

ゼーマン効果を用いた ポジトロニウム 超微細構造の精密測定

東大理, 東大素セ^A, 東大院総合文化^B, KEK^C

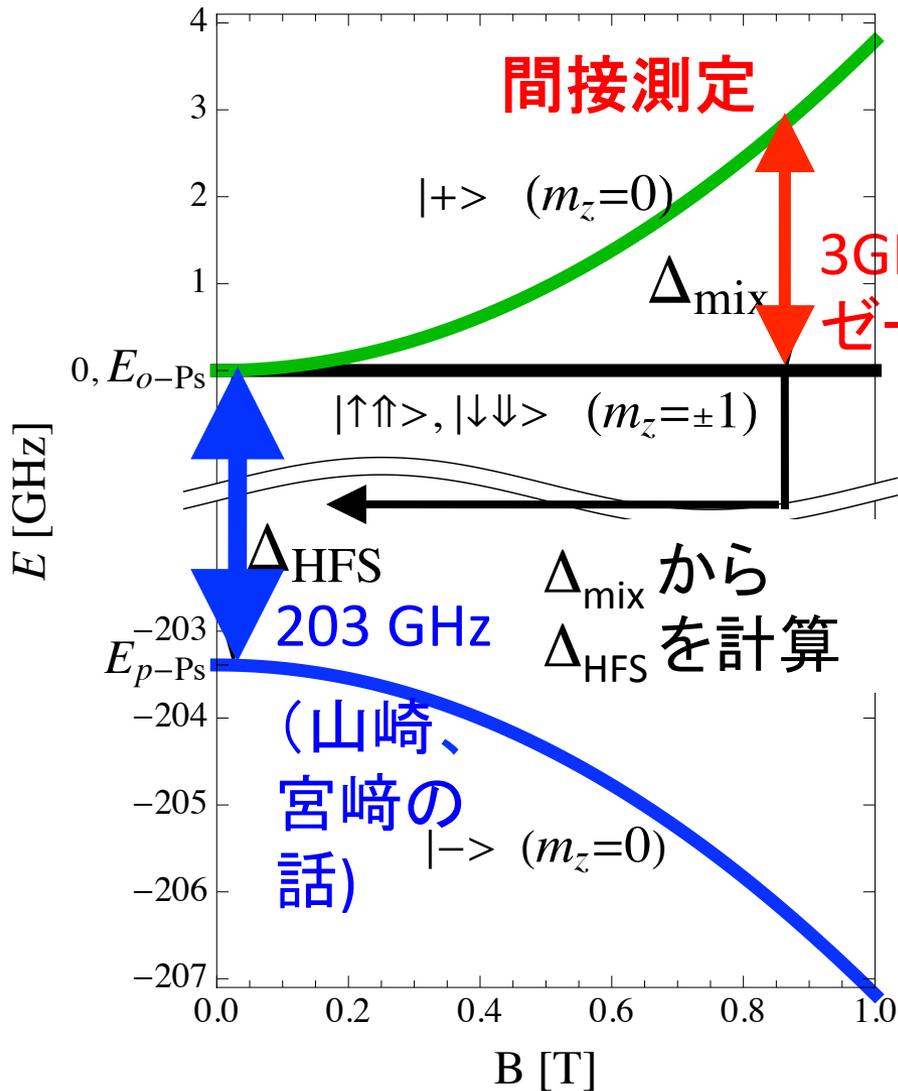
石田明, 秋元銀河, 佐々木雄一,
末原大幹^A, 難波俊雄^A, 浅井祥仁, 小林富雄^A,
斎藤晴雄^B, 吉田光宏^C, 田中賢一^C, 山本明^C

平成23年3月27日
日本物理学会 第66回年次大会
於新潟大学五十嵐キャンパス

目次

- インTRODクシヨN
- 我々の新しい実験セツトアツプ
- 測定の途中結果
- 今後の展望

ゼーマン効果を用いた間接測定の方法



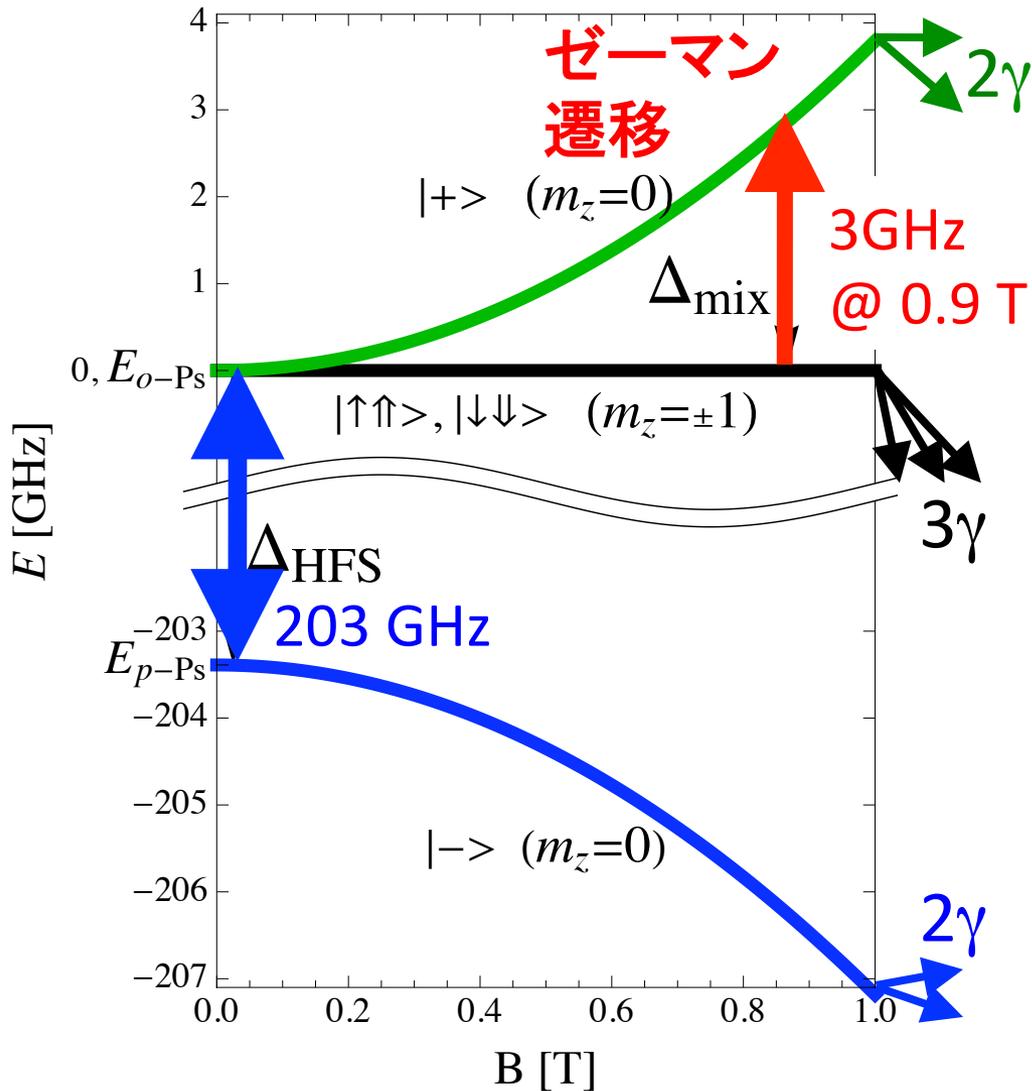
静磁場中では、**p-Ps** は
o-Ps の $m_z=0$ 成分と
 混合する。(2 γ 崩壊).

Δ_{mix} を精密に測定し、
 Δ_{HFS} を以下の式で求める。

$$\Delta_{mix} = \frac{1}{2} \Delta_{HFS} \left(\sqrt{1 + 4x^2} - 1 \right),$$

$$x = \frac{g' \mu_B B}{\Delta_{HFS}}.$$

ゼーマン効果を用いた間接測定の方法



周波数が Δ_{mix} のマイクロ波を供給すると、o-Ps の $m_z=0$ と $m_z=\pm 1$ 成分の間で遷移が起こる。

→ 2γ 崩壊(511 keV 単色) 率が大きくなる。
この崩壊率の変化が、実験のシグナルになる。

→ 過去の全ての実験と同じ方法

我々の新しい実験セットアップ

測定の原理は過去と同じ (Zeeman効果を使った間接測定) だが、過去の問題点(磁場の非一様性、物質の効果)を解決するため新しい方法を用いる。

3つの新しいアイデアと技術を導入 1. 磁石 2. 時間 3. ガンマ線

RF発振器 + GaN アンプ

ハイパワー RF (500W)

導波管

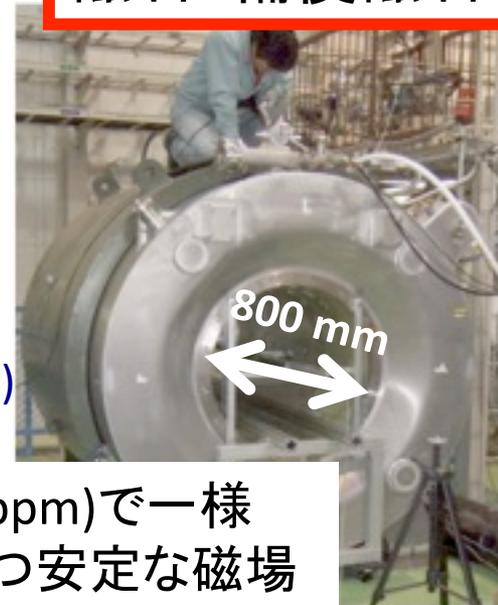
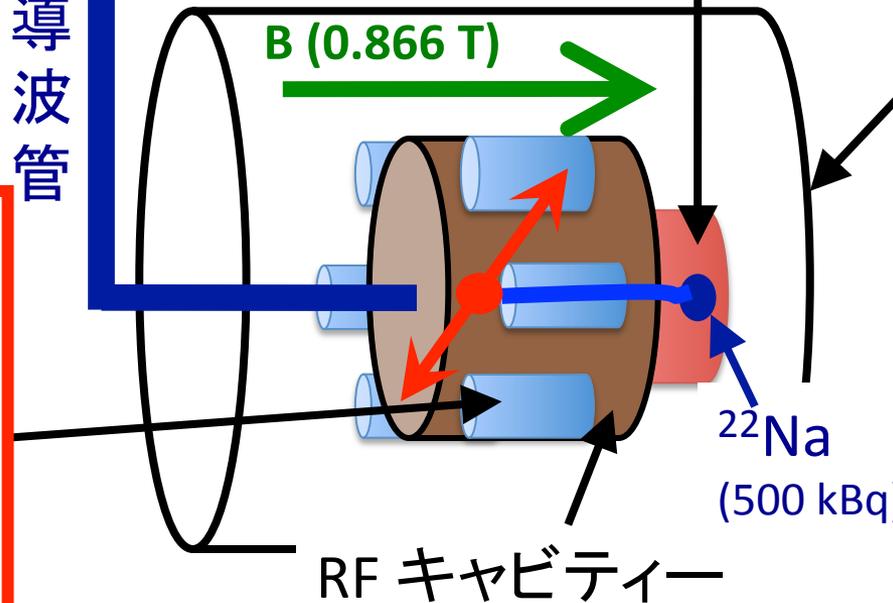
② β タグ系と時間情報の取得

1. 物質の効果 (Psの熱化)を正しく測定
2. S/Nを約20倍向上

① 大型超伝導磁石+補償磁石

③ 高性能 (速い時定数16ns, 高いエネルギー分解能) γ 線検出器

LaBr₃(Ce) シンチレータ



本測定 @ KEK低温棟 平成22年7月～ (平成23年3月11日14:46より停止中)

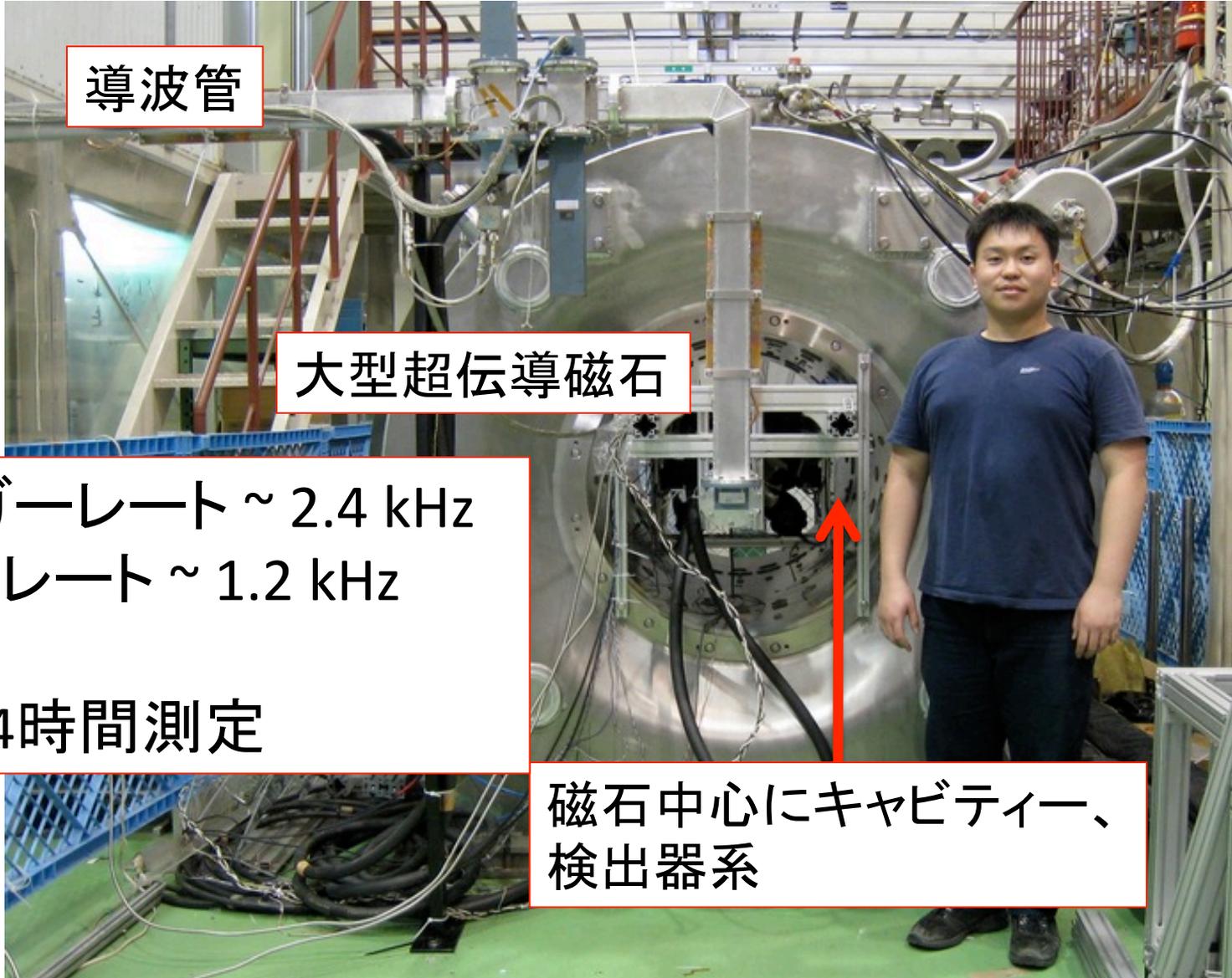
導波管

大型超伝導磁石

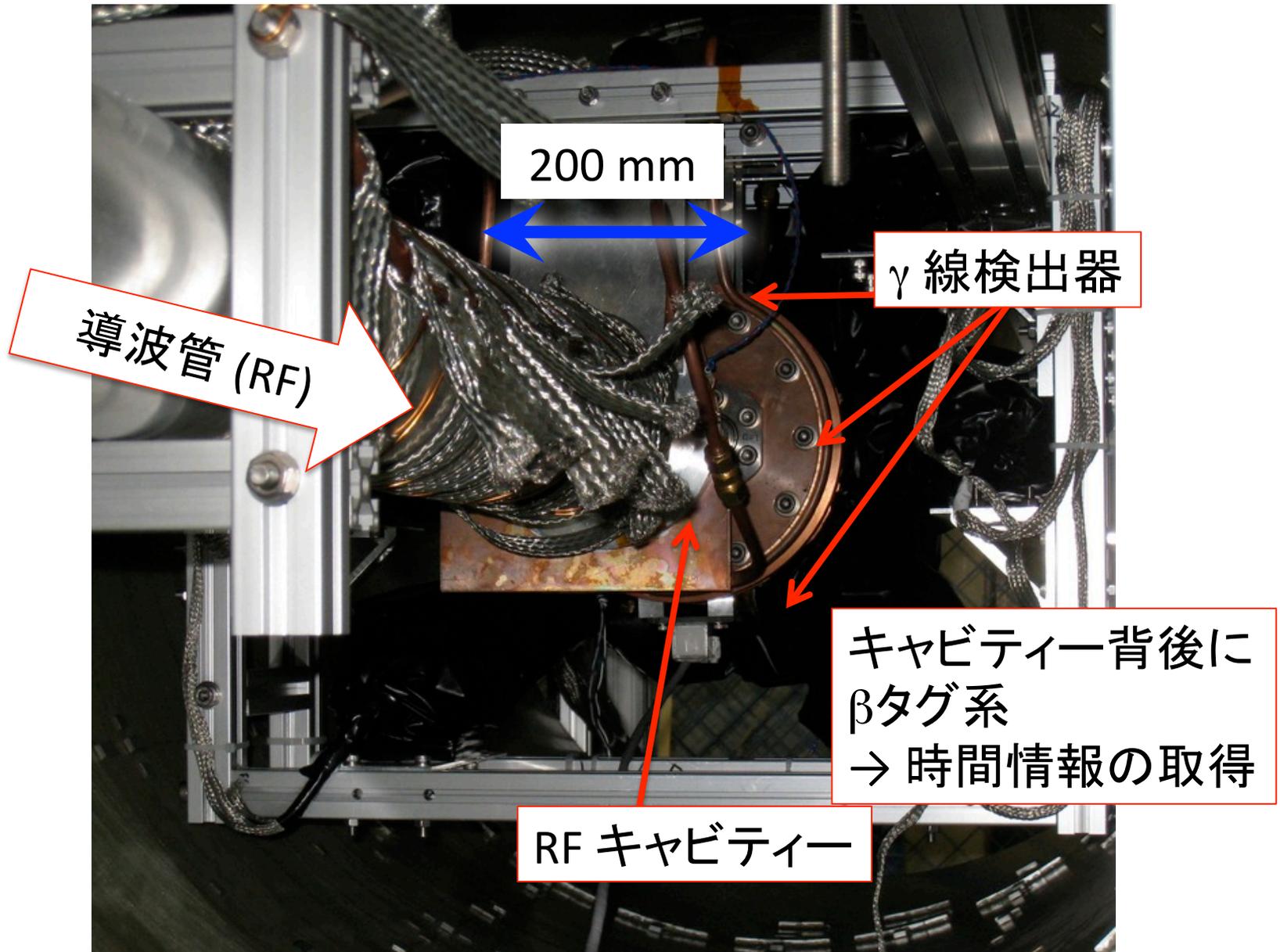
トリガーレート ~ 2.4 kHz
DAQ レート ~ 1.2 kHz

24時間測定

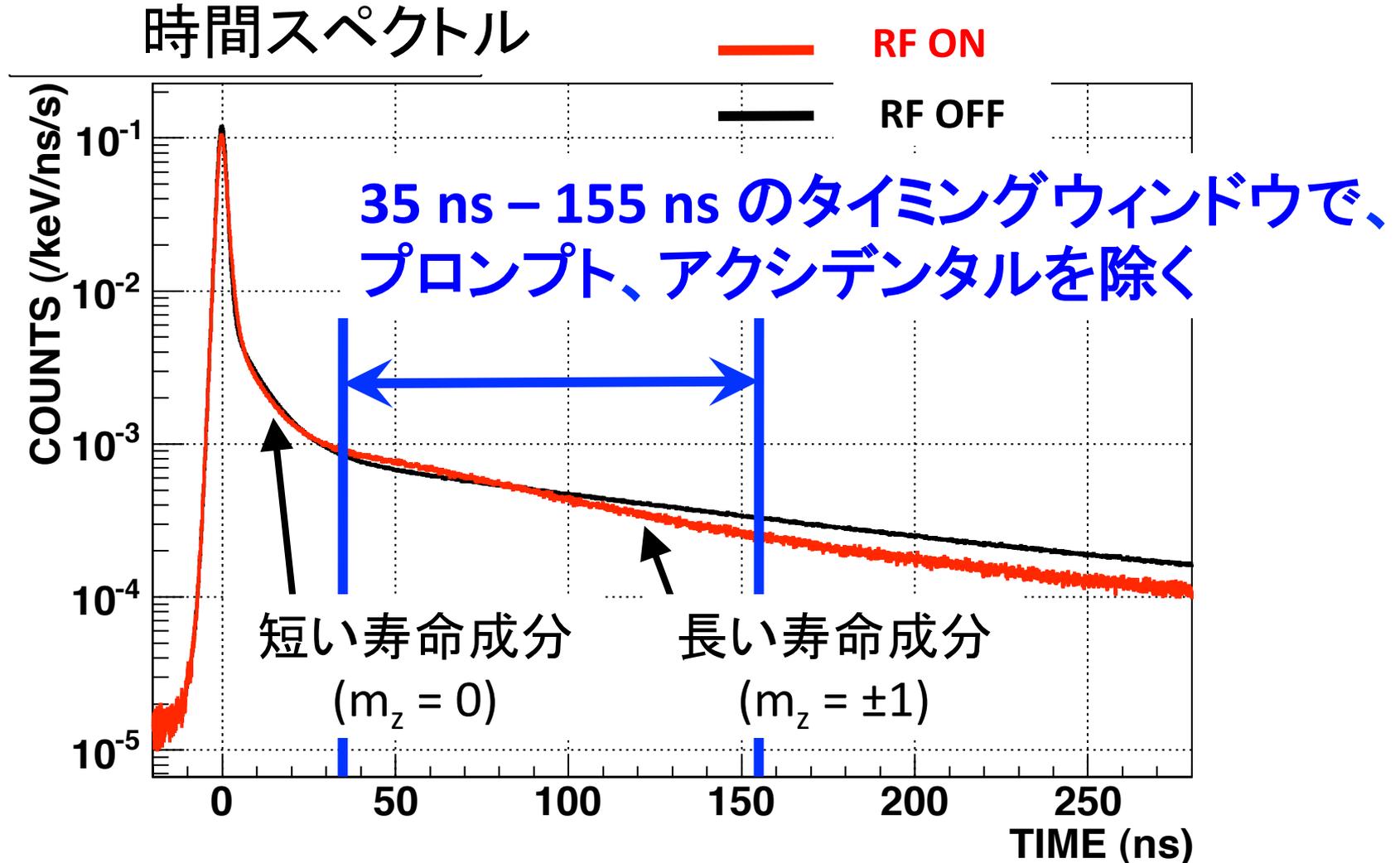
磁石中心にキャビティー、
検出器系



磁石中心部



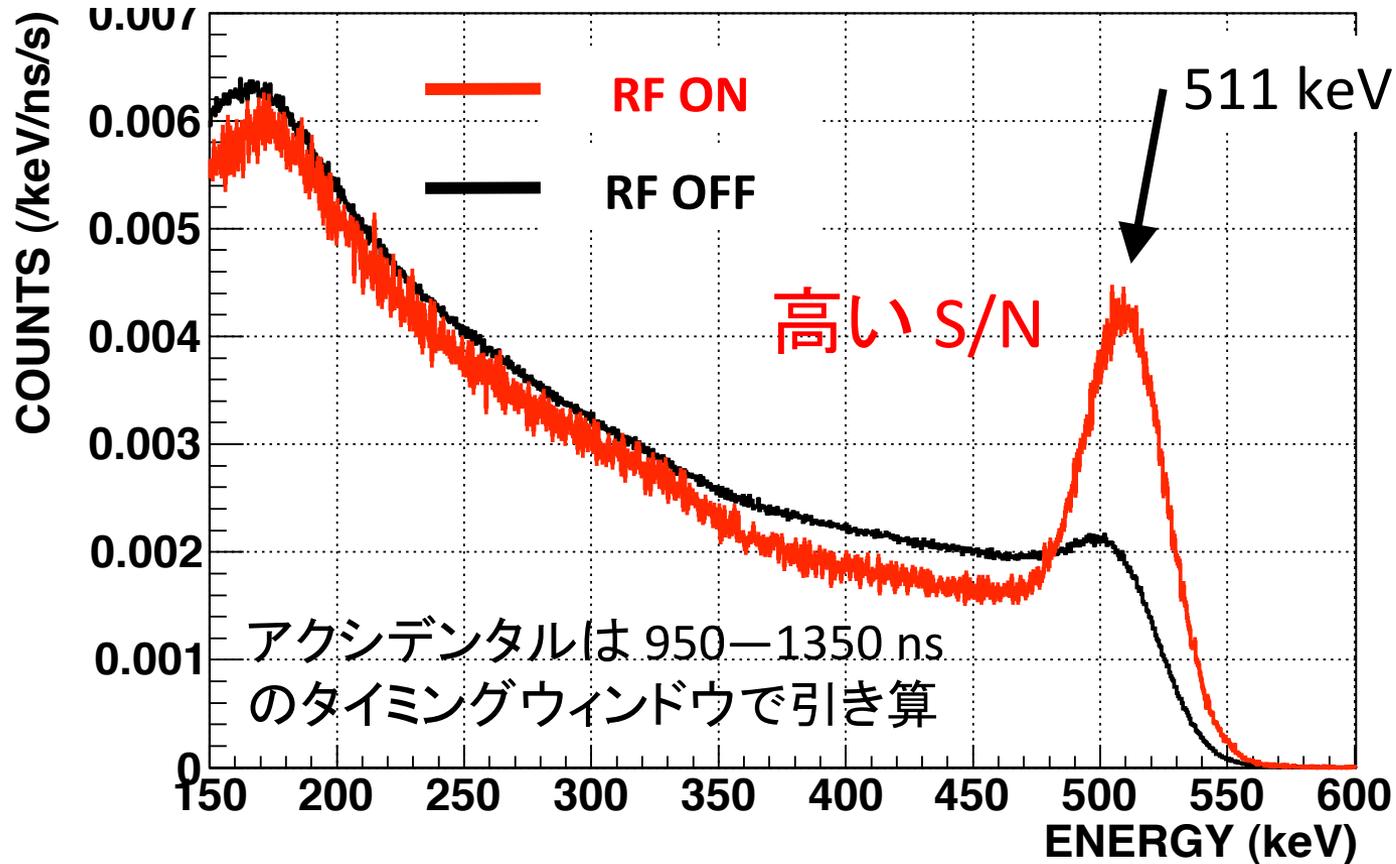
解析 (時間スペクトル)



ゼーマン遷移によって、Ps崩壊確率が大きくなった。

解析 (エネルギースペクトル)

エネルギースペクトル

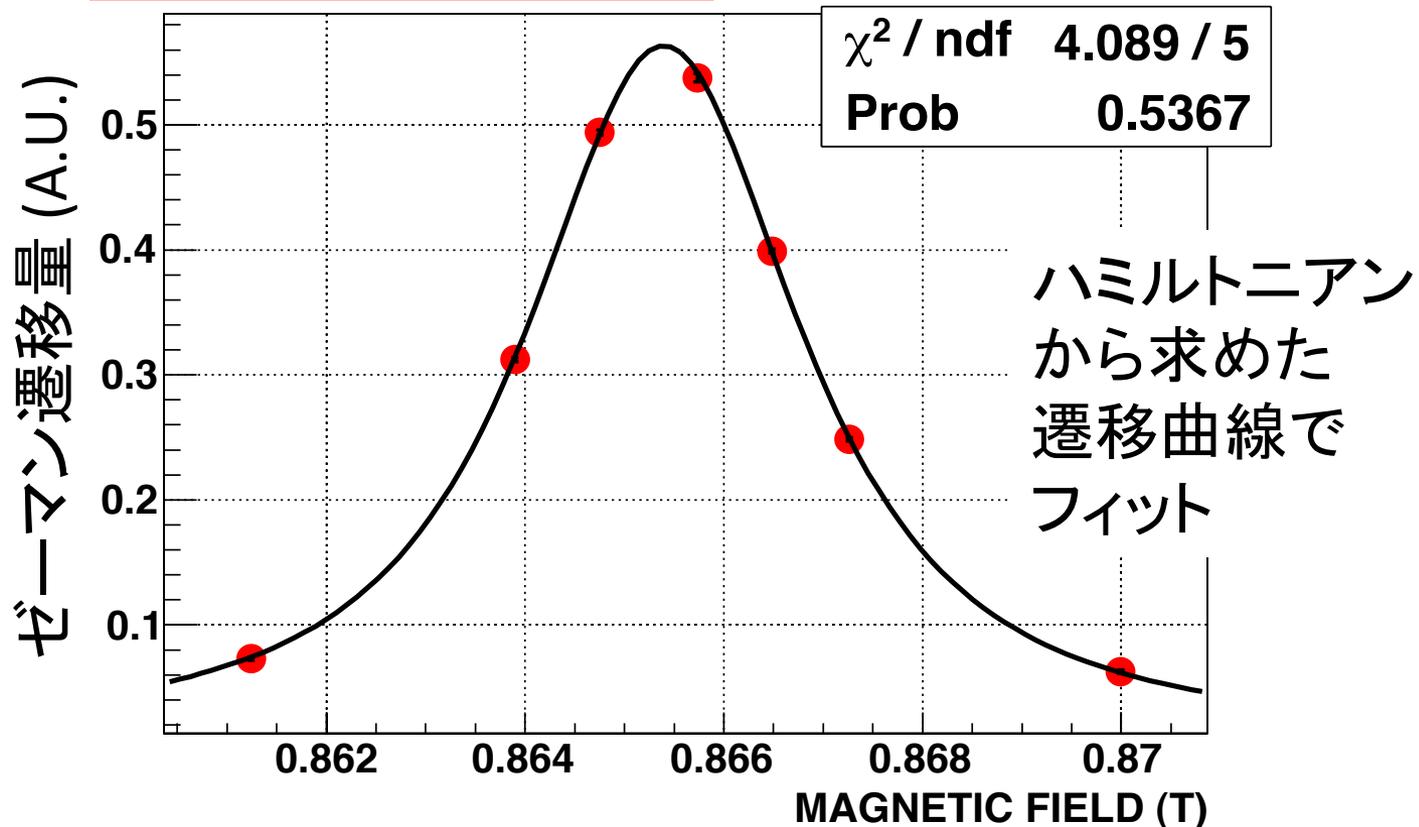


ゼーマン遷移によって、 2γ 崩壊確率が大きくなった。
遷移確率を求めるには、検出効率が必要。その見積りは暫定的に、
MCシミュレーションでエネルギースペクトルをフィットして行う。

共鳴曲線 (0.895 amagat)

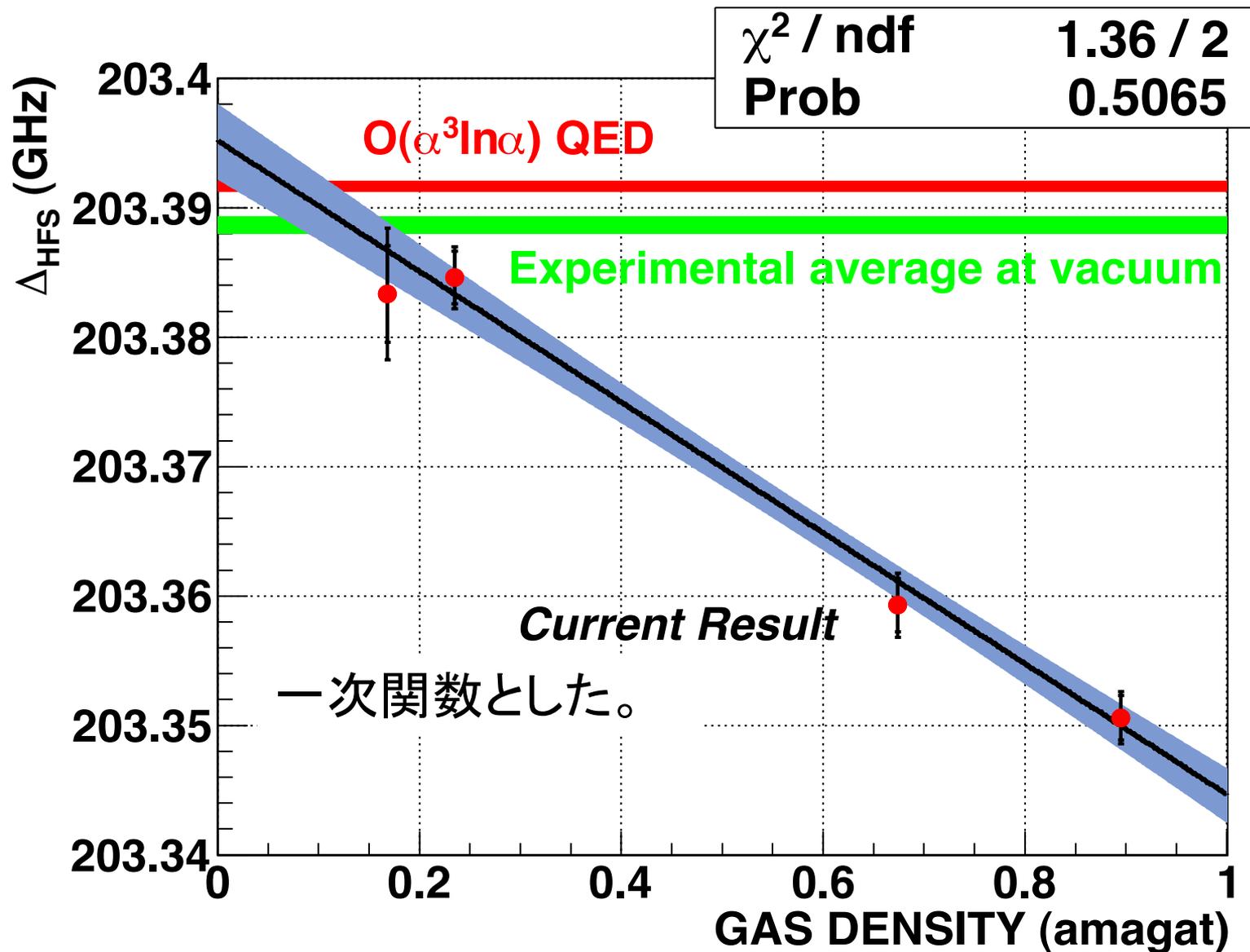
RFを固定して、**磁場でスキャン**。

0.895 amagat での共鳴曲線

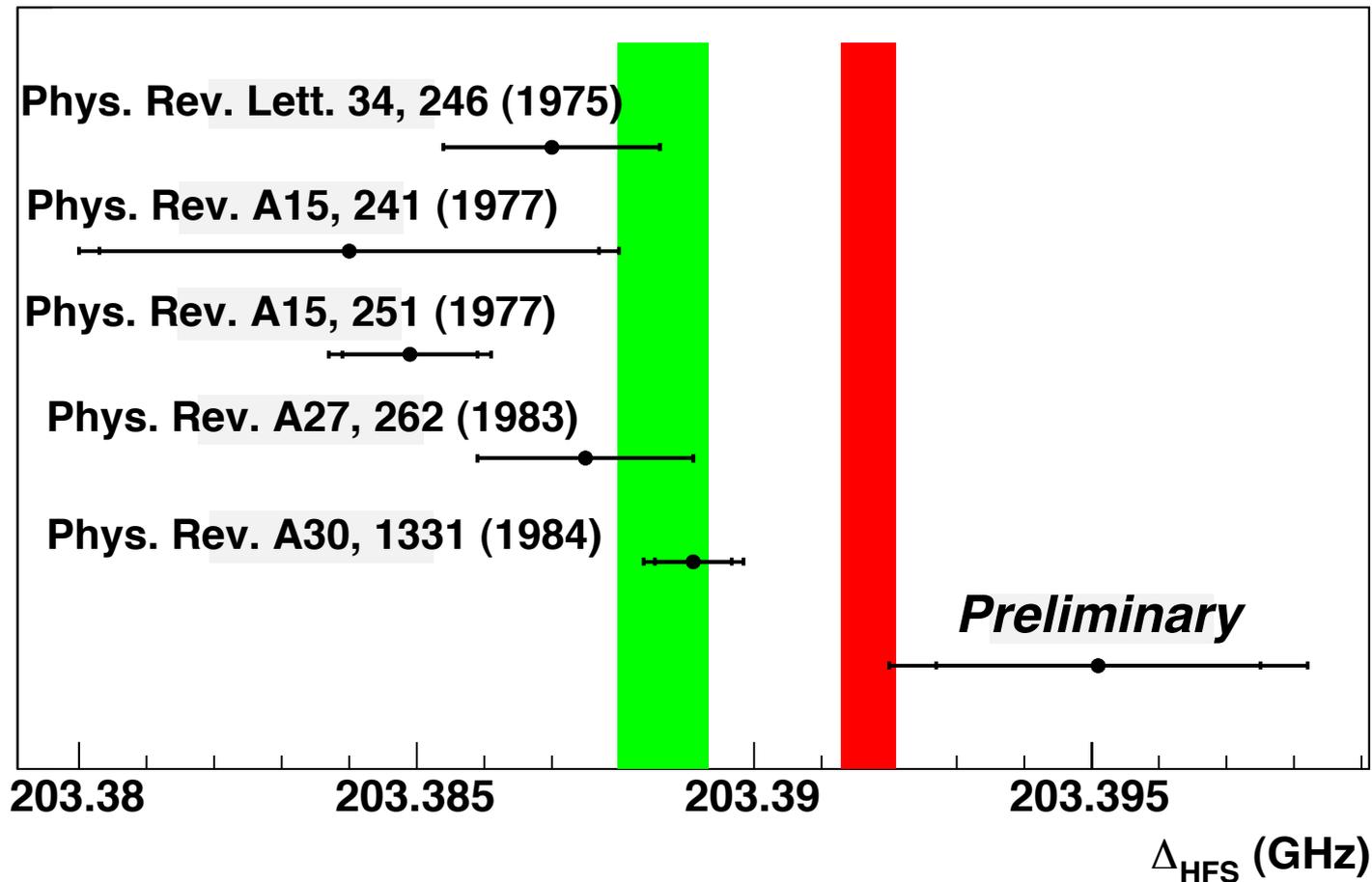


$\Delta_{\text{HFS}} = 203.3506(20) \text{ GHz (9.8 ppm)}$ (MC統計,P,Qのエラー含む)
→ 密度依存性の補正をして、真空での値を求める。

圧力 (密度) 依存性



本測定の暫定結果



本測定で得られた、超微細構造の暫定値

$$\Delta_{\text{HFS}} = 203.3951 \pm 0.0024 \text{ (stat., 12ppm)} \\ \pm 0.0019 \text{ (sys., 9.5 ppm) GHz}$$

系統誤差 (暫定)

系統誤差の要因		大きさ (ppm)
磁場	非一様性	1.8
	補正	1
	NMR測定値	1
検出効率	MCを用いた評価	7
物質の効果	ポジトロニウムの熱化	3
RF	RF パワー	2.9
	RF キャビティのQ値	4.3
	RF周波数	1
Quadrature sum		9.5

今後の展望

- **磁場** : 0.9 ppm (RMS) の一様性でOK
- **物質の効果** : 様々なガス密度でHFSを測定
 - シュタルク効果の見積もり
 - ポジトロニウムの熱化関数を精密に測定
 - ガスの理解 → ガスとRFに関する理解 (分解、放電など)
- **RF** : 温度管理して0(ppm)を達成。
- **統計誤差** : 今のところ 12 ppm
 - 1~2年程度で 0(ppm) まで向上できる。
- **検出効率** : 実データを基にして評価する。
 - ポジトロニウム生成位置の分布など (これから)

まとめ

- 重要な物理量である、ポジトロニウム超微細構造が、実験と理論で 一様に 3.9σ ずれている。
- 時間情報を取得する、新しい精密測定を行う。
- 我々の新しい精密測定は、過去の実験で考えられる共通の系統誤差 (磁場の非一様性、 P_s の熱化) を小さくする。
- 昨年7月より、本測定を開始。
- 本測定の暫定結果として、15 ppmの値が得られた。
- ガスに関する不定性など、いくつか残る系統誤差を抑え、1~2年程度で、物質の効果を入れて $O(\text{ppm})$ の精度を達成し、ずれの検証を行う。