

A06-312 相対論的エネルギー重イオン蓄積リングを用いたエキゾチック核の質量精密測定 理工学研究科 山口貴之

概要
 本研究は、ドイツ重イオン科学研究所(GSI)の加速器施設を利用して、エキゾチック核の質量を系統的に精密測定するものである。質量は原子核物理学にとって最も基礎的な量であるというだけでなく、超新星爆発でのr-processによる元素合成過程を理解する上で非常に重要な量であると認識されている。本研究ではまさにr-processに関与する中性子過剰なエキゾチック核の質量をターゲットとしている。この研究はGSIの将来施設であるFAIR(Facility for antiproton and ion research)の中の国際共同研究のひとつILIMA(Isomeric beams, Lifetimes and Masses collaboration)として位置づけられている。

実験は、2006年7月から8月まで予備実験も含めて2週間以上にわたって行った。核子当たり約400MeVに加速したウランビーム²³⁸Uをベリリウム標的板に照射し、スズ¹³⁵Snをはじめとする周辺の中性子過剰な不安定核を生成、蓄積リングに注入しその周回周期を精密測定した。この実験の我々の役割は、解析ソフトウェアの開発およびデータ解析である。蓄積リング内を周回するイオンの周期を精密測定するため、本実験では最新のデジタルオシロスコープ(サンプリングレート40GS/s、周波数帯域15GHz)を用いた。データはテラバイトにおよぶ膨大なものになるため、解析ソフトウェアの開発が非常に重要である。得られたデータは現在解析中であるが、これまで質量精度 10^{-6} 程度であったものを 10^{-8} までの向上が期待されている。

質量精密測定の目的

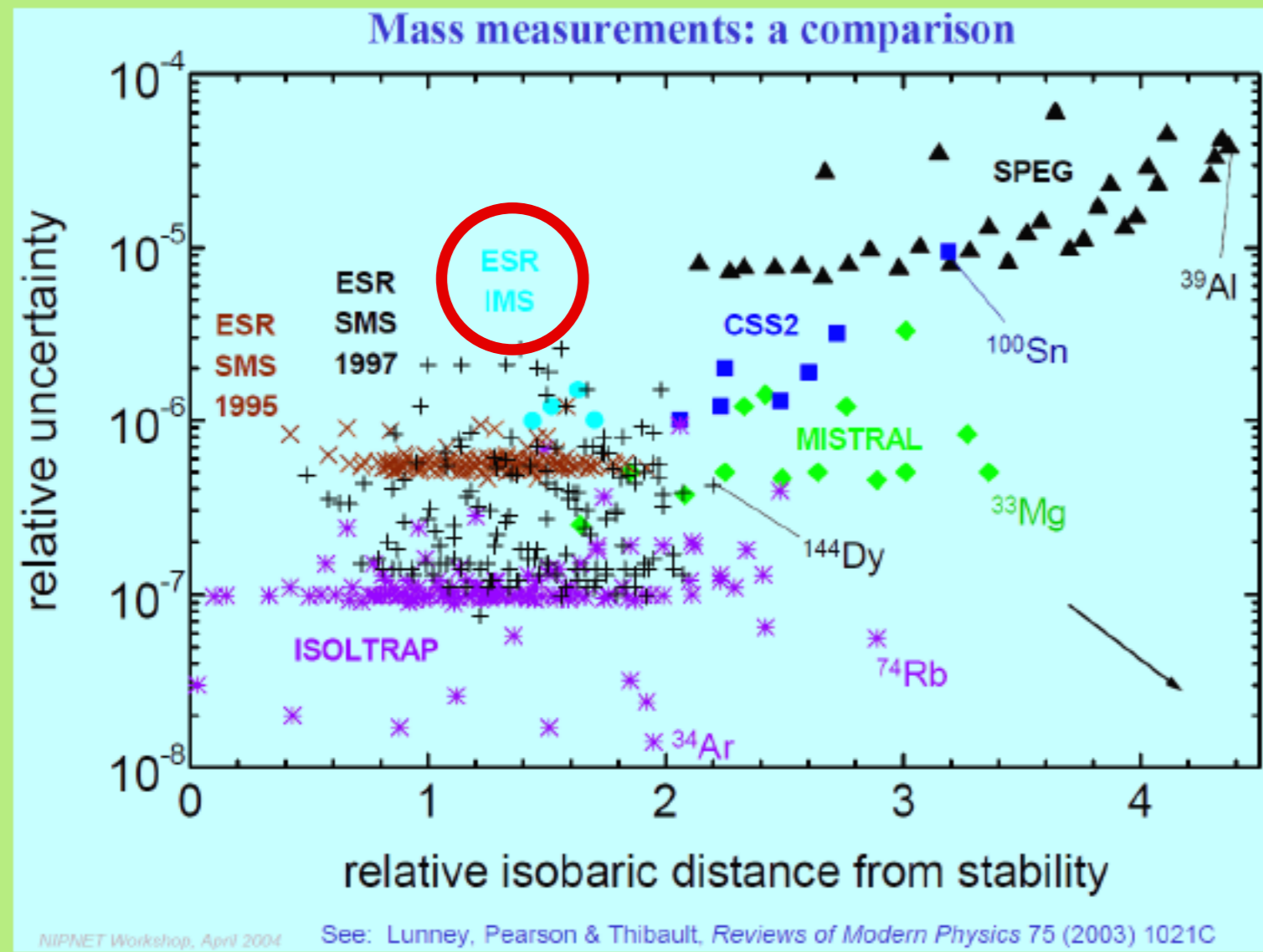
1. 原子核のもっとも基本的性質 → 系統的な精密測定が必要
2. 統一的な原子核構造モデルの構築
3. r-processの重要なパラメータ → 中性子過剰核の質量が必要
 元素合成の道筋を決める

本研究テーマ

- 測定する核種: ¹³³⁻¹³⁵Sn 領域
- 魔法数の領域 Z = 50 → 原子核構造として興味深い
 - r-processの道筋上に位置する
- これまでの測定より 精度をあげるための改良: Bp tagging 法
- $\Delta m/m = 10^{-6}$ (100 keV) まで期待される

研究の背景

不安定原子核に対する質量測定の精度比較

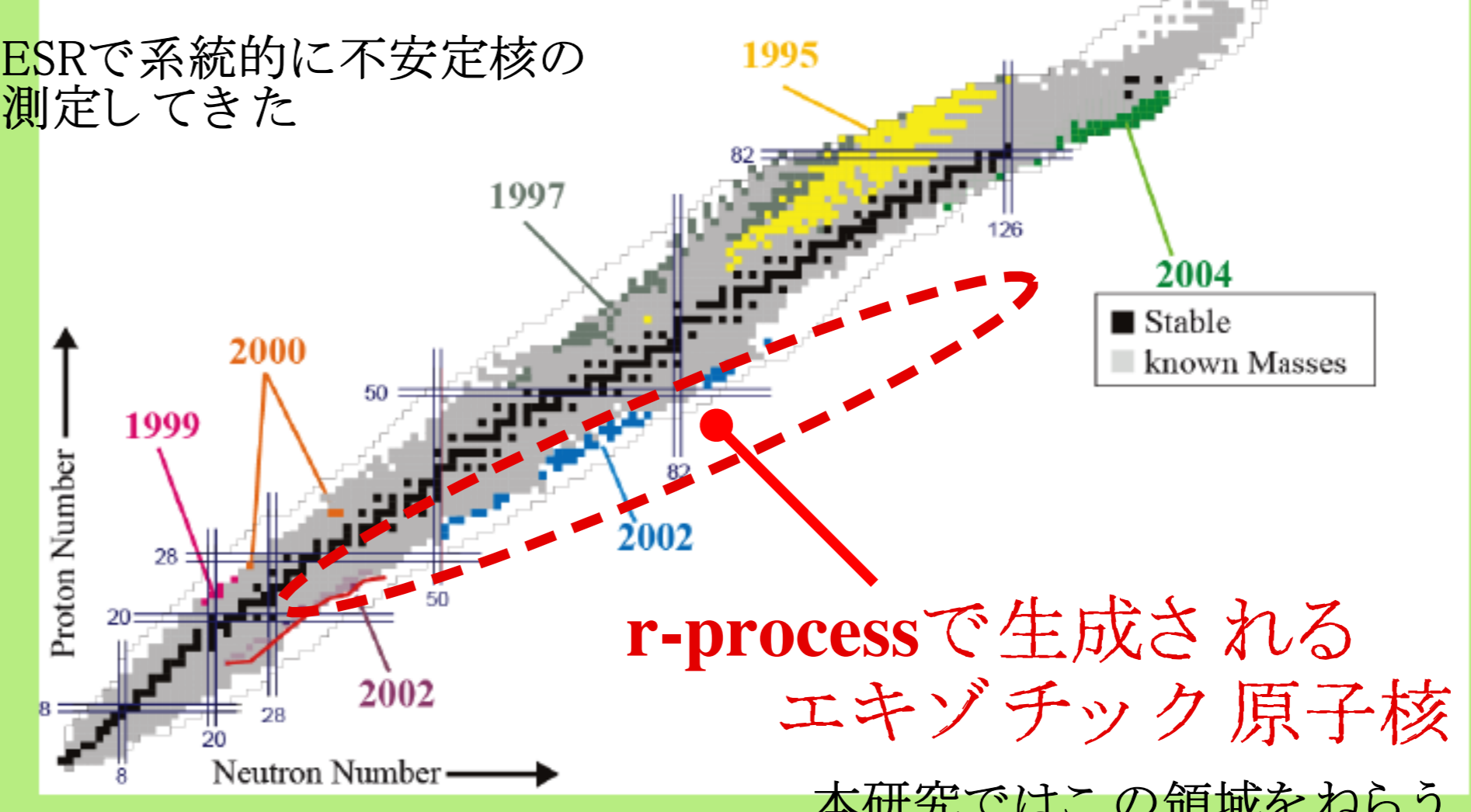


世界的にはトランプ法で 10^{-8} の精度が得られているが、短寿命核には適用できない。ESRにおけるIMS法が唯一、短寿命核の質量を精度よく決定することができる。

本実験におけるBp tagging法によって精度を10倍にすることができる

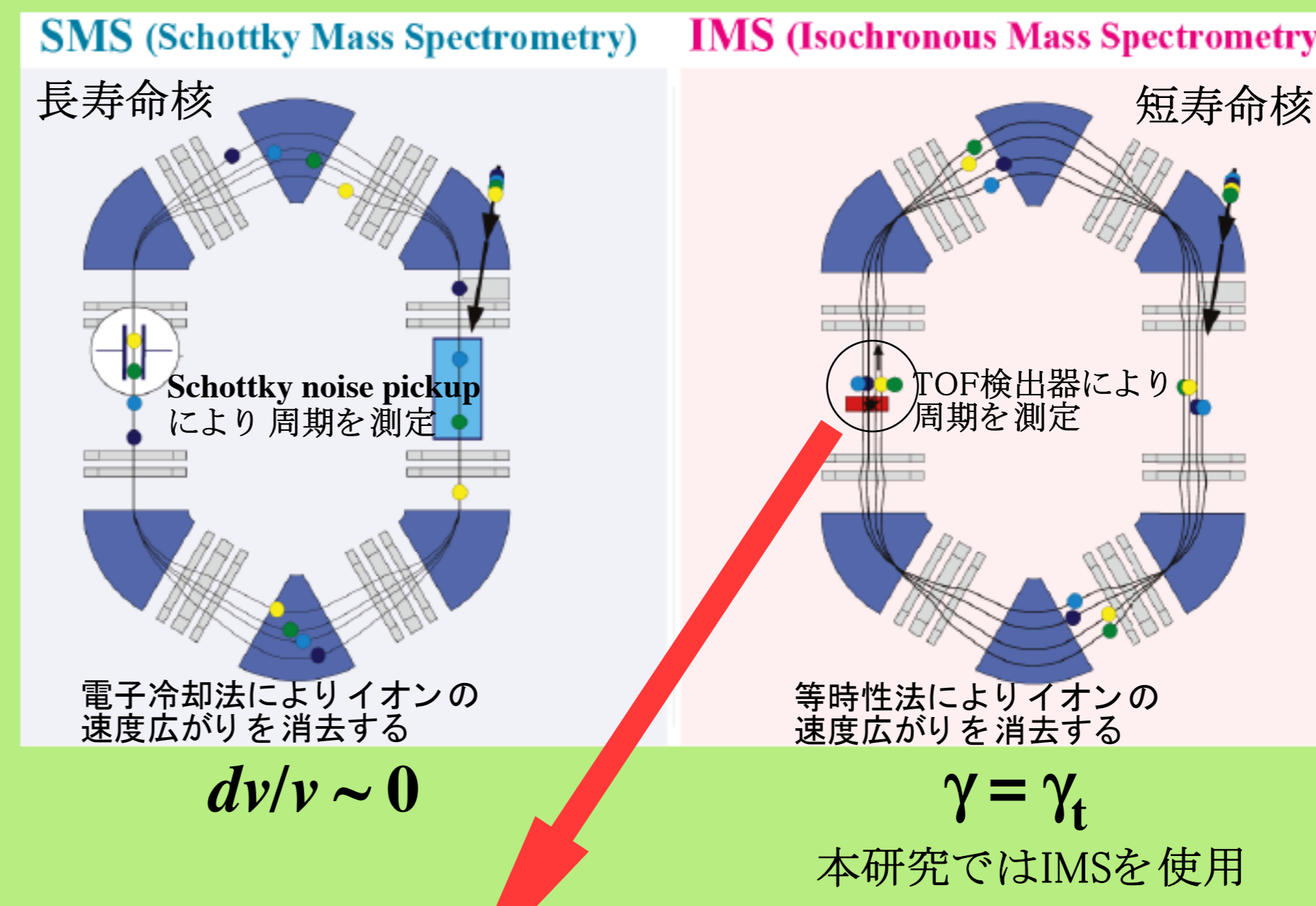
ESRで質量が測定された原子核

我々はESRで系統的に不安定核の質量を測定してきた



r-processで生成されるエキゾチック原子核
 本研究ではこの領域をのらう

ESRで行われてきた2種類の質量測定方法



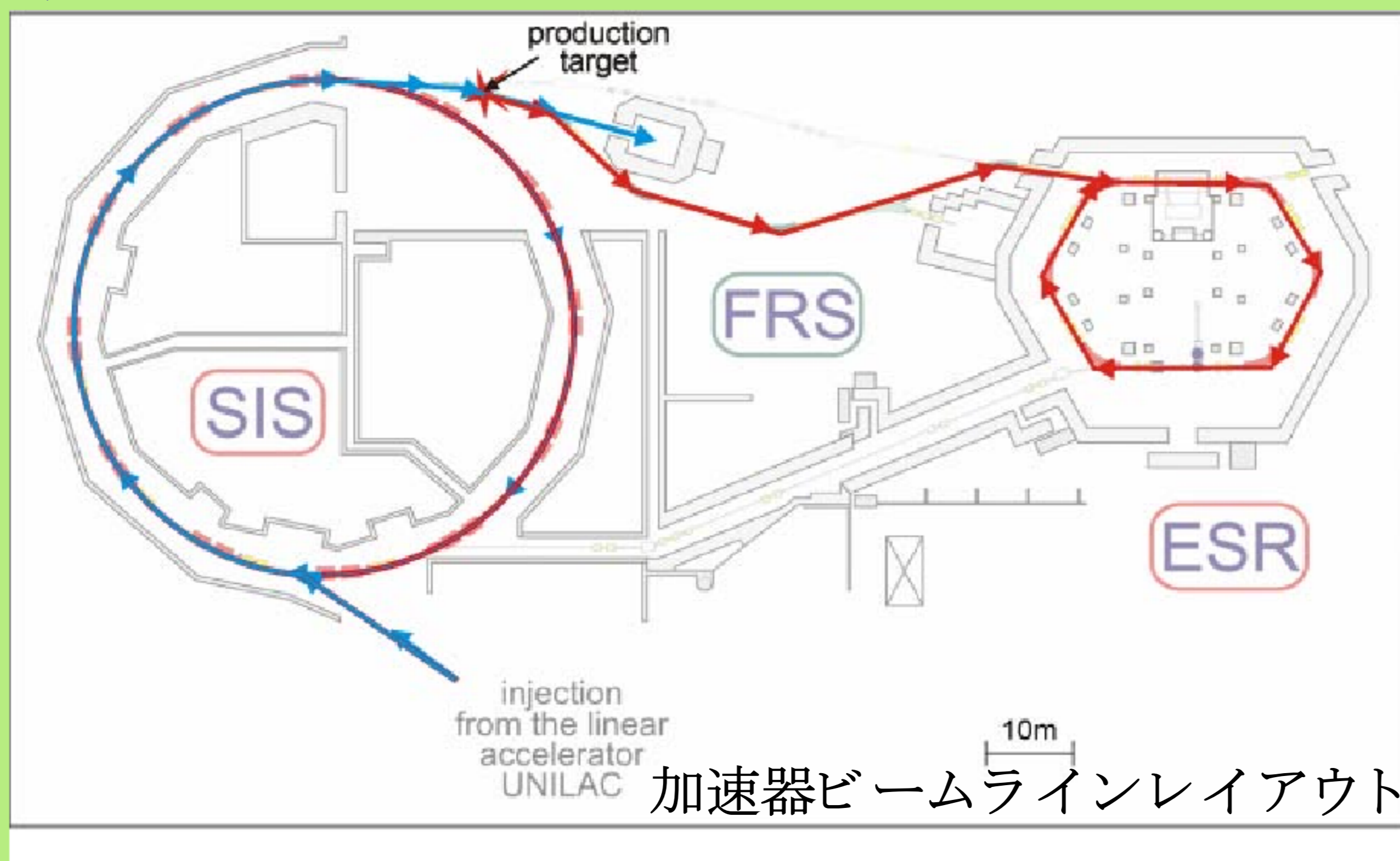
蓄積リングESRを用いた質量測定の原理: 周回周期から質量を求める

$$\frac{df}{f} = \alpha_p \frac{d(m/q)}{m/q} + \left(\frac{\gamma^2}{\gamma_t^2} - 1 \right) \frac{dv}{v}$$

f: 蓄積リング中のイオンの周波数
 m/q: 質量/電荷数
 α_p : momentum compaction factor
 γ : 相対論的エネルギー
 γ_t : transitionエネルギー
 v: 粒子の速度

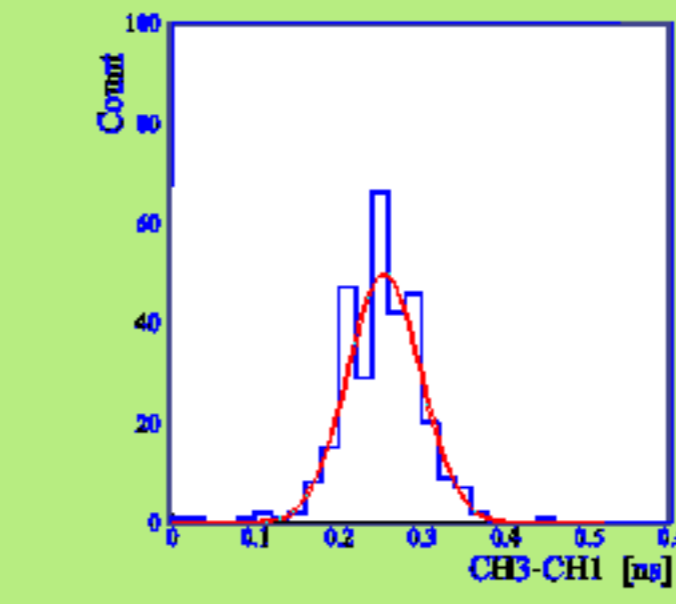
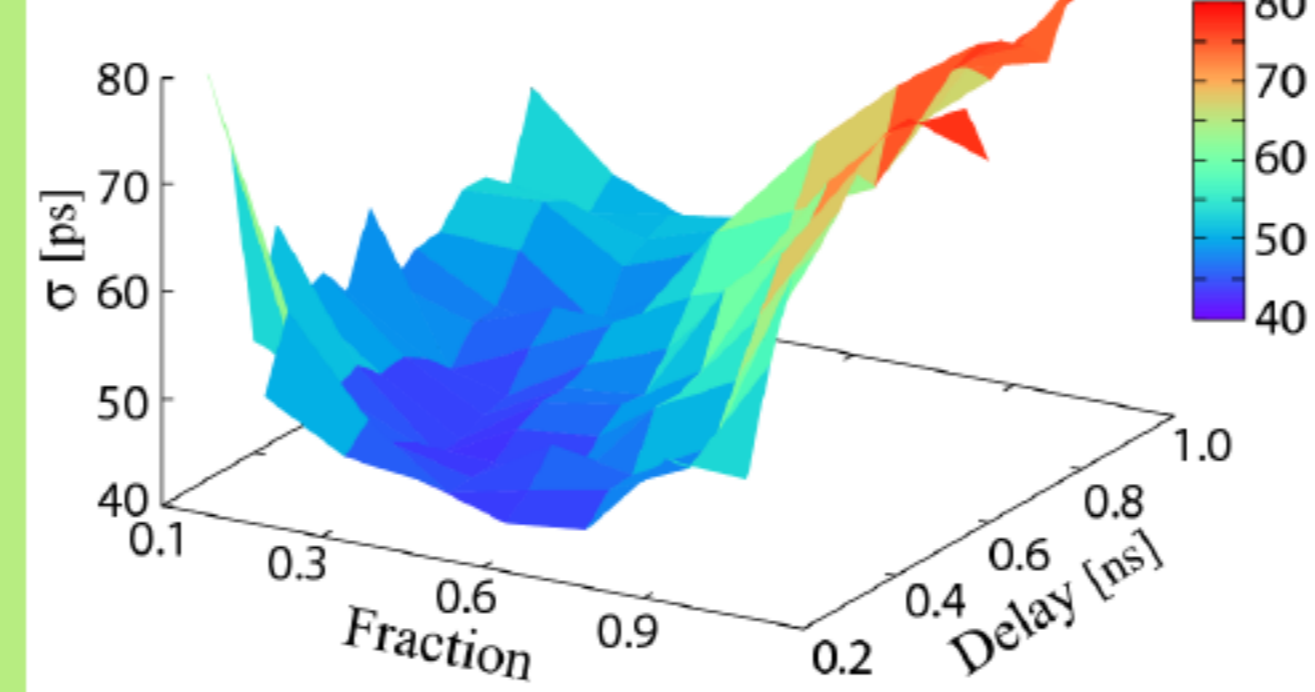
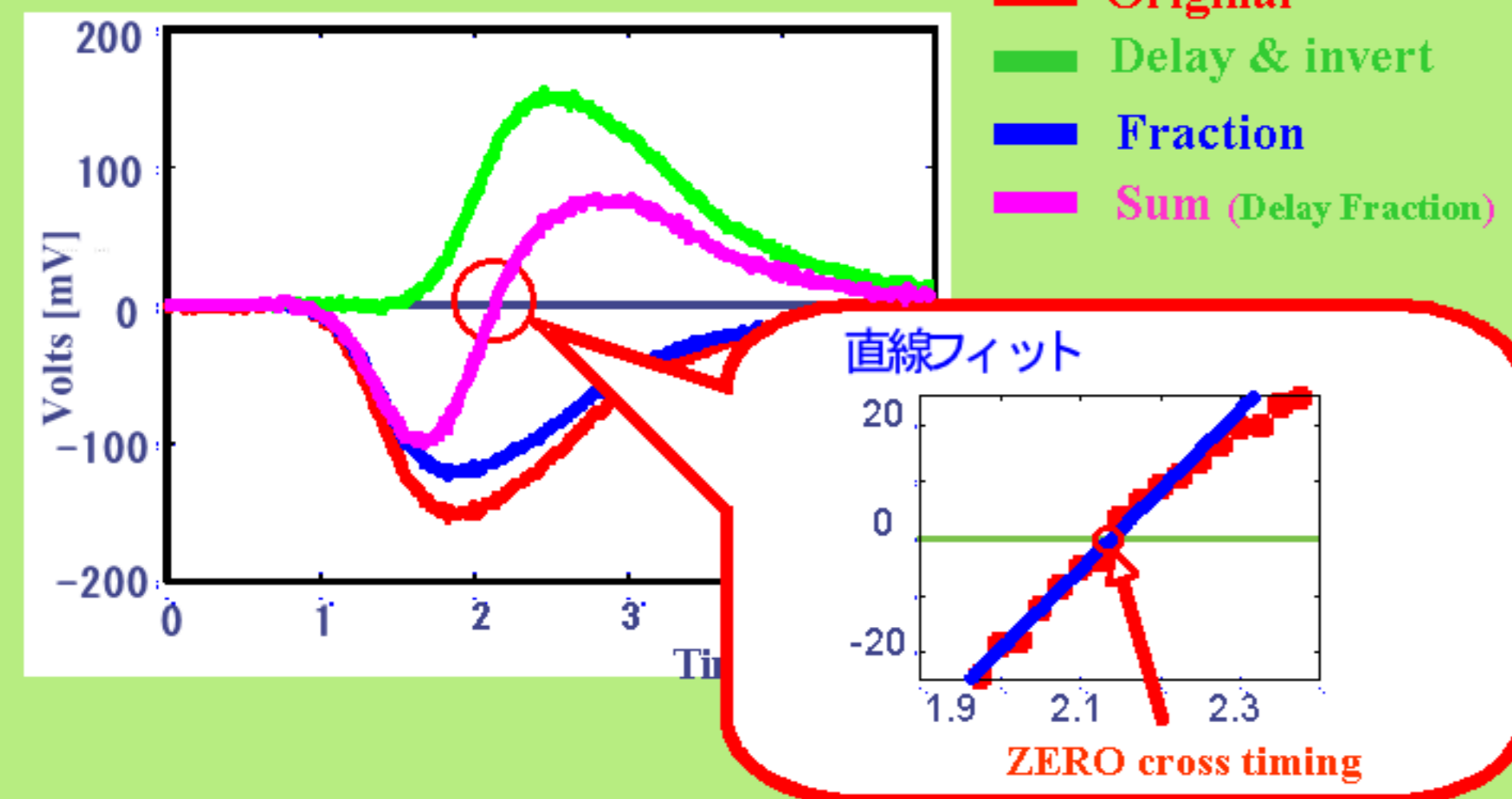
上式の第2項が存在すると、周波数と質量が比例しないため2種類の実験方法を用いている

実験



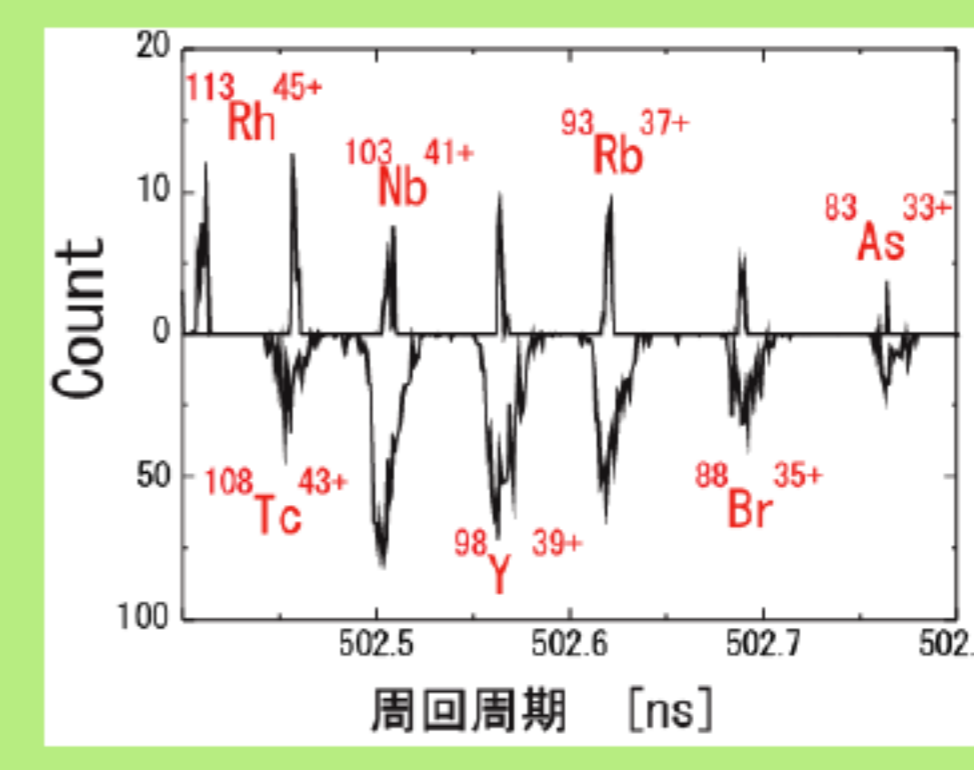
Facility : GSI
 Beam : ²³⁸U 411 MeV/u
 Production target : Be 1032 mg/cm²
 FRS Bp slit : 1mm ($\Delta p/p = 0.03\%$)
 Injection : ¹³³Sn/¹³⁵Sn 348 MeV/u

CFD法によるパルス解析



Optimized parameters:
 1) delay = 0.45 ns
 2) fraction = 0.3

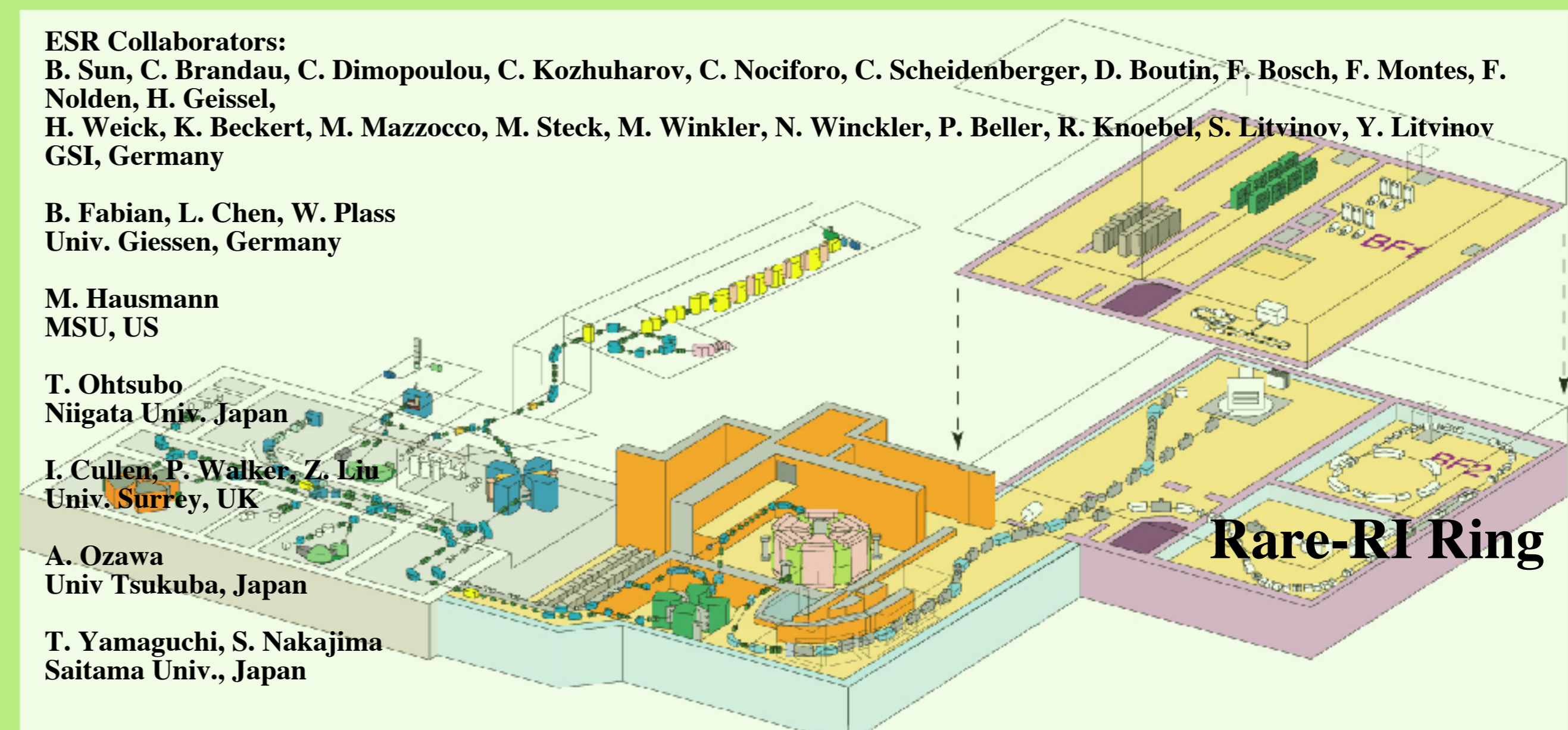
これまでの測定より時間分解能の精度をあげることに成功した



まとめ

- IMS法を改良し、¹³³⁻¹³⁵Sn領域の質量を測定した。
- Brho tagging法によるフラグメントの速度決定
- 高サンプリングレート デジタルオシロスコープの導入
- 現状
- CFD法によりタイムスタンプを決定した(パラメータ最適化)。
- 周回周期の決定
- 今後の予定
- 周期スペクトルのパターンマッチングによる粒子識別と質量の導出

Publications:
 Yu. A. Litvinov, H. Geissel, K. Beckert, P. Beller, F. Bosch, D. Boutin, C. Brandau, L. Chen, I. Cullen, C. Dimopoulou, B. Fabian, M. Hausmann, O. Klepper, R. Knoebel, C. Kozhuharov, J. Kurcewicz, S. A. Litvinov, Z. Liu, M. Mazzocco, F. Montes, G. Muenzenberg, A. Musumarra, S. Nakajima, C. Nociforo, F. Nolden, T. Ohtsubo, A. Ozawa, Z. Patyk, W. Plass, C. Scheidenberger, M. Steck, B. Sun, T. Suzuki, P. M. Walker, H. Weick, N. Winkler, M. Winkler, T. Yamaguchi, "Status of the Experimental Program on Mass Measurements of Stored Exotic Nuclei at the FRS-ESR Facility", Nucl. Phys. A 787 (2007) 315c-320c.
 R. Knoebel, S. A. Litvinov, B. Sun, K. Beckert, P. Beller, F. Bosch, D. Boutin, C. Brandau, L. Chen, I. Cullen, C. Dimopoulou, A. Dolinskii, B. Fabian, H. Geissel, M. Hausmann, O. Klepper, C. Kozhuharov, J. Kurcewicz, Yu. A. Litvinov, Z. Liu, M. Mazzocco, F. Montes, G. Muenzenberg, A. Musumarra, S. Nakajima, C. Nociforo, F. Nolden, T. Ohtsubo, A. Ozawa, Z. Patyk, W. Plass, C. Scheidenberger, M. Shindo, M. Steck, T. Suzuki, P. M. Walker, H. Weick, N. Winkler, M. Winkler and T. Yamaguchi, "New developments for isochronous mass measurements of short-lived nuclei", AIP Conference Proceedings, Vol. 891 (2007) 199-204.



将来計画:
 理研RI Beam Factoryに蓄積リングRare-RI Ringを建設しエキゾチック核の質量精密測定を行う