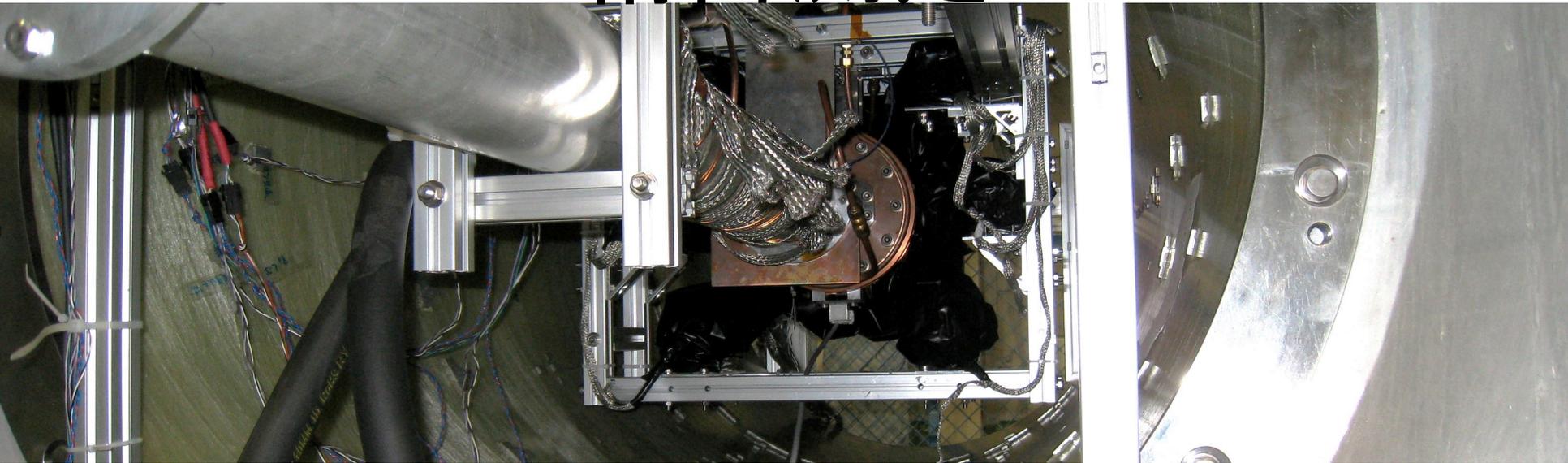


ゼーマン効果を用いた ポジトロニウム超微細構造の 精密測定



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

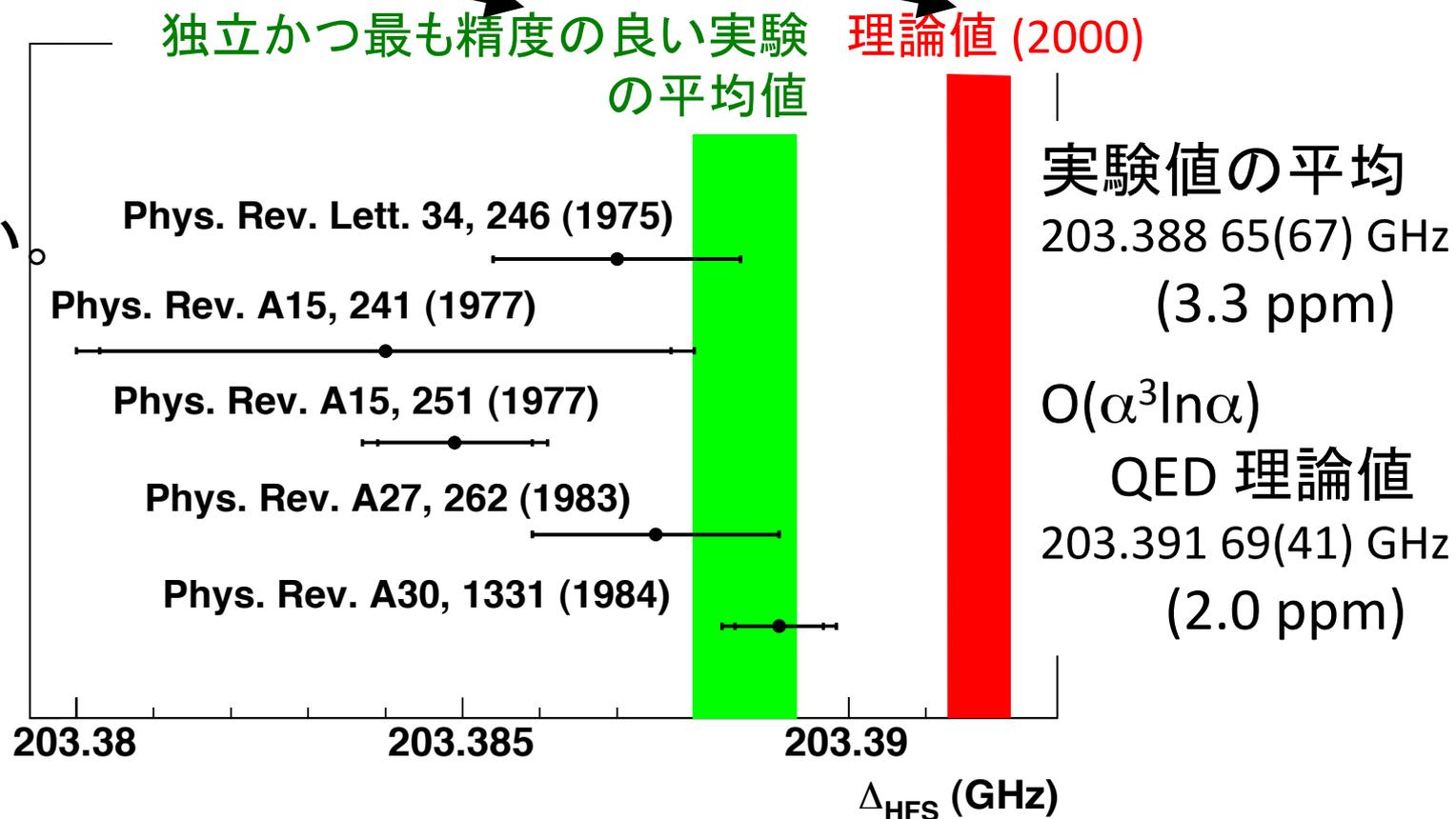
平成23年9月18日 日本物理学会 2011年秋季大会 於弘前大学文京町キャンパス

目次

- インTRODクシヨN
(磁場を用いた O(ppm) の精密測定)
- 我々の新しい実験セツアツプ
- 本測定の途中結果
- 今後の展望と現状

ポジトロニウム超微細構造は、 実験と、理論でずれている

実験結果は
一様に理論
値より小さい。



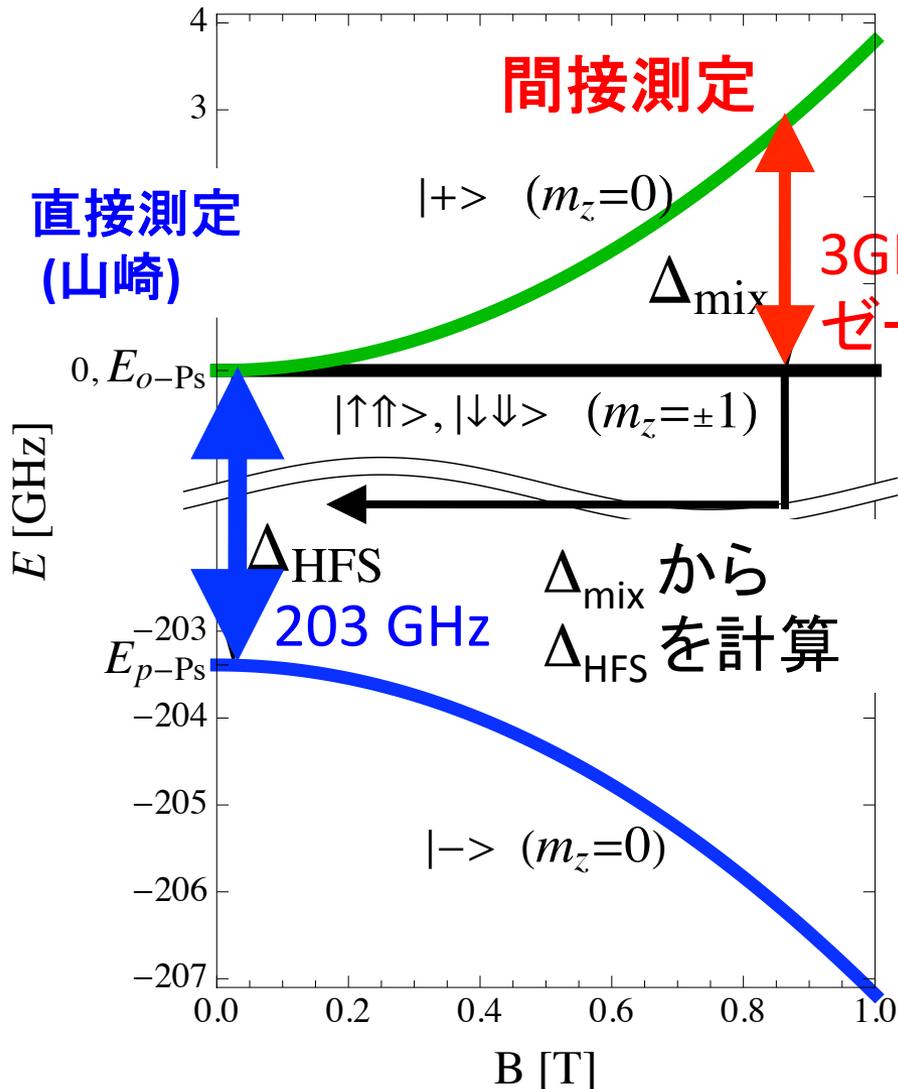
15 ppm (3.9 σ) の有意なずれ

考えられるずれの原因

- **過去の実験に共通した系統誤差**
 - 物質の効果の過小評価。熱化していない o- Ps は、特に低物質密度で大きな影響を及ぼす。 *cf.* オルソポジトロニウムの寿命問題 (1990年代)
 - 磁場の非一様性。大きな Ps 生成領域内で、ppmレベルの一樣磁場を供給するのは極めて困難。
- **束縛系QEDの計算に新しい発展が必要**
- **素粒子標準模型を超えた新しい物理が存在**

我々は、上記の系統誤差を抑えた、新しい方法による精密測定を行い、ずれを検証する。

ゼーマン効果を用いた間接測定の方法



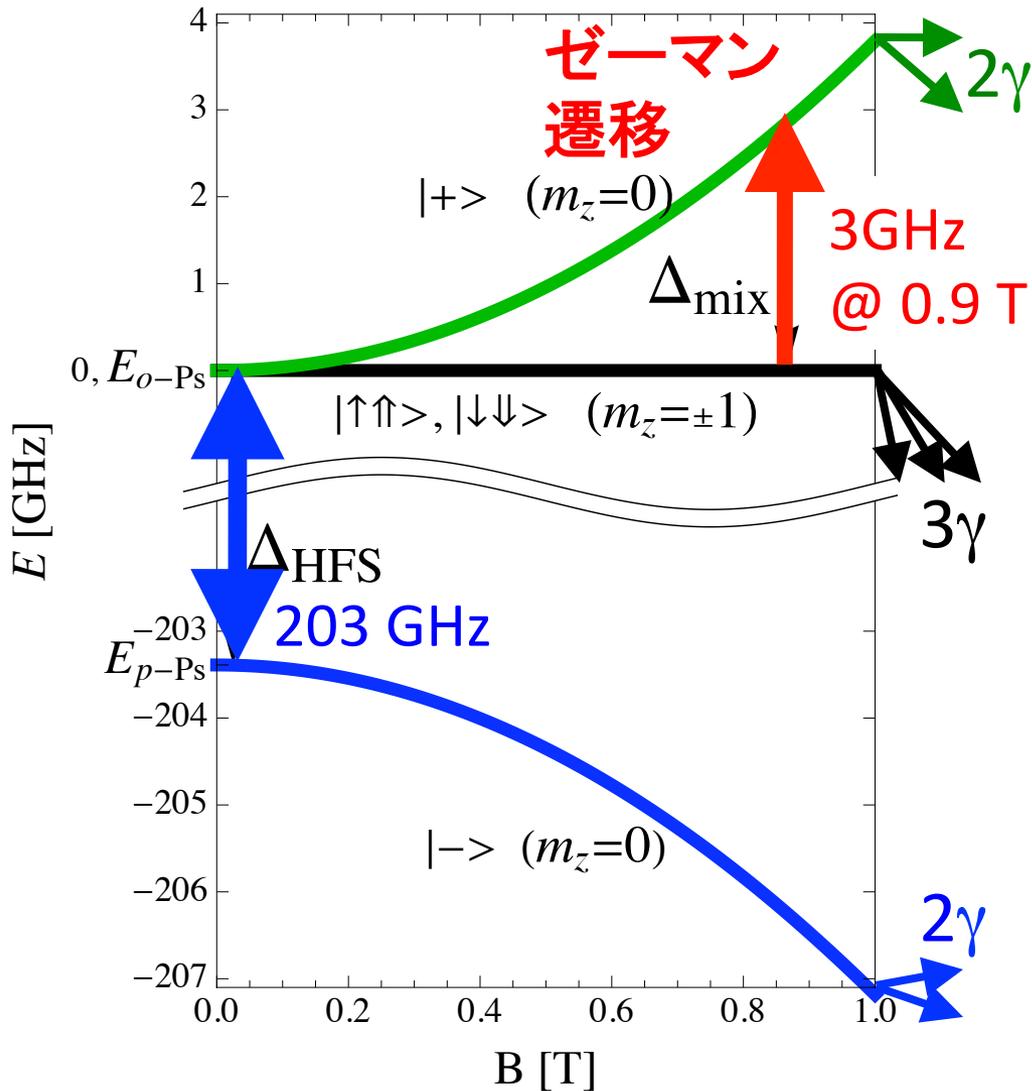
静磁場中では、**p-Ps** は **o-Ps** の $m_z=0$ 成分と混合する。(2 γ 崩壊).

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

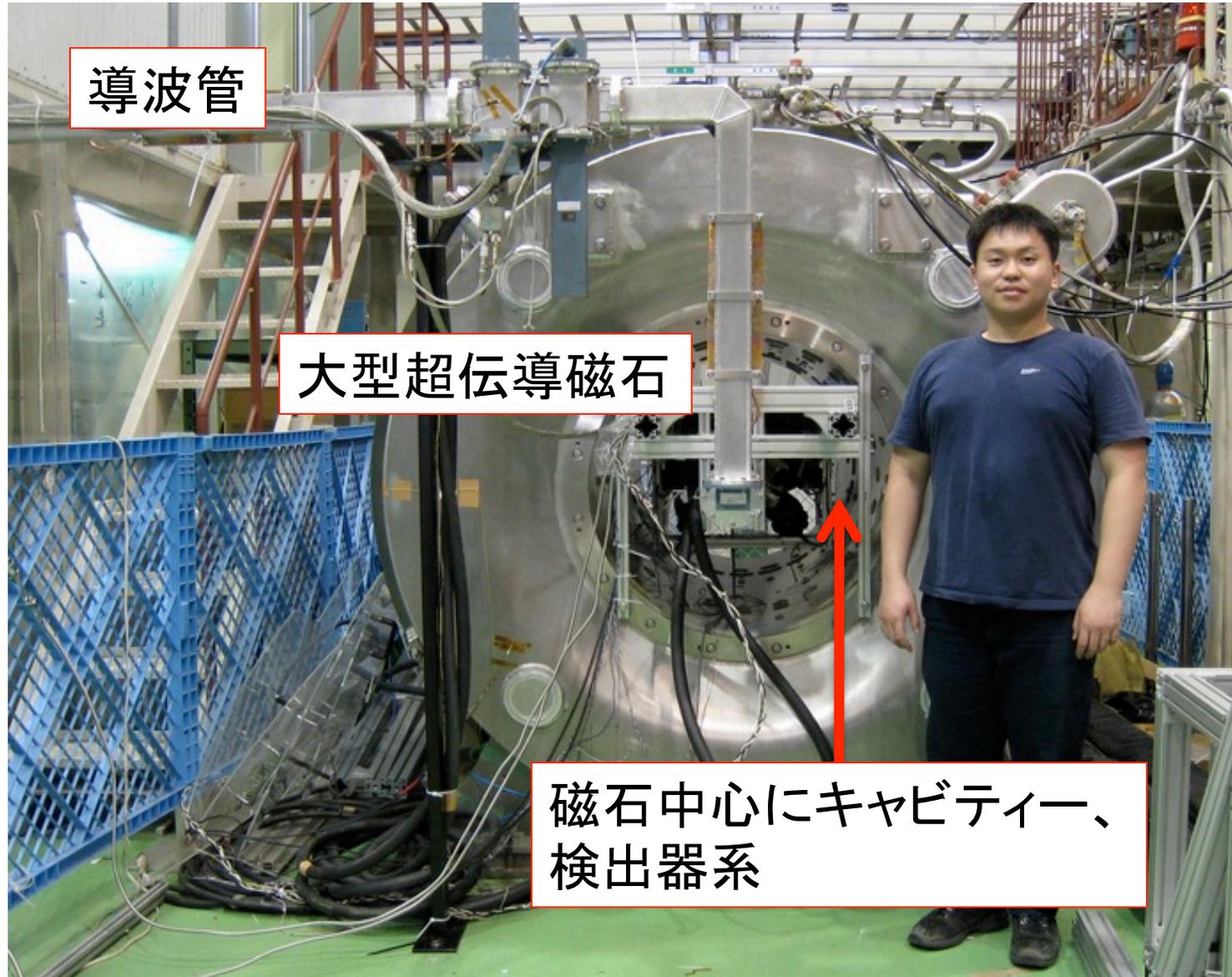


周波数が Δ_{mix} のマイクロ波を供給すると、 $o\text{-Ps}$ の $m_z=0$ と $m_z=\pm 1$ 成分の間で遷移が起こる。

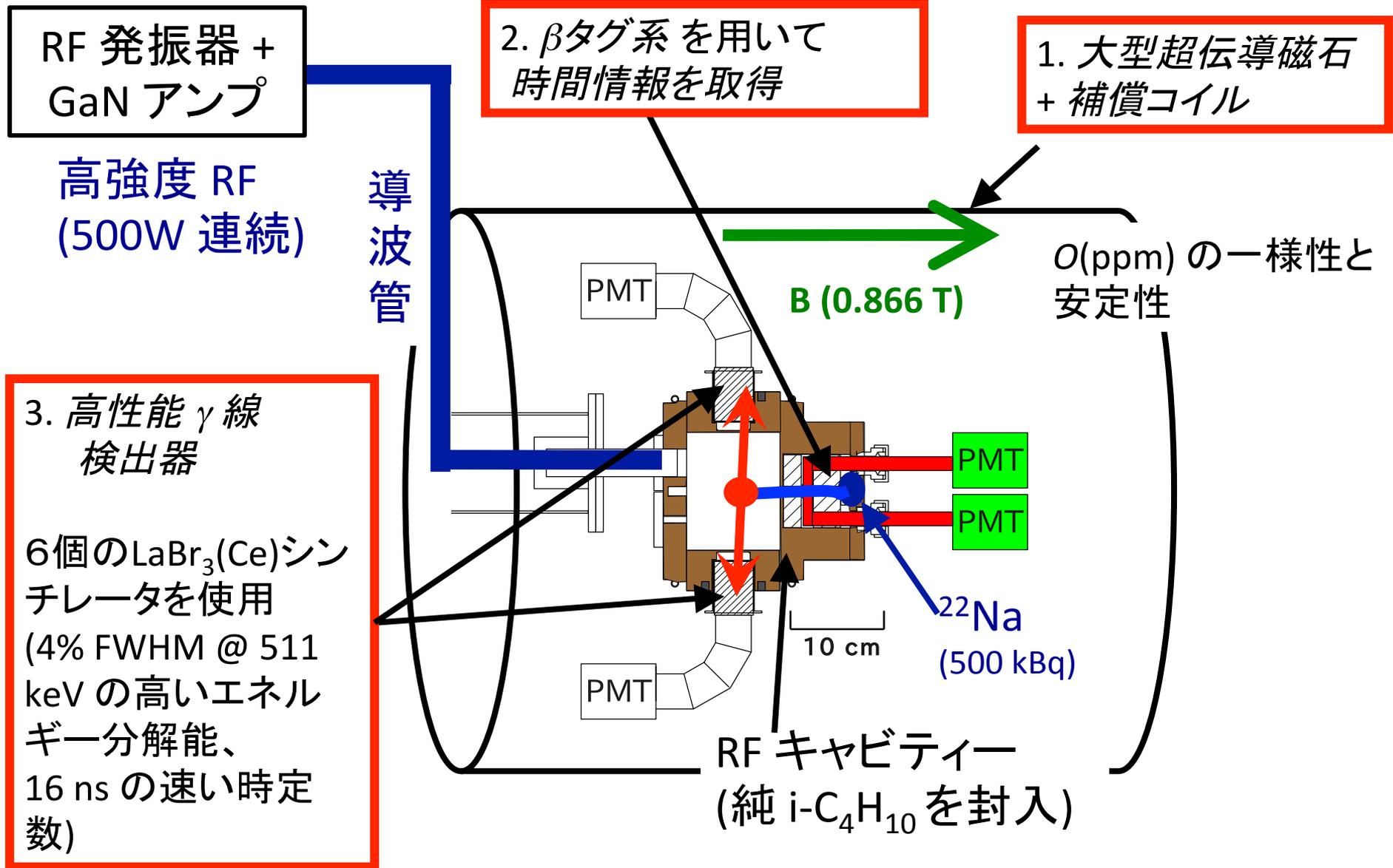
→ 2γ 崩壊(511 keV 単色) 率が大きくなる。
この崩壊率の変化が、実験のシグナルになる。

→ 過去の全ての実験と同じ方法

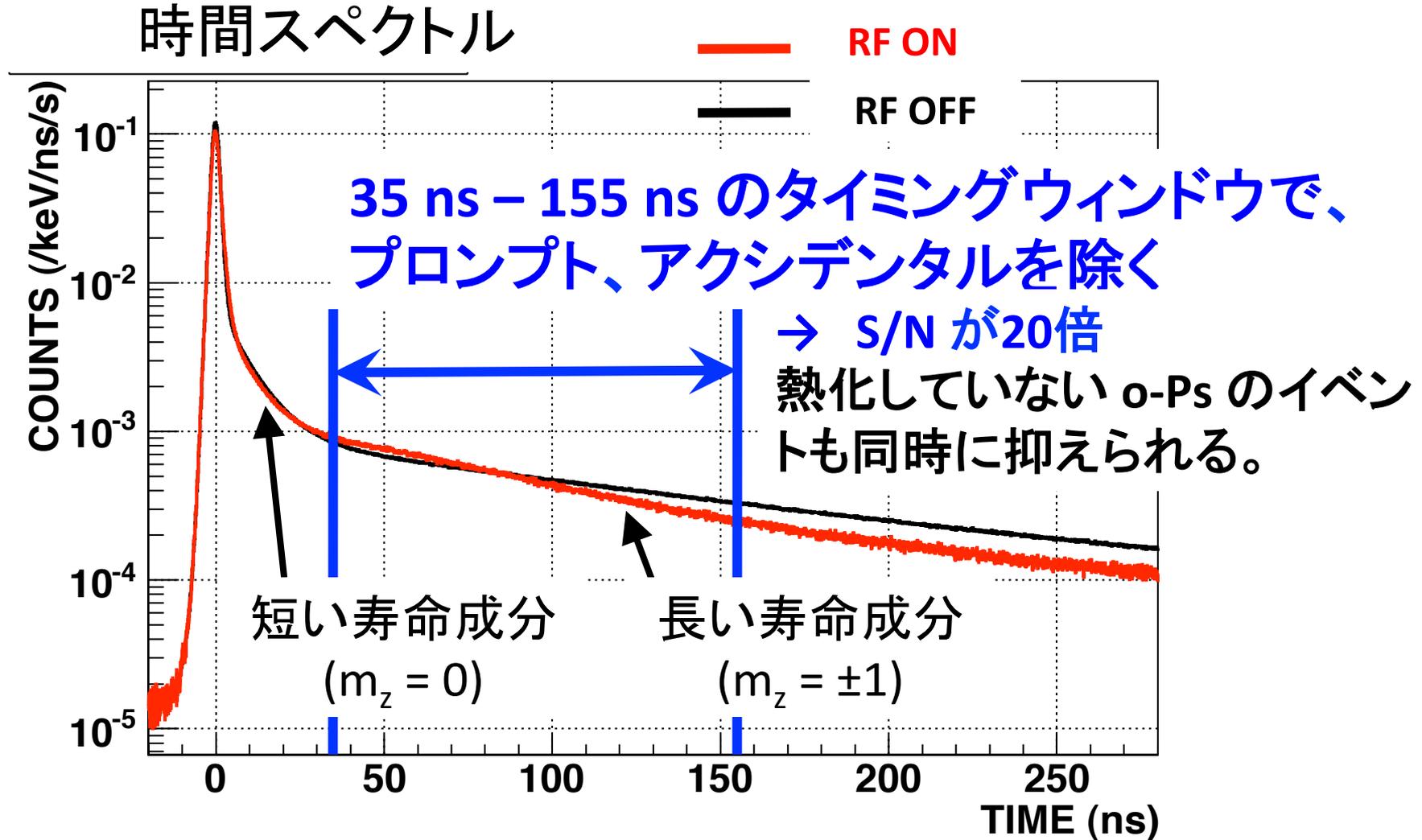
測定 @ KEK低温棟 平成22年7月～



我々の新しい実験セットアップ

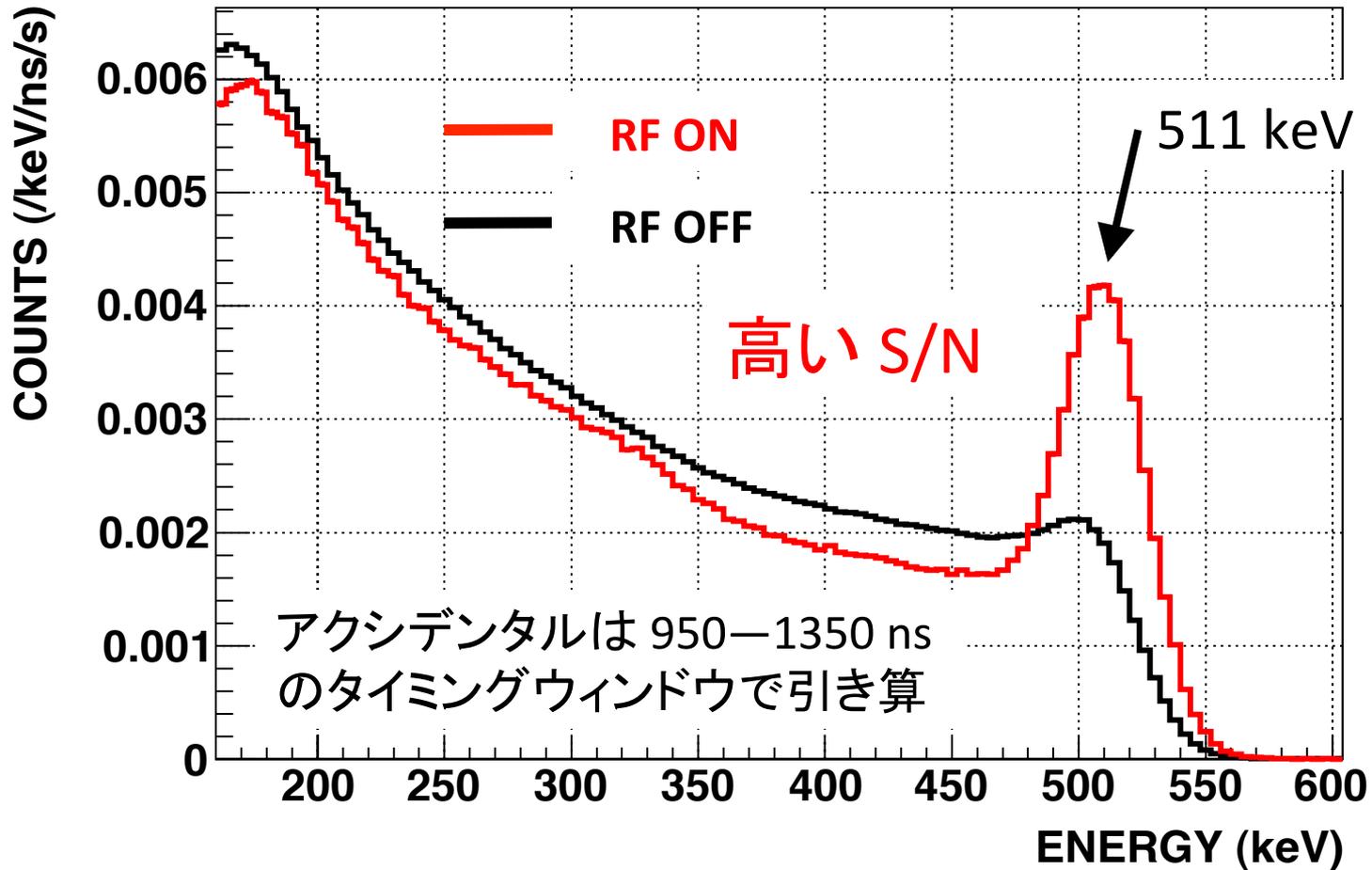


解析 (時間スペクトル)



ゼーマン遷移によって、Ps崩壊確率が大きくなった。

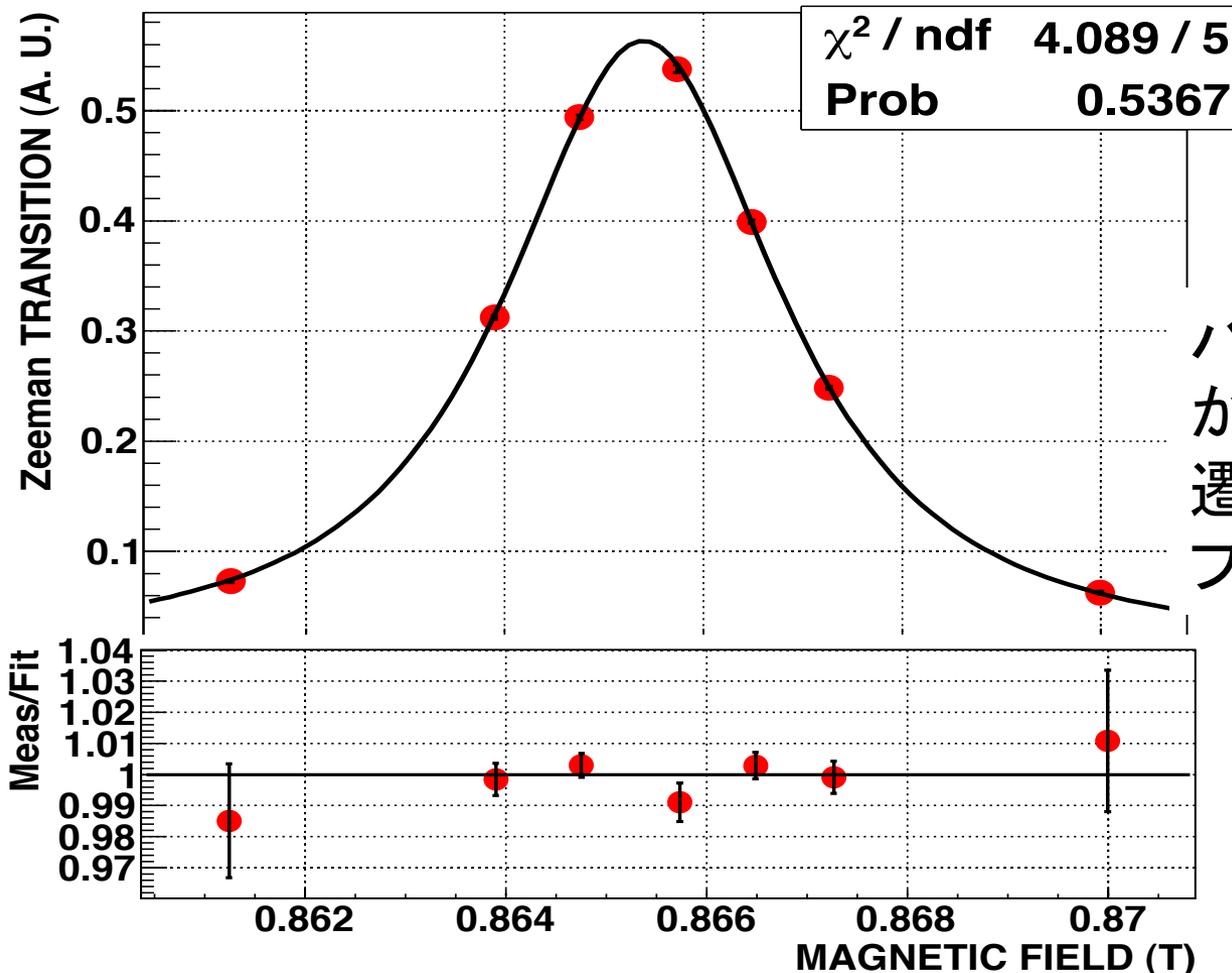
解析 (エネルギースペクトル)



ゼーマン遷移によって、 2γ 崩壊確率が大きくなった。
ゼーマン遷移確率を、RF-ON と RF-OFF の差から計算。

共鳴曲線 (0.883 amagat)

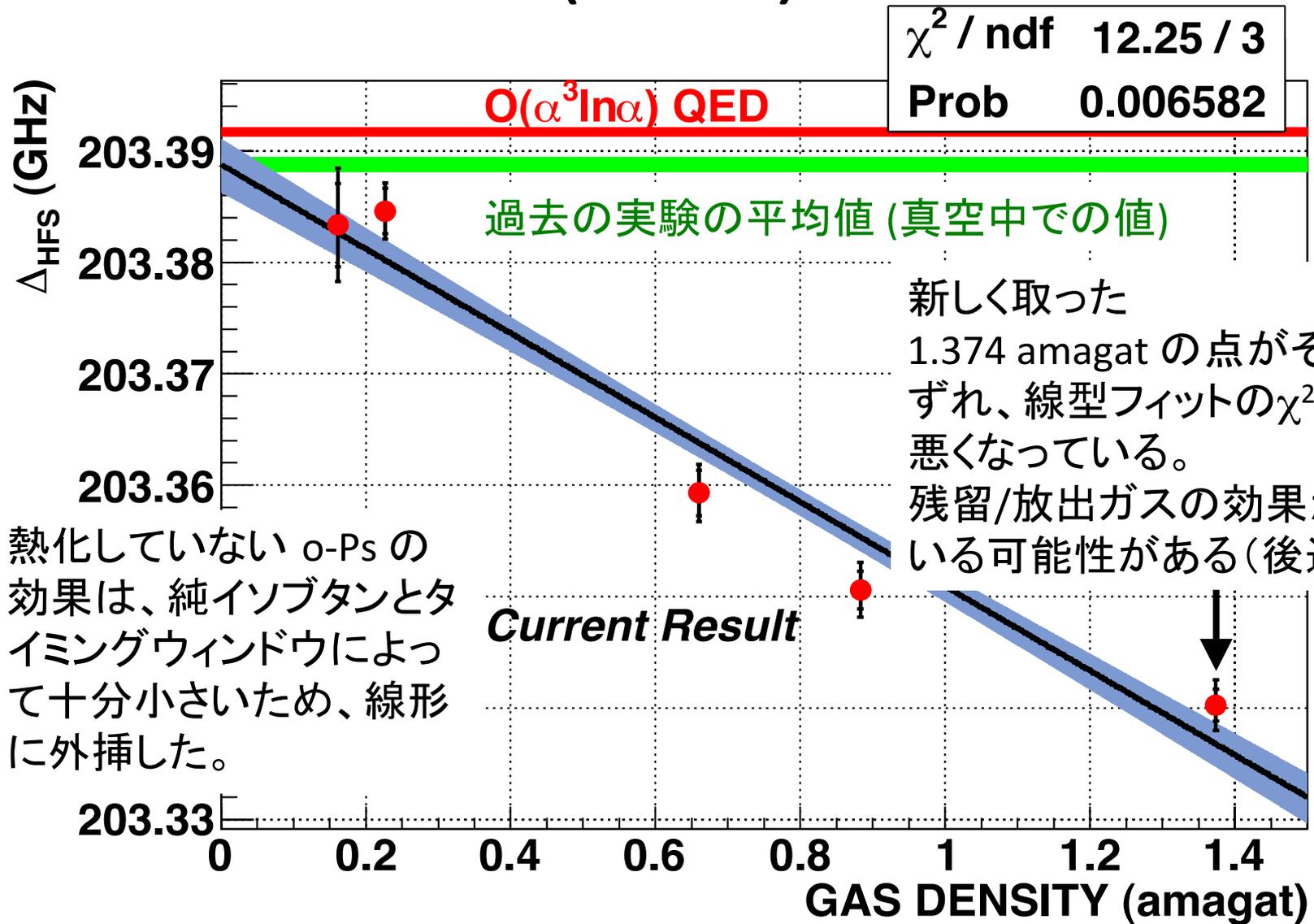
RF の周波数、パワーを固定して、**磁場でスキャン**。



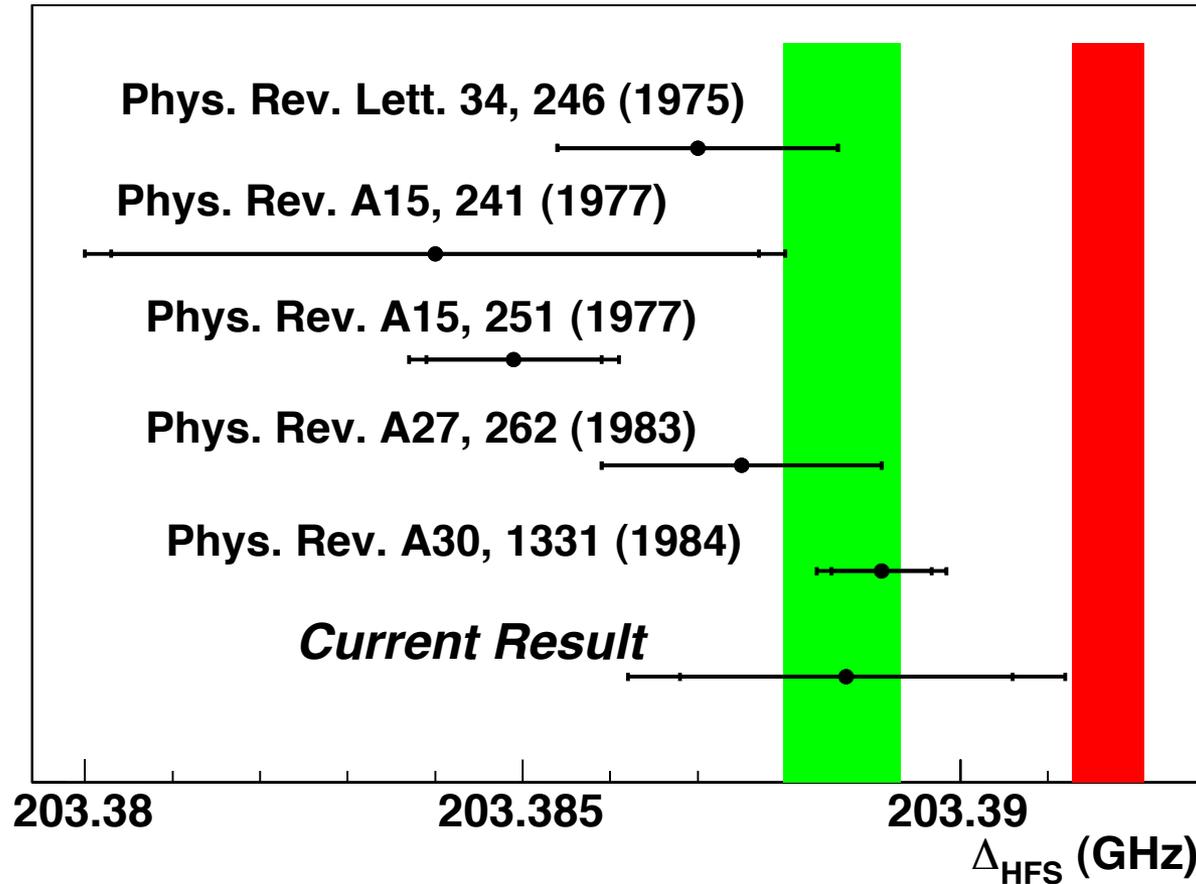
ハミルトニアン
から求めた
遷移曲線で
フィット

$\Delta_{\text{HFS}} = 203.3506(20) \text{ GHz (9.8 ppm)}$ (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 of 途中結果



本測定で得られた、超微細構造の途中結果

$$\Delta_{\text{HFS}} = 203.3887 \pm 0.0019 \text{ (stat., 9.2 ppm)} \\ \pm 0.0016 \text{ (sys., 8.0 ppm) GHz}$$

系統誤差 (暫定)

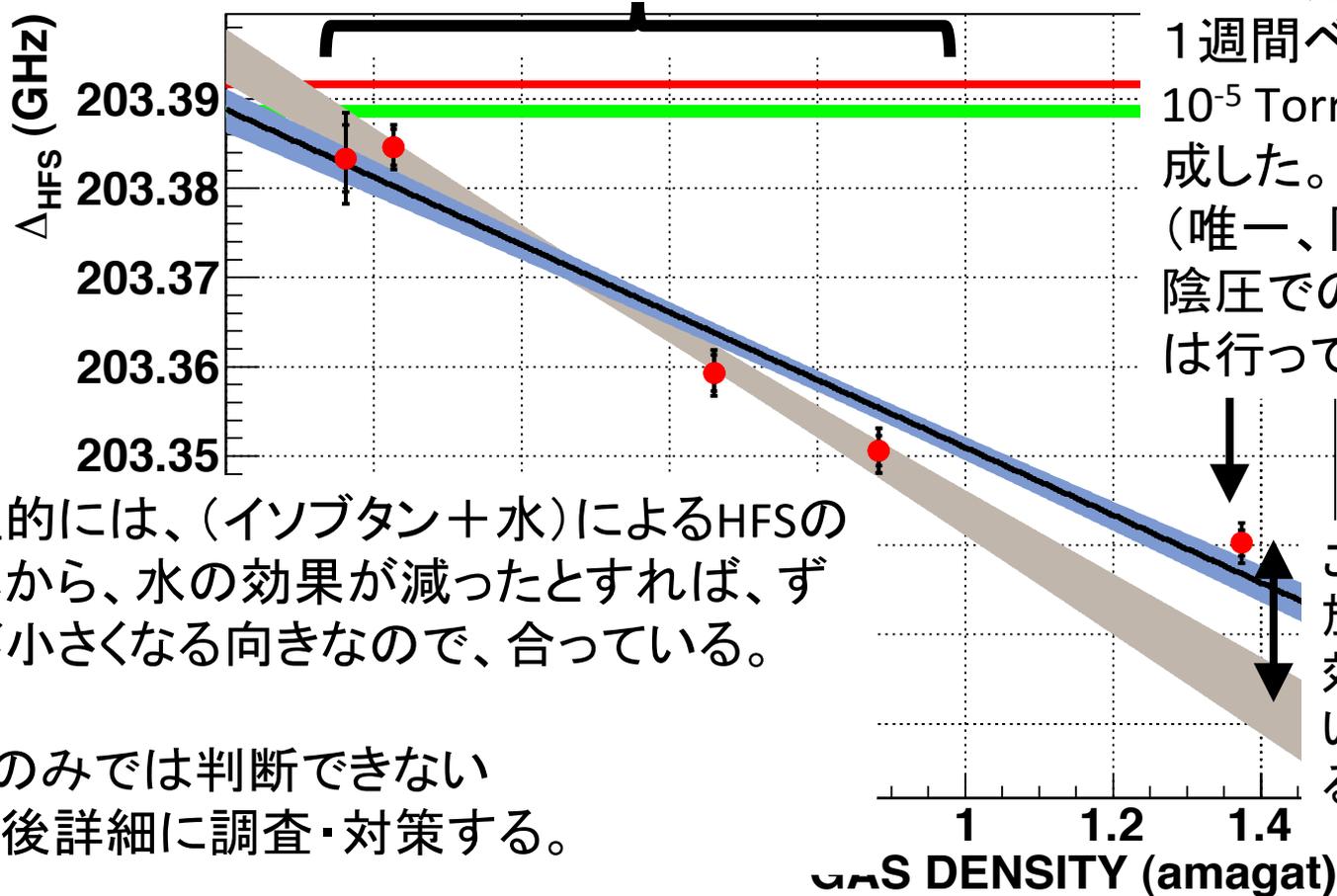
系統誤差の要因		大きさ (ppm)
磁場	非一様性	1.8
	補正と再現性	1.0
	NMR測定値	1.0
検出効率	MCを用いた評価	5.4
物質の効果	ポジトロニウムの熱化	3.0
RF	RF パワー	1.9
	RF キャビティの Q_L 値	4.5
	RF周波数	1.0
Quadrature sum		8.0

残留/放出ガスの効果

残留/放出ガスとしては、大部分が水。

→双極子モーメントが大きいいため、HFSをずらす可能性がある。

油回転ポンプで30分程度の真空引き、ベーキングなし



1.374 amagat の点では、残留/放出ガスの効果を抑えるため、ターボ分子ポンプを用い、1週間ベーキングして、 10^{-5} Torr の真空度を達成した。

(唯一、陽圧ではあるが、陰圧でのHeリークテストは行っている)

この差が、残留/放出ガス(水)の効果として見えている可能性がある。

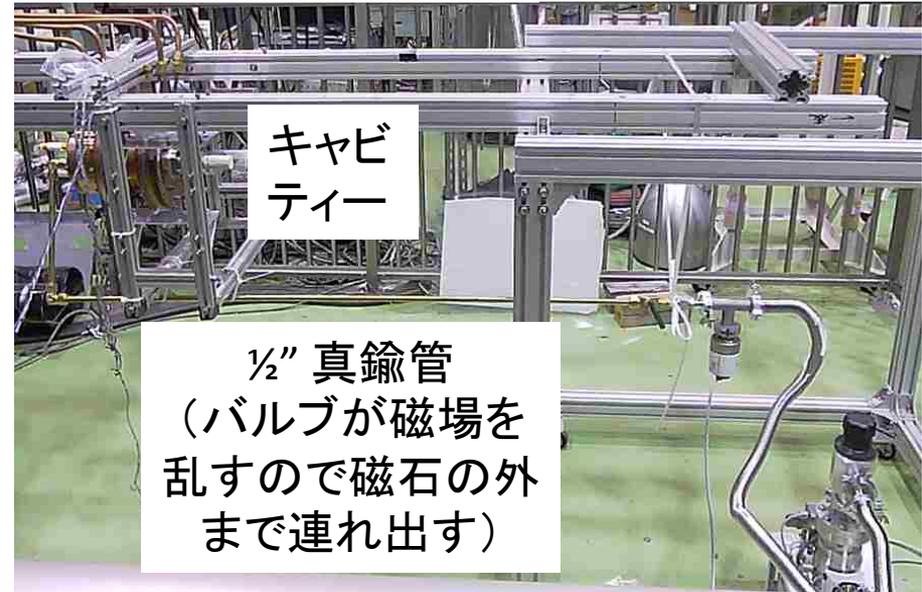
定性的には、(イソブタン+水)によるHFSのずれから、水の効果が減ったとすれば、ずれが小さくなる向きなので、合っている。

1点のみでは判断できない
→今後詳細に調査・対策する。

残留/放出ガスへの対策

- ターボ分子ポンプの使用、ベーキングの徹底(既に行っている)。
- ガス系の設計変更(コンダクタンスを大きく)。
- ライトガイドの材料として、アクリル(ガス放出速度が大きい)の代わりに、石英を用いる。
- ガス封じきりでなく、各測定点毎に入れ替えることも検討中。

ベーキング用の湯を流す



ターボ分子
ポンプ

上記対策により、残留/放出ガスを減らし、変化を調べる。

今後の展望

- 物質の効果：現状、HFSがガス密度に線型に依存すると仮定している。しかし、熱化していないポジトロニウムの影響が大きいと、これは非線型になる。過去の熱化測定 (Skalsey *et al.*) によれば、熱化の効果は $i\text{-C}_4\text{H}_{10}$ ガスで 3 ppm 以下と見積もられる。現在、ポジトロニウムの熱化関数を別の手法で精密に測定している。
- 残留/放出ガスの効果：残留/放出ガスを抑えた測定で、効果の有無や大きさを調べる。
- RF：温度管理、性質の更なる理解で ppm level を達成する。
- 検出効率：現状、モンテカルロ・シミュレーションを用いて評価。実データを基にした評価にし、ppm level を達成していく。
→ ポジトロニウム生成位置の分布など (これから)
- 統計誤差：今のところ 9.2 ppm

今後1年程度で、0(ppm) の精度を達成する。

まとめ

本測定 of 途中結果

$$\text{HFS} = 203.3887 \pm 0.0019 \text{ (stat., 9.2 ppm)} \\ \pm 0.0016 \text{ (sys., 8.0 ppm) GHz}$$

- 我々の新しい精密測定は、過去の実験において考えられる共通の系統誤差 (磁場の非一様性・ P_s の熱化による効果) を小さくする。
- 上記途中結果は、残留/放出ガスの効果が見えている可能性があり、今後調査・対策する。
- 0(ppm) の結果が1年程度で得られる見込み。これによって HFS のずれの検証を行う。