をイオン化する場合、同時に生成するAg, Cd, Snなどの同重体はイオン化ポテンシャルが高いため蒸気圧が高くてもほとんどイオン化されない。→高純度のInビームが得られる。

	^{47}Ag	^{48}Cd	^{49}In	^{50}Sn
IP/eV	7.576	8.994	5.786	7.344



U-FEBIAD, U-SISでイオン化、質量数124で質量分離したビームの γ 線スペクトル。

▼は ^{124}Cd の β 壊変に伴う γ 線、それ以外は $^{124\text{m,g}}\text{In}$ の β 壊変に伴う γ 線である。



Inビームの高純度化

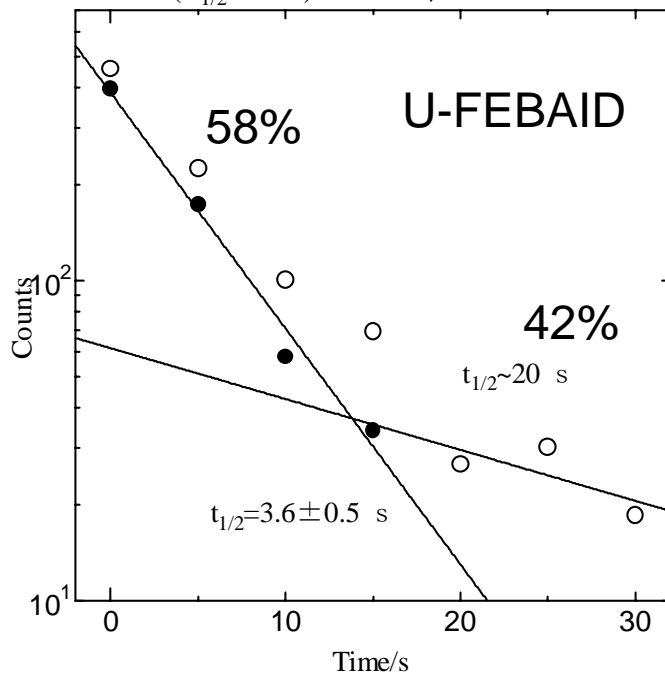
Nuclide	U-FEBIAD	U-SIS	Ratio(U-SIS/U-FEBIAD)
$^{122}\text{In}(T_{1/2}=10.5\text{s})$	8.1×10^4	4.2×10^4	0.52
$^{122}\text{In}(T_{1/2}=1.5\text{s})$	2.2×10^5	1.0×10^4	0.47
$^{126}\text{In}(T_{1/2}=1.64\text{s})$	2.6×10^4	1.6×10^4	0.61
$^{126}\text{In}(T_{1/2}=1.6\text{s})$	2.4×10^4	1.4×10^4	0.56

今のところ、ビーム強度はU-FEBIADが2倍程度勝っているが、
ビーム純度はU-SISが優れている。



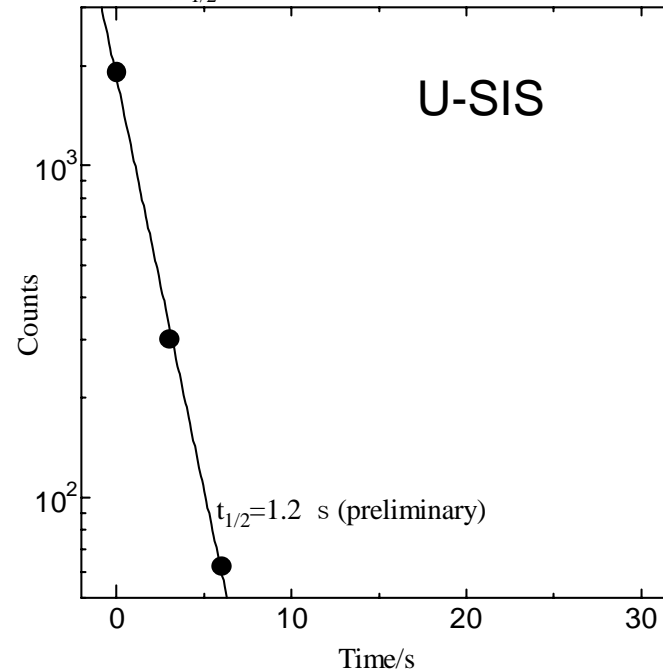
イオン源からの放出時間測定(In)

2005/06/09 U-FEBAID release time measurement
400mg/cm²:^{nat}U, 33 MeV 120 nA proton
^{123m}In (T_{1/2}=47.8s) 125keV γ



Anode input 170W(Anode温度 1900K)

2006/07/11 U-SIS release time measurement
630mg/cm²:^{nat}U, 32 MeV 120 nA proton
¹²³In (T_{1/2}=5.98s) 1130keV γ

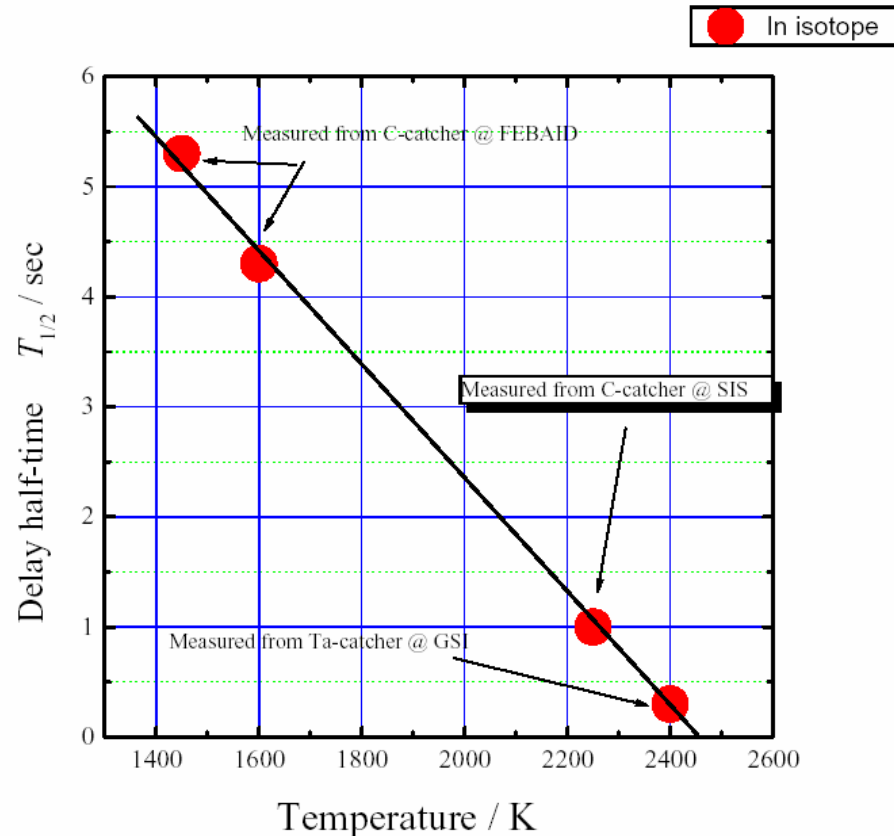


Total input 860W(温度 ~2300K)

実験からの要望がある¹³¹In, ¹³²In(T_{1/2} ~ 200ms)などに適用するには
少なくとも高温化が必要



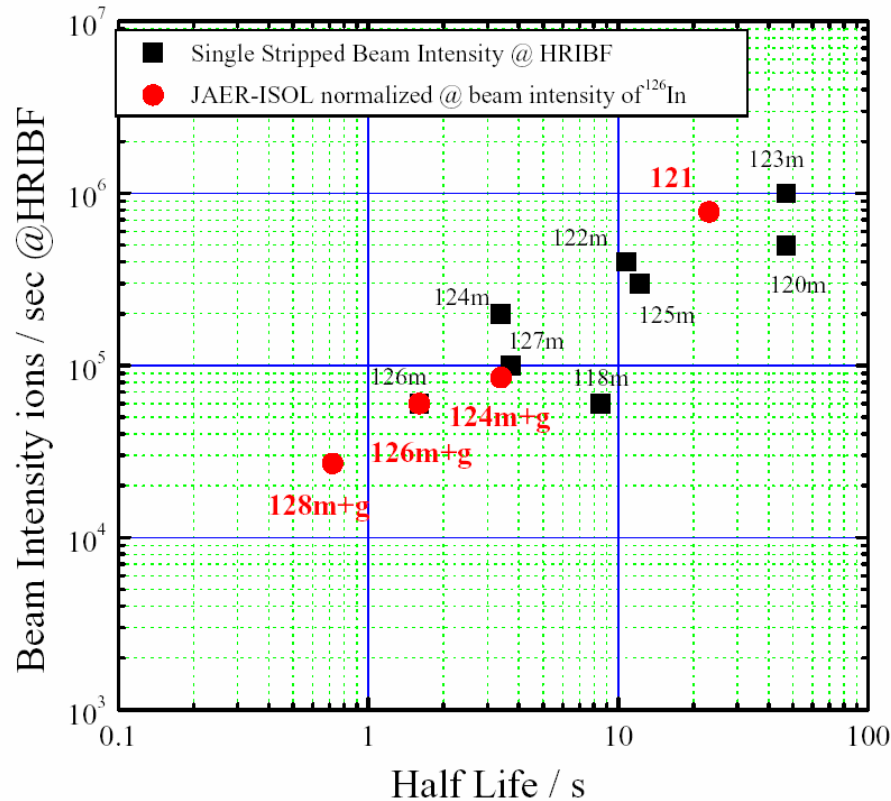
イオン源からの放出時間測定(In)



イオン源からのIn放出に係わるDelay half-life の温度依存性
イオン源温度上昇により放出時間を短縮することが可能である。



イオン源からの放出時間測定(In)

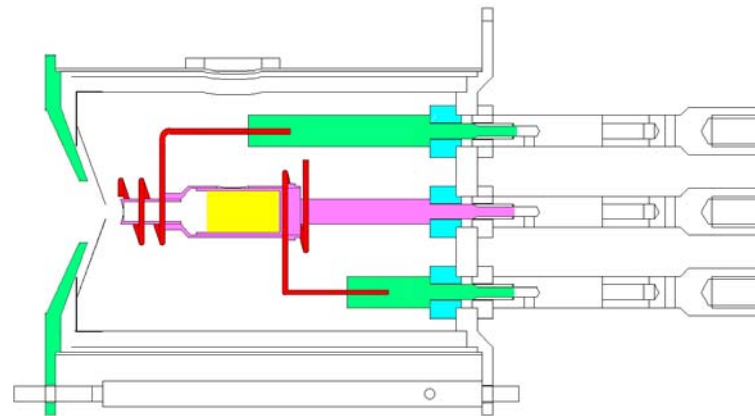


高温化によるIn放出時間短縮は可能であるが、In同位体の分離強度は半減期が短くなるにつれ減少する。

JAEA-ISOLとORNL-HRIBFで得られるInビーム強度の半減期依存性。比較のため強度は規格化してある。

U-SIS今後の開発

Ver.3



U-SISではFilament-Ionizer間に400V程度の電位差を印加し、熱電子による電子衝撃で加熱を行っている(SI mode)。Ver.3ではHeat shieldを強化すると共に、Heat shieldをFilamentと同電位にする運転モード(EI mode)が可能である。EI modeではHeat shield-Ionizer先端間で電子衝撃が発生する。

→Ionizer先端の高温化と電子衝撃によるイオン化機構の付加



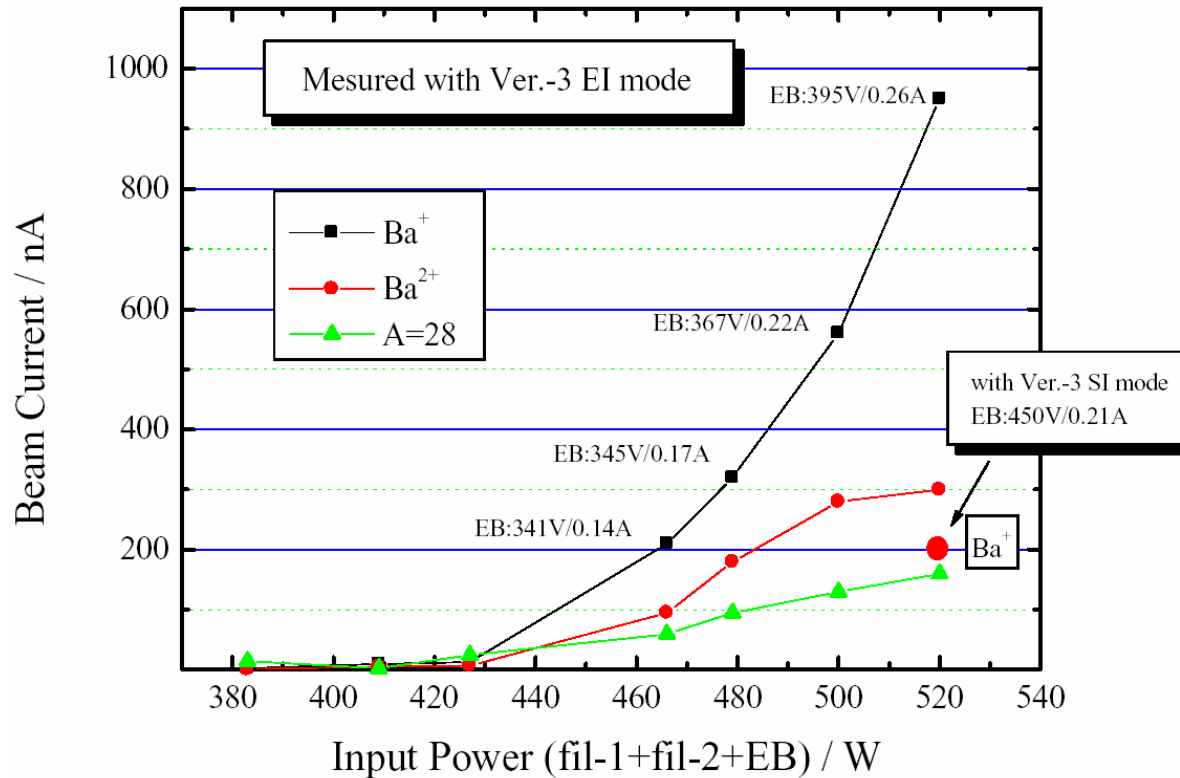
U-SIS Ver.3 オフライン試験で観測されたイオン種と電流

	Ver.3 EI mode	Ver.3 SI mode
観測したイオン種と電流		
Ba ⁺	950 nA	200 nA
Ba ²⁺	300 nA	6.8 nA
A=28(N ₂ ⁺ ?)	160 nA	--
運転状態		
EB:	395V/0.26A	450V/0.21A
Filament-1	4.6V/35A	4V/36.8A
Filament-2	7V/36.6A	7.3V/38.1A
Total power	520W	520W

表面電離のイオン化機構では本来不可能な、多価イオンや高イオン化ポテンシャル物質のイオン化がオフライン試験EI mode運転で確認できた。



U-SIS Ver.3 オフライン試験で観測されたイオン種と電流



SI modeでのイオン化傾向は、Ver.2などの運転で見られる傾向と同じである。

EI modeでは比較的低いTotal powerでイオン化が確認できており、低温で蒸気圧が低い段階でもイオン源引き出し孔からでた中性ビームを電子衝撃によってイオン化していると考えられる。



オンライン試験におけるVer.2とVer.3の比較

Mass	Ver.2		Ver.3	
	Cs	Ba	Cs	Ba
143	2.4×10^5	5.9×10^5	7.9×10^4	6.8×10^4
145	1.5×10^3	2.9×10^5	1.5×10^3	5.9×10^3

Ver.3のオンライン試験において、オフライン試験で観測された多価イオンの引き出しやEI modeによるイオン化効率の向上は観測されず、どちらかという一般的な表面電離イオン源より能力的に劣る結果しかえられていない。

オンライン試験時のイオン源構成はオフライン試験時から若干の変更があり、現在考慮している要素以外にオフライン試験でのイオン源性能に寄与しているものがある可能性もあるため、Ver.3の方向での開発は進めていく予定である。



今後の開発方向

- **ウラン標的表面電離型イオン源**

ヒートシールドの強化＋電子衝撃によるイオン化機構の付加
オフラインで多価イオンが出るなど面白い挙動を示したが、
オンラインでは表面電離型イオン源としてしか動作しなかった。
(H18/7/7,11 陽子ビーム加速開発でテスト)

→開発方向を検討中

収量確認中にA=136で～520keV単一 γ 線を観測

^{136m}Cs ($T_{1/2}=19\text{s}$)のIT($8^- \rightarrow 5^+$, E3)? 半減期以外の壊変データなし

- **ウラン標的FEBIADイオン源**

高温タイプFEBIADイオン源の製作開始

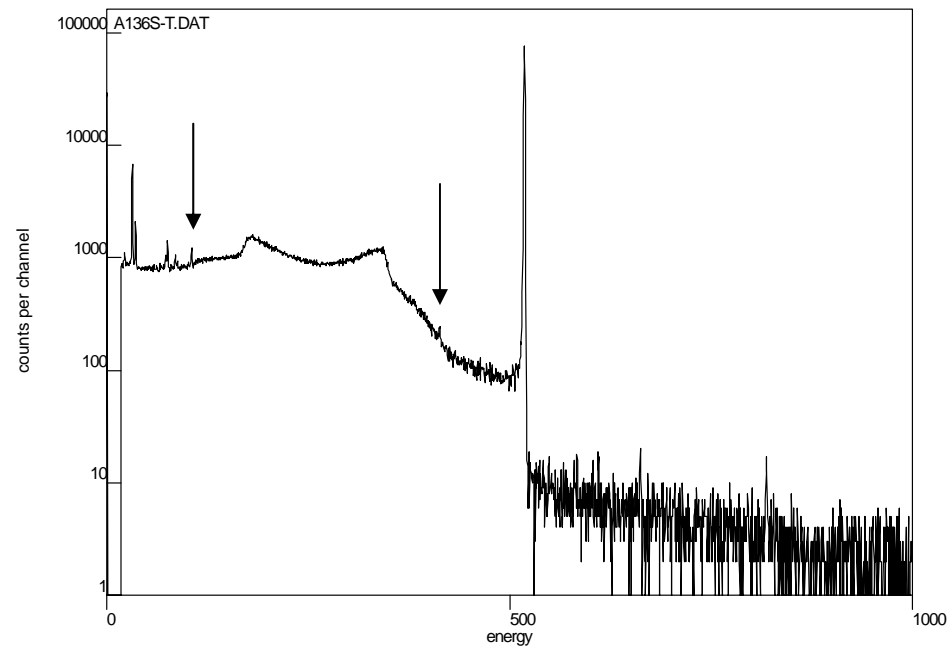
→ターゲットなどからの離脱時間の促進・短寿命核への適用拡大
標準ガス(Xe)のイオン化効率～20%(GSIなどの実績の約半分)

→運転環境(真空等)の見直しによる効率向上

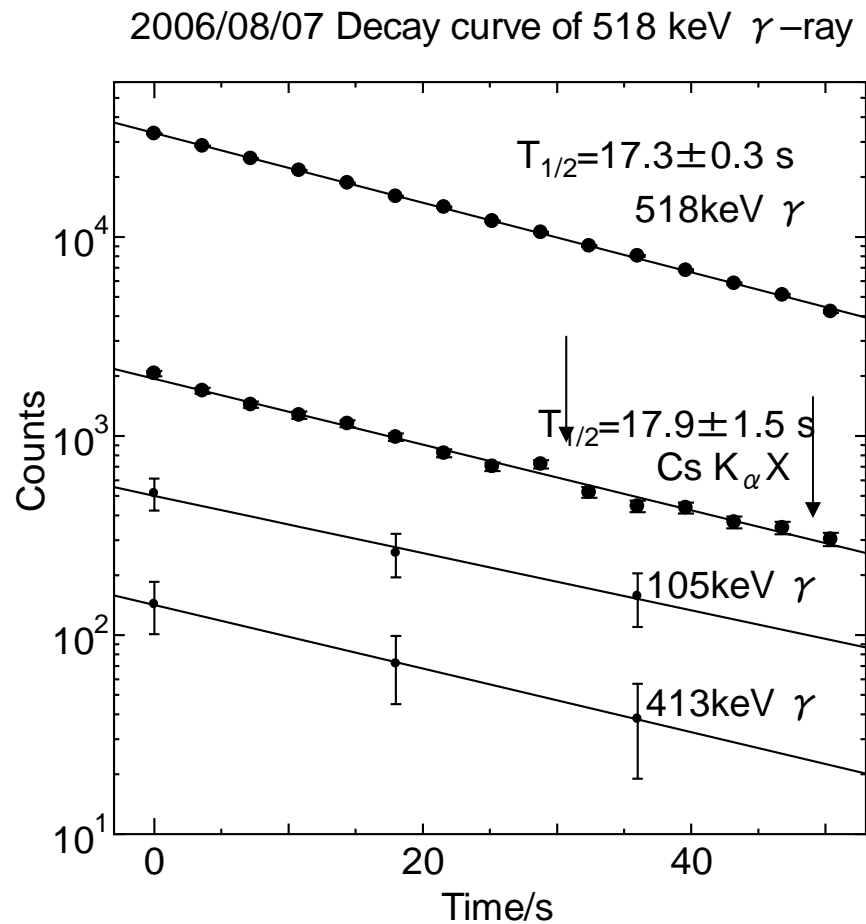


$^{136\text{m}}\text{Cs}$ の核異性体遷移の発見

A=136での γ 線スペクトル($^{136\text{m}}\text{Cs}$)
 $E_\gamma = 518.0 \pm 0.1 \text{ keV}$, 105 keV, 413 keV



観測された γ 線、KX線の壊変曲線



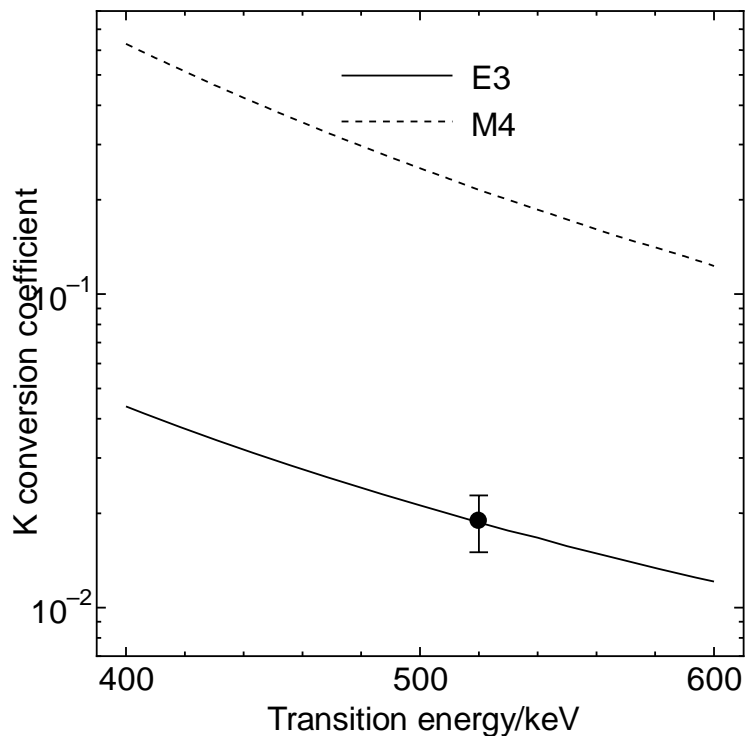
A=136で質量分離した後、測定した γ 線スペクトル中には、518keV γ 線と、Cs KX線が確認された。各々の壊変曲線を作成し半減期を求めた。518keV

$T_{1/2}=17.3(3)$ s、Cs K_{α} X $T_{1/2}=17.9(15)$ sとなった。 ^{136m}Cs の半減期の報告値は19(3)sであり、 ^{136}Cs 基底準位に β 壊変する核種はないことから、518keV γ 線は、 ^{136m}Cs の核異性体遷移に伴う γ 線であると判断される。

微弱な遷移である105keV, 413keVについても概ね20秒程度の半減期が確認できた。



内部転換係数の決定



Energy/keV	I_γ	M1	E3	M4
518	100		$\alpha(K)=1.89E-2$ $\alpha(T)=2.37E-2$	$\alpha(K)=2.19E-1$ $\alpha(T)=2.73E-1$
418	0.1	$\alpha(K)=1.68E-2$ $\alpha(T)=1.96E-2$	$\alpha(K)=3.94E-2$ $\alpha(T)=5.10E-2$	$\alpha(K)=5.50E-1$ $\alpha(T)=7.05E-1$
105	0.09	$\alpha(K)=6.72E-1$ $\alpha(T)=7.84E-1$	$\alpha(K)=5.35E+0$ $\alpha(T)=1.75E+1$	$\alpha(K)=2.66E+1$ $\alpha(T)=2.41E+2$
^{136}Ba				
164keV(E3)		$\alpha(K)[E3]=1.10E+0$ $\alpha(T)[E3]=2.23E+0$		

壊変図式

