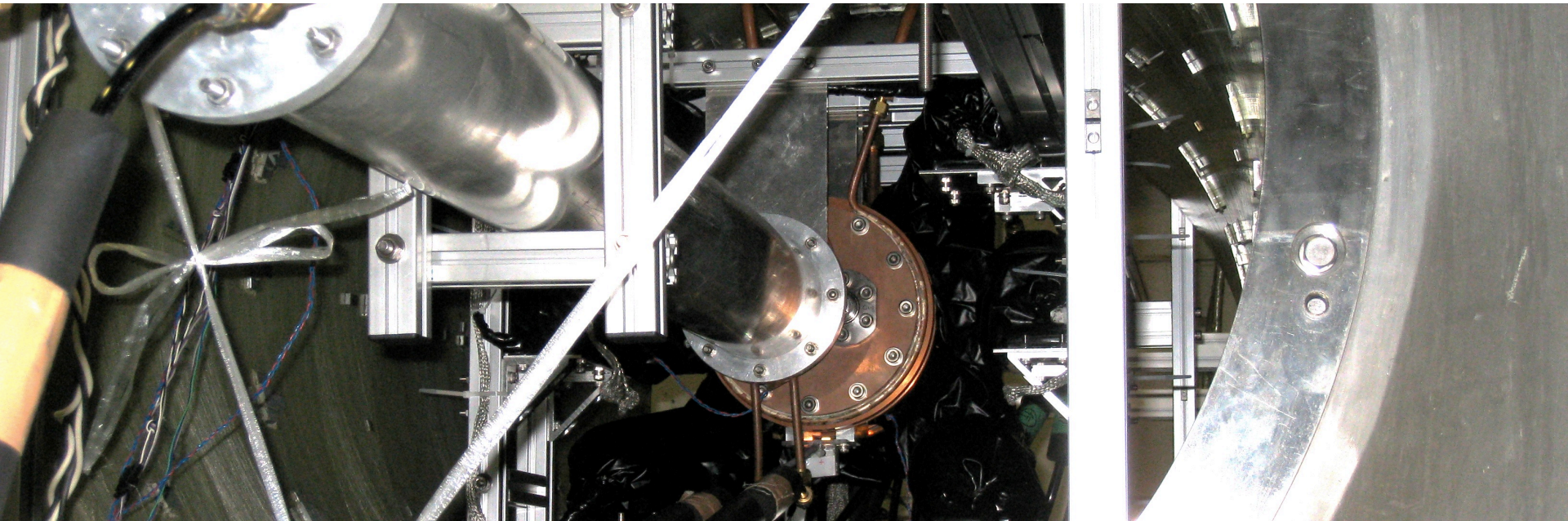


ポジトロニウム超微細構造の 精密測定



東大院理,^A東大素粒子物理,^B東大院総合文化,^CKEK

石田明, 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

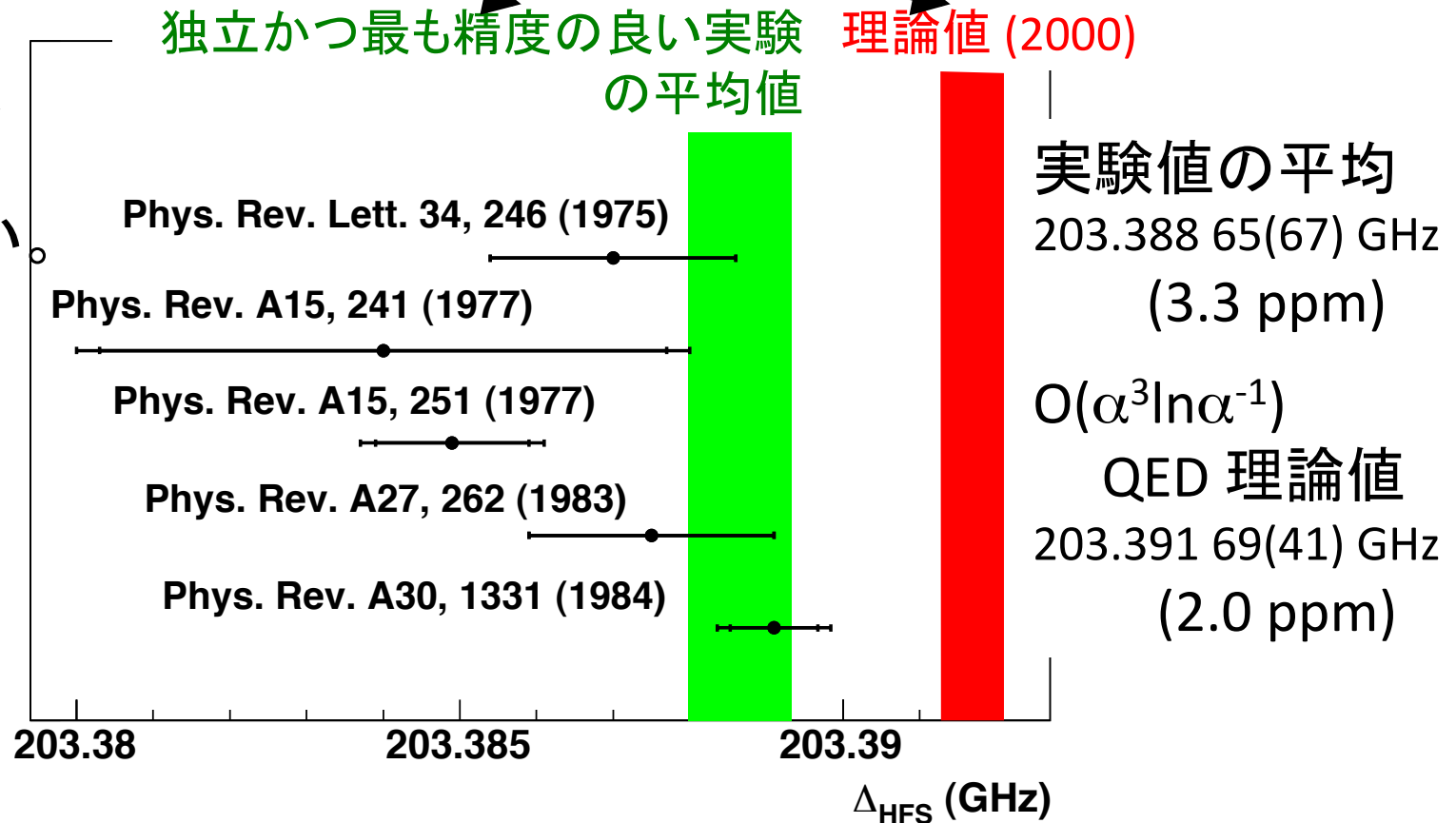
平成23年12月3日 京大原子炉実験所専門研究会「陽電子科学とその理工学への応用」

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

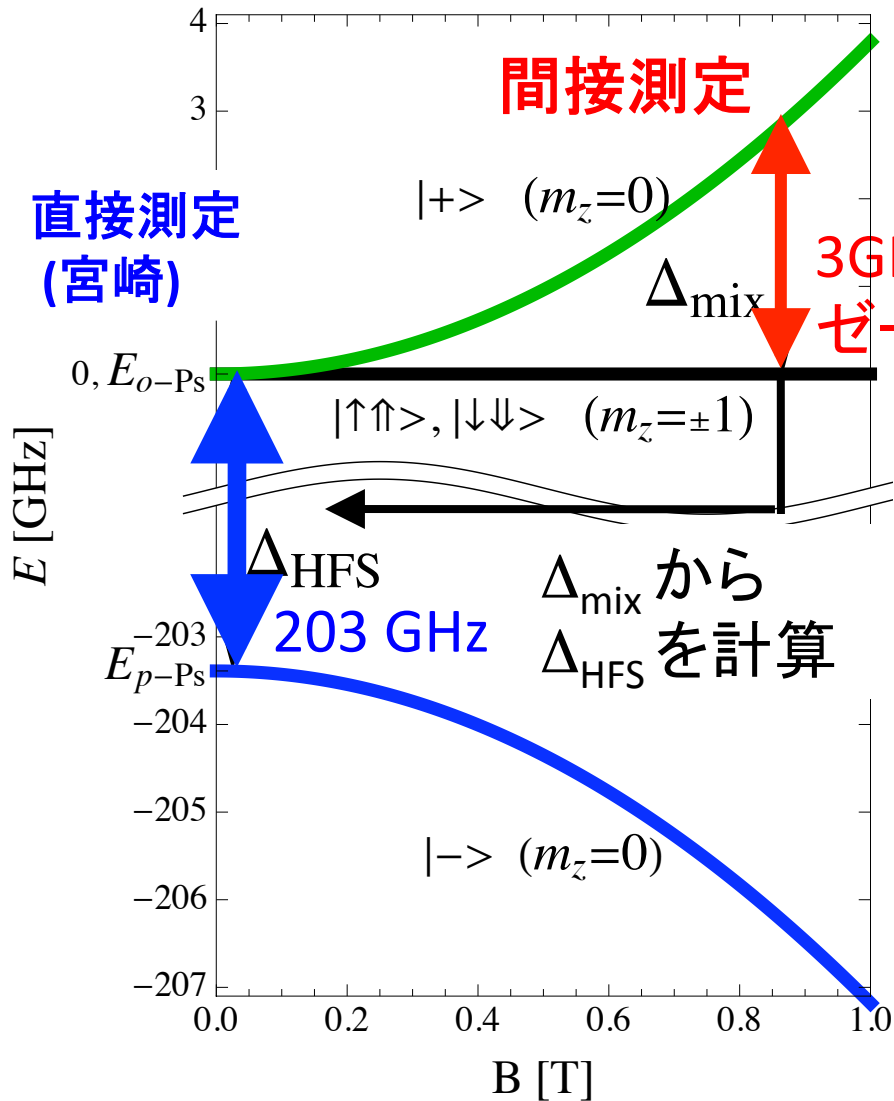
- 過去の実験に共通した系統誤差

1. 磁場の非一様性。大きなPs生成領域内で、ppmレベルの
一様磁場を供給するのは極めて困難。
2. 物質の効果の過小評価。シュタルク効果の大きさの評価
に問題があった可能性(熱化していない o-Ps が、特に低
物質密度で大きな影響を及ぼし、密度依存性が非線形に
なる)。 cf. オルソポジトロニウムの寿命問題 (1990年代)

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。

- 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

ゼーマン効果を用いた間接測定の方法



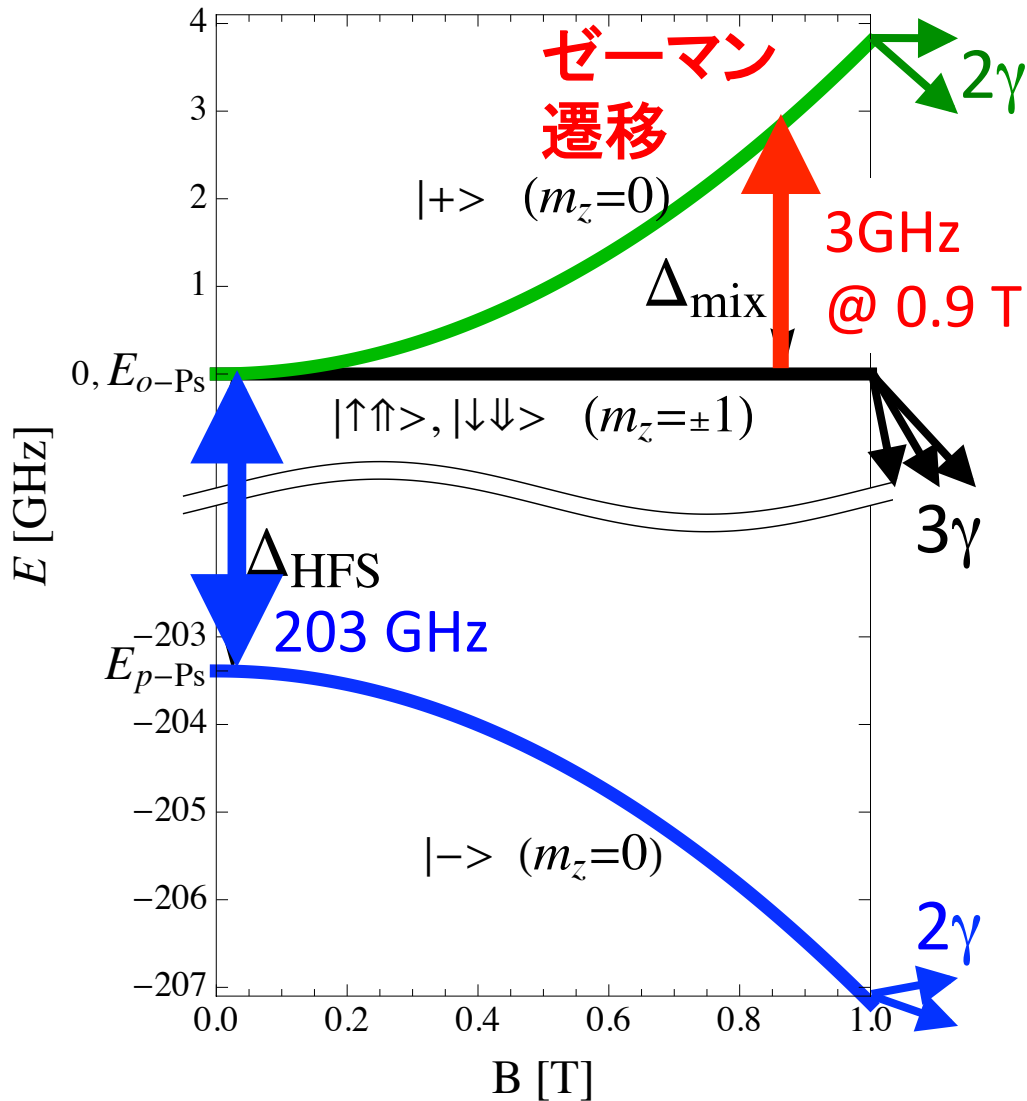
静磁場中では、**p-Ps** は **o-Ps** の $m_z=0$ 成分と混合する。(2 γ 崩壊).

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

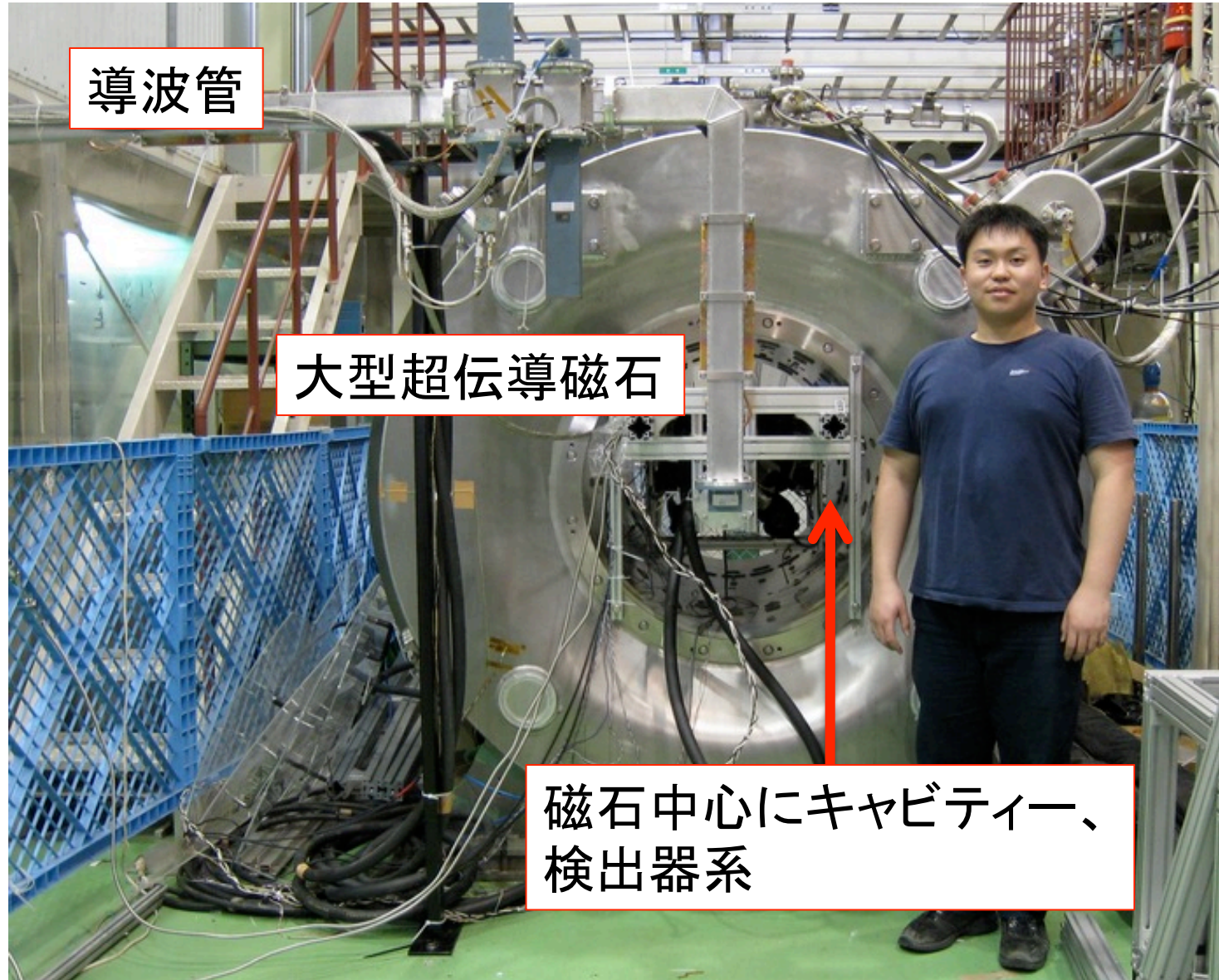


周波数が Δ_{mix} のマイクロ波を供給すると、o-Ps の $m_z=0$ と $m_z=\pm 1$ 成分の間で遷移が起こる。

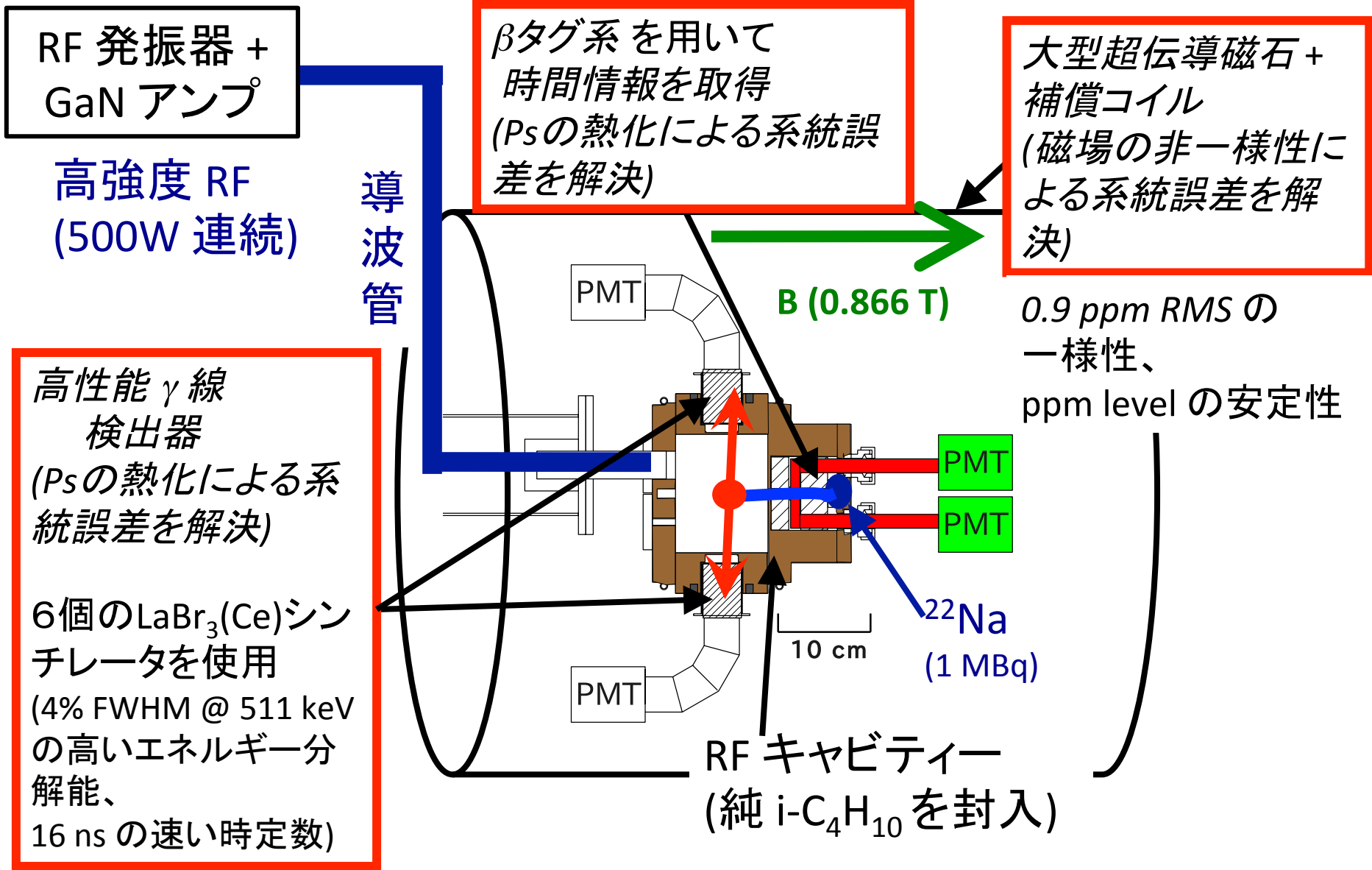
→ 2γ 崩壊(511 keV 単色) 率が大きくなる。
この崩壊率の変化が、実験のシグナルになる。

→ 過去の全ての実験と同じ方法

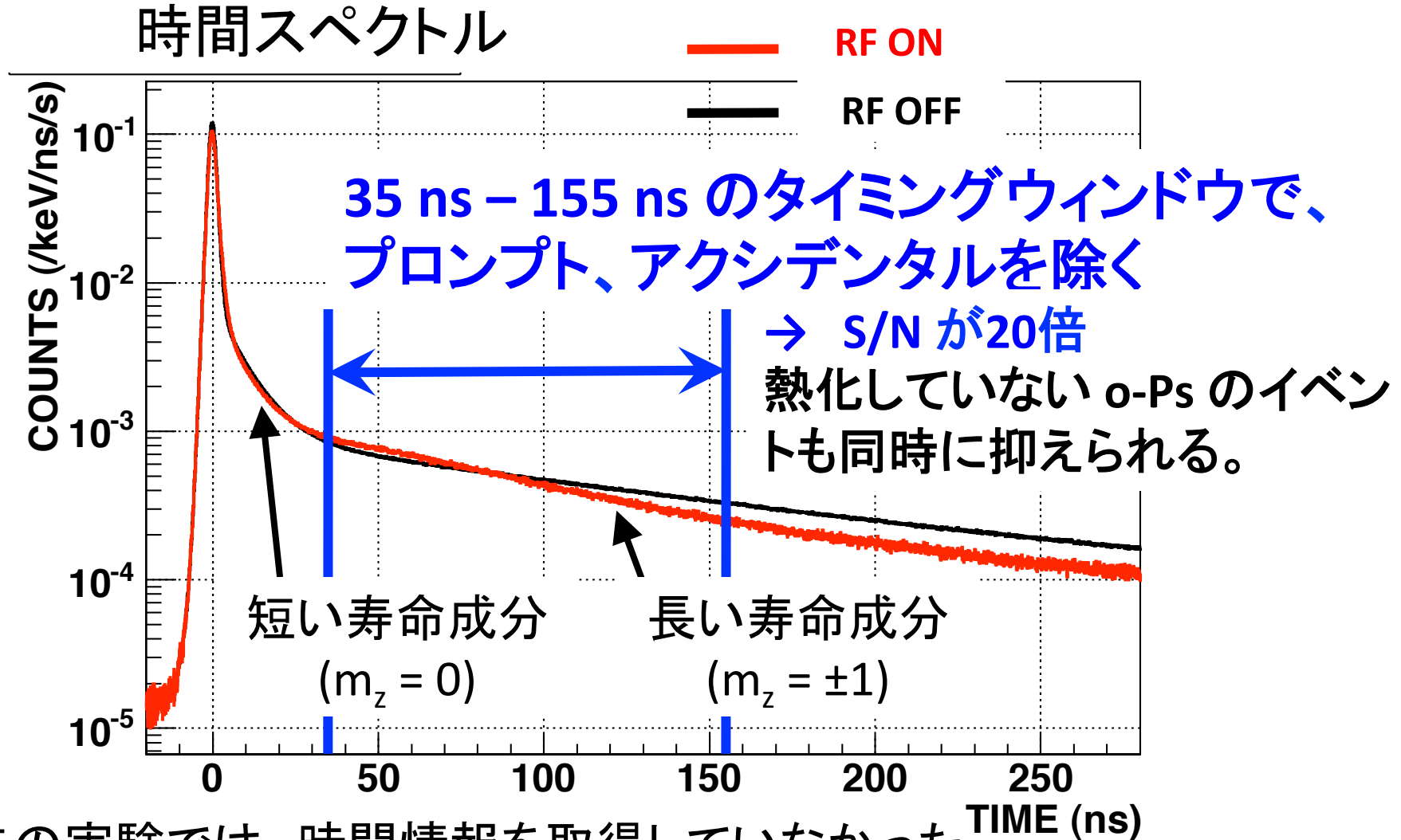
測定 @ KEK低温棟 平成22年7月～



我々の新しい実験セットアップ

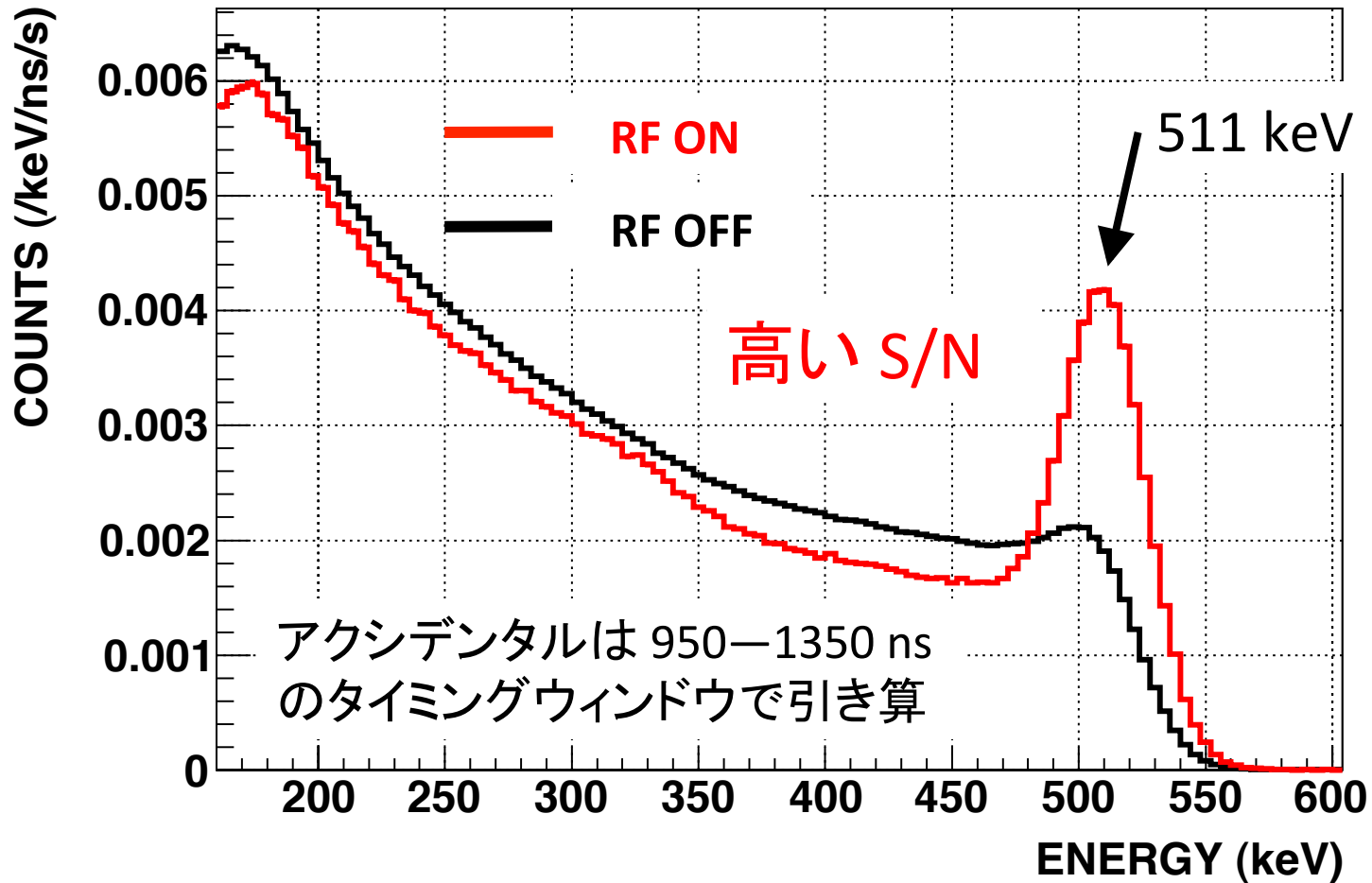


時間スペクトル



過去の実験では、時間情報を取得していなかった。
→バックグラウンドが多かった。早い時間のイベントも取っていたため、熱化していないPsの影響が大きかった。

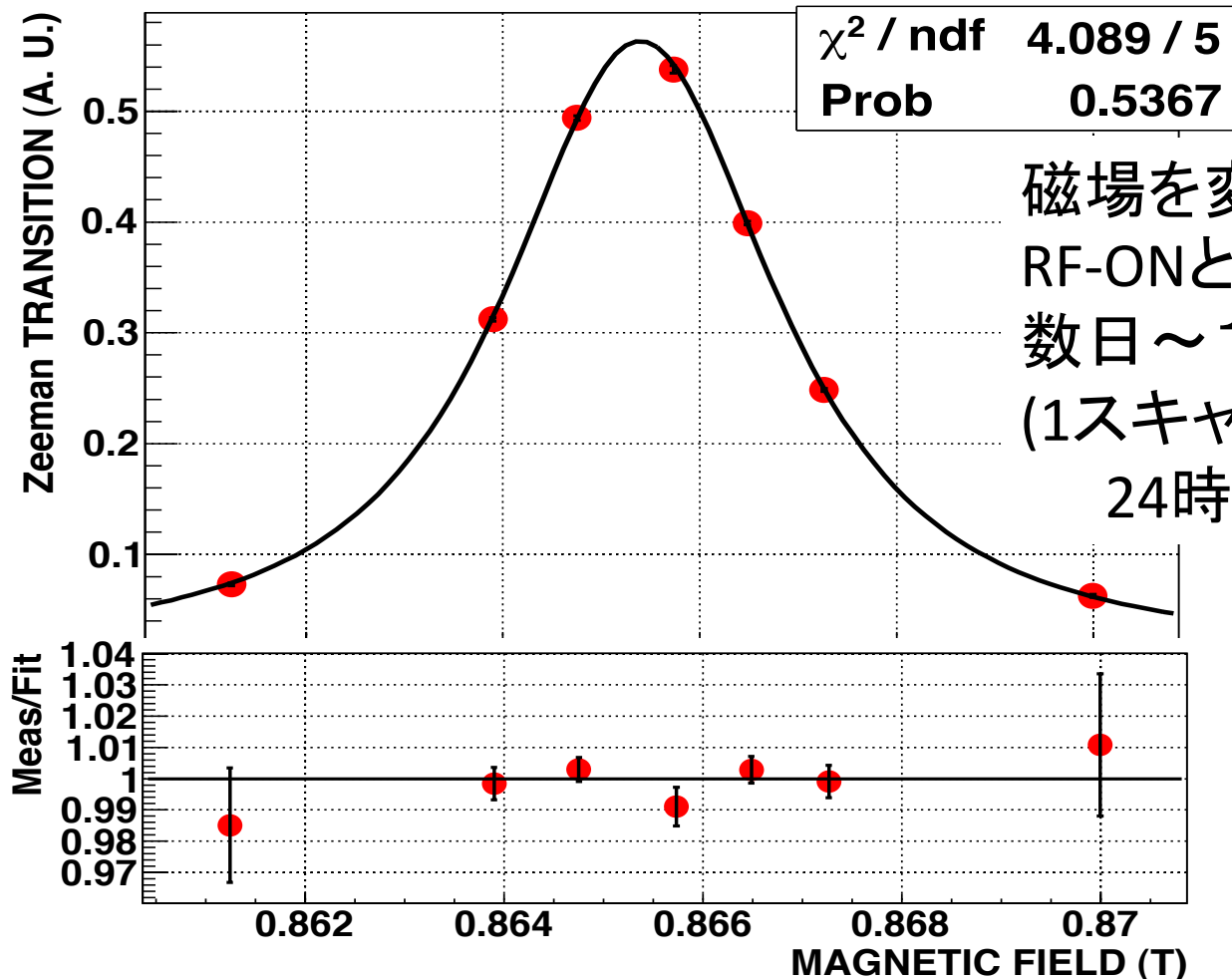
解析 (エネルギースペクトル)



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**。



磁場を変えて、各点で
RF-ONとOFFを測定
数日～1週間/磁場点
(1スキャン 1～2ヶ月
24時間測定)

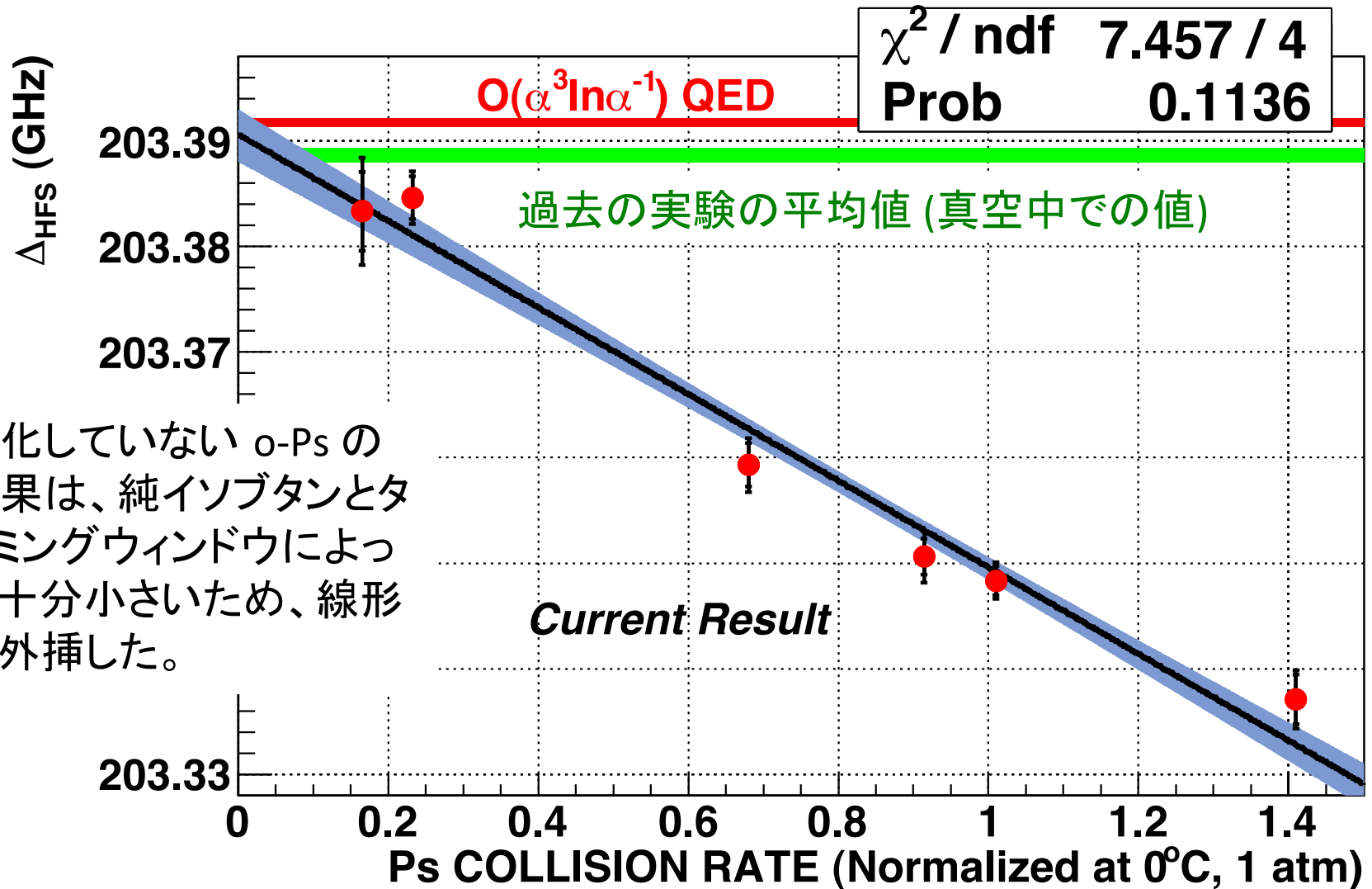
ハミルトニアン
から求めた
遷移曲線で
フィット

$$\Delta_{\text{HFS}} = 203.3506(20) \text{ GHz (9.8 ppm)}$$

→ 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

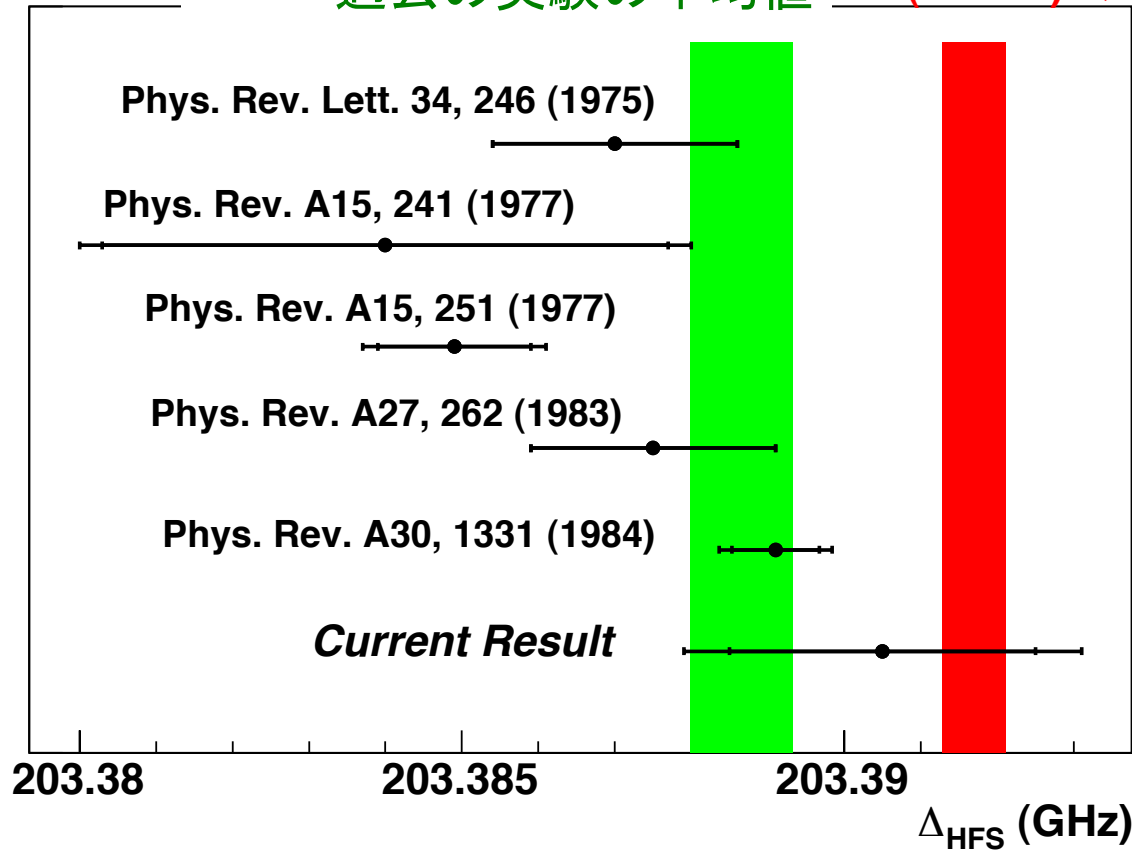
ガス圧を変えて、RF系を調整し、
各ガス圧でスキャン(各ガス圧 1~2ヶ月)



熱化していない o-Ps の
効果は、純イソブタンとタ
イミングウィンドウによっ
て十分小さいため、線形
に外挿した。

本測定の途中結果

過去の実験の平均値 $O(\alpha^3 \ln \alpha^{-1})$ QED



本測定で得られた、超微細構造の途中結果

$$\Delta_{\text{HFS}} = 203.3905 \pm 0.0020 \text{ (stat., 9.9 ppm)} \\ \pm 0.0017 \text{ (sys., 8.3 ppm) GHz}$$

系統誤差 (暫定)

系統誤差の要因	大きさ (ppm)
非一様性	1.8
補正と再現性	1.0
NMR測定値	1.0
MCを用いた評価	5.4
ポジトロニウムの熱化	3.0
RF パワー	2.6
RF キャビティの Q_L 値	4.2
RF周波数	1.0
Quadrature sum	8.3

磁場

検出効率

物質の効果

RF

まだ大きい系統誤差があるが、後で述べるように対策して ppm レベルにする。

今後の展望

- 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)
- 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。
- RF : 温度管理、性質の更なる理解で ppm level を達成する。
- 統計誤差 : 今のところ 9.9 ppm

来年度末までに、**0(ppm)** の精度を達成する。

まとめ

本測定 of 途中結果

$$\text{HFS} = 203.3905 \pm 0.0020 \text{ (stat., 9.9 ppm)} \\ \pm 0.0017 \text{ (sys., 8.3 ppm) GHz}$$

- 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・Ps の熱化による効果) を小さくする。
- O(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。