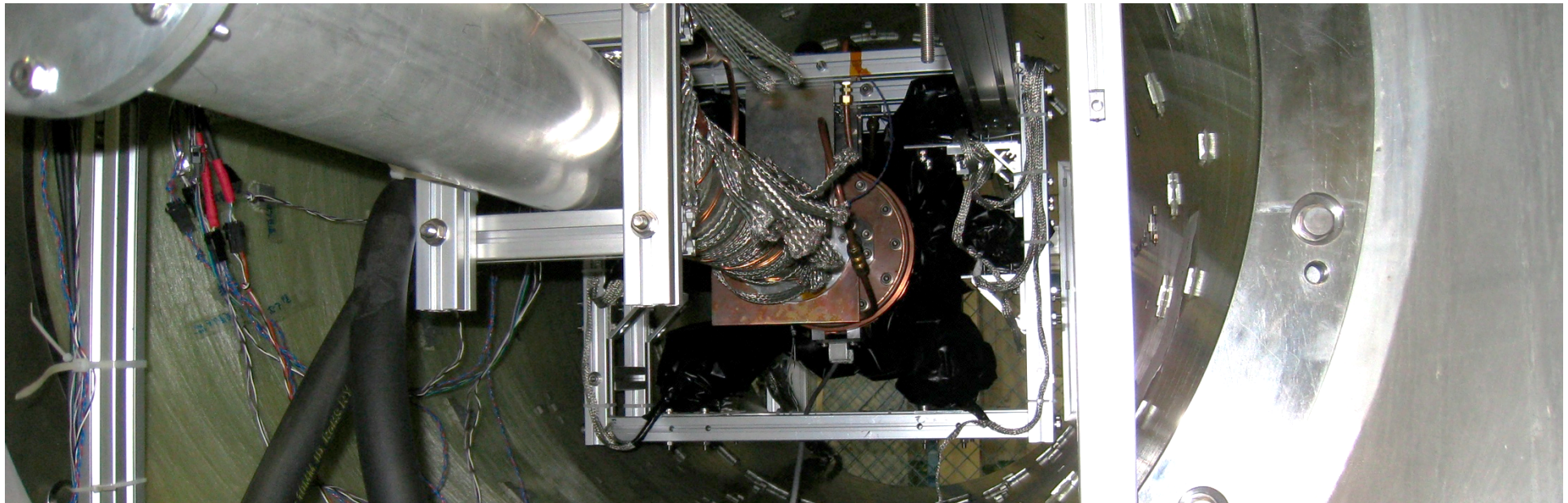


ポジトロニウム超微細構造の 精密測定



東大理, 東大素セ^A, 東大院総合文化^B, KEK^C

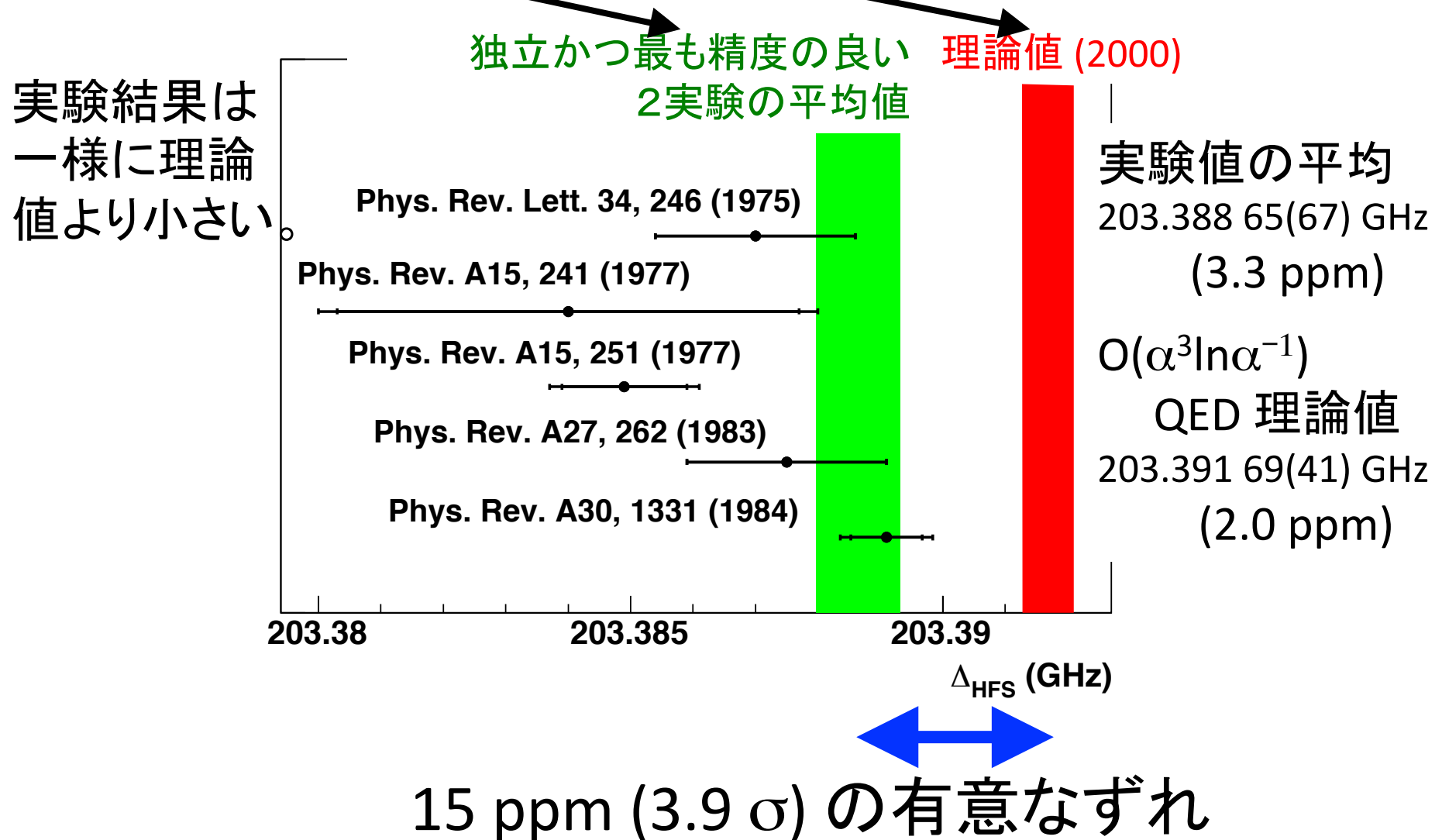
石田明, 末原大幹^A, 難波俊雄^A, 浅井祥仁, 小林富雄^A,
斎藤晴雄^B, 吉田光宏^C, 田中賢一^C, 山本明^C

平成24年9月11日 日本物理学会 2012年秋季大会
於京都産業大学

目次

- イン트로ダクション
(磁場を用いた $O(\text{ppm})$ の精密測定)
- 我々の新しい実験セットアップ
- 本測定の途中結果
- 現状と今後の展望

ポジトロニウム超微細構造は、 実験と、理論でずれている



考えられるずれの原因

- 過去の実験に共通した系統誤差

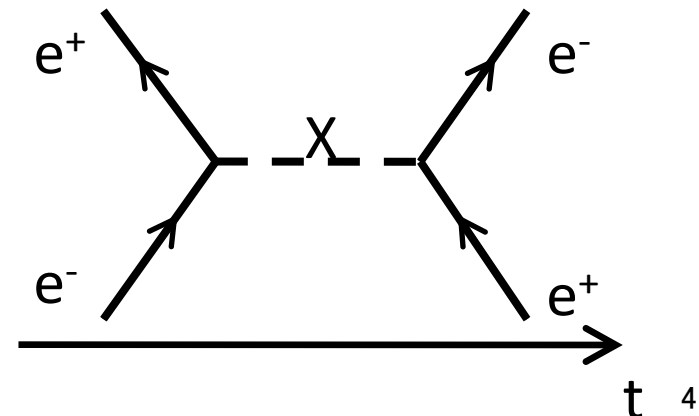
1. 磁場の非一様性。大きなPs生成領域内で、ppmレベルの一様磁場を供給するのは極めて困難。
2. 物質の効果の過小評価。熱化していない o-Ps は、特に低物質密度で大きな影響を及ぼす。

cf. オルソポジトロニウムの寿命問題 (1990年代)

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

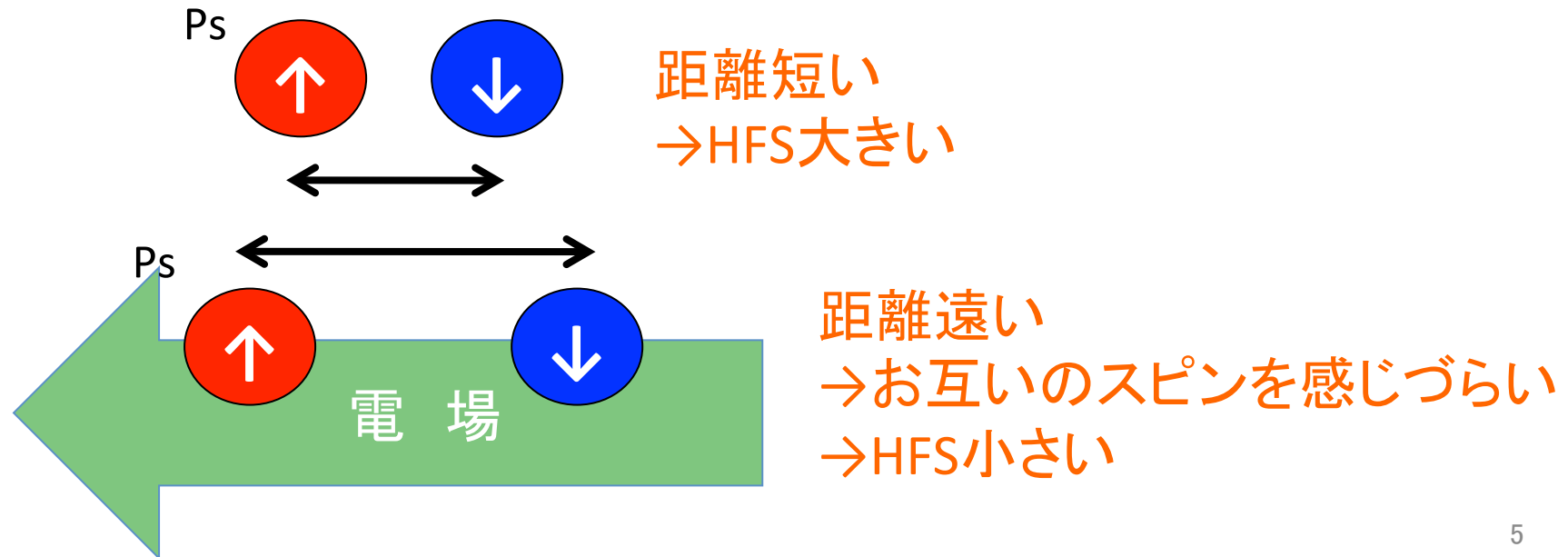
- 相互作用の弱い未知の粒子の介在
- 重い粒子には感度が低い、 μ のg-2と違い、s-channelの効果も見える。
(例 $O(\text{MeV})$, $\alpha \sim 10^{-8}$ の擬スカラー)
- o-Psは余剰次元にも感度



ポジトロニウムHFSに周囲の物質が与える影響

- Ps-HFS
= スピン-スピン相互作用 + 量子振動
→ 両者の距離によって変化する
- 周囲の物質の電場
→ 電子陽電子間の距離が変化

→ HFSの変化 (シュタルク効果)



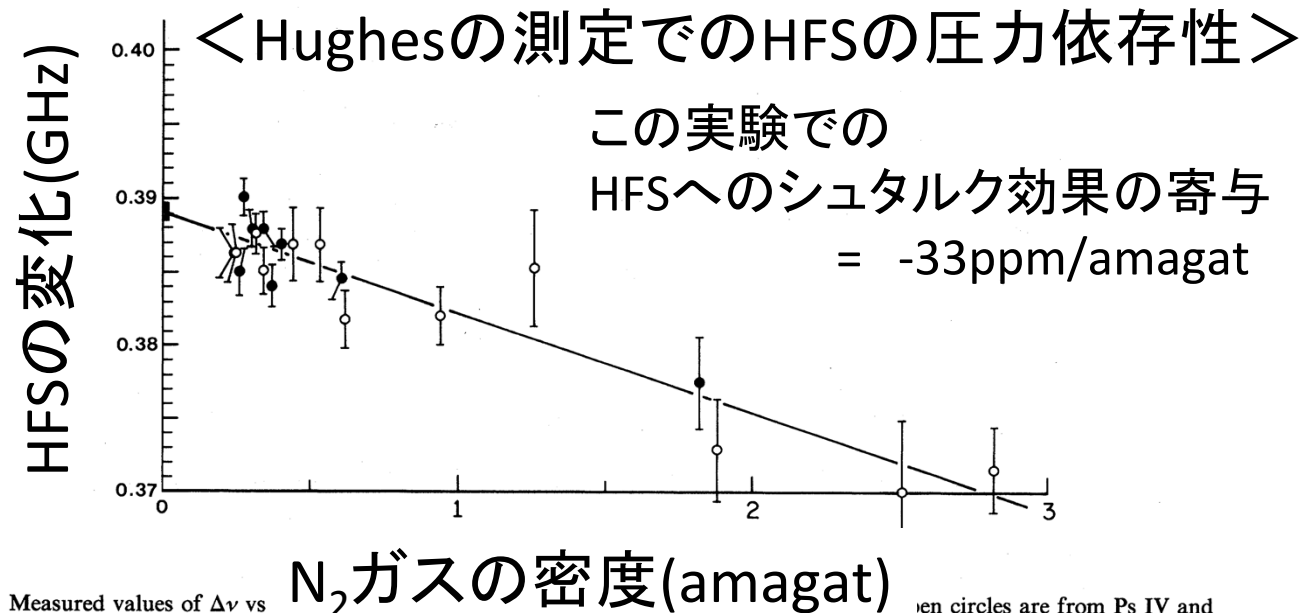
過去の実験での物質の効果の評価

- Psが周りの原子に近づく
→電場を感じてシュタルク効果が始まる

HFSに効くシュタルク効果の大きさ
 $\propto$ 周りの分子との衝突頻度
 $\propto$ (周りの分子の密度) $\times$ (Psの速さ v)

→Ps速さ一定だと思えば、HFSはガス圧に比例してずれる

→過去の実験



Phys. Rev. A
1984 **30** 1331
Ritter, Egan, Hughes et al.

FIG. 7. Measured values of $\Delta\nu$ vs N_2 gas density (amagat). The open circles are from Ps IV and the closed circles are from the present work. The straight line is the best fit described in Eq. (14).

ポジトロニウムの速さ変化

HFSに効くシュタルク効果の大きさ

$\propto$ 周りの分子との衝突頻度

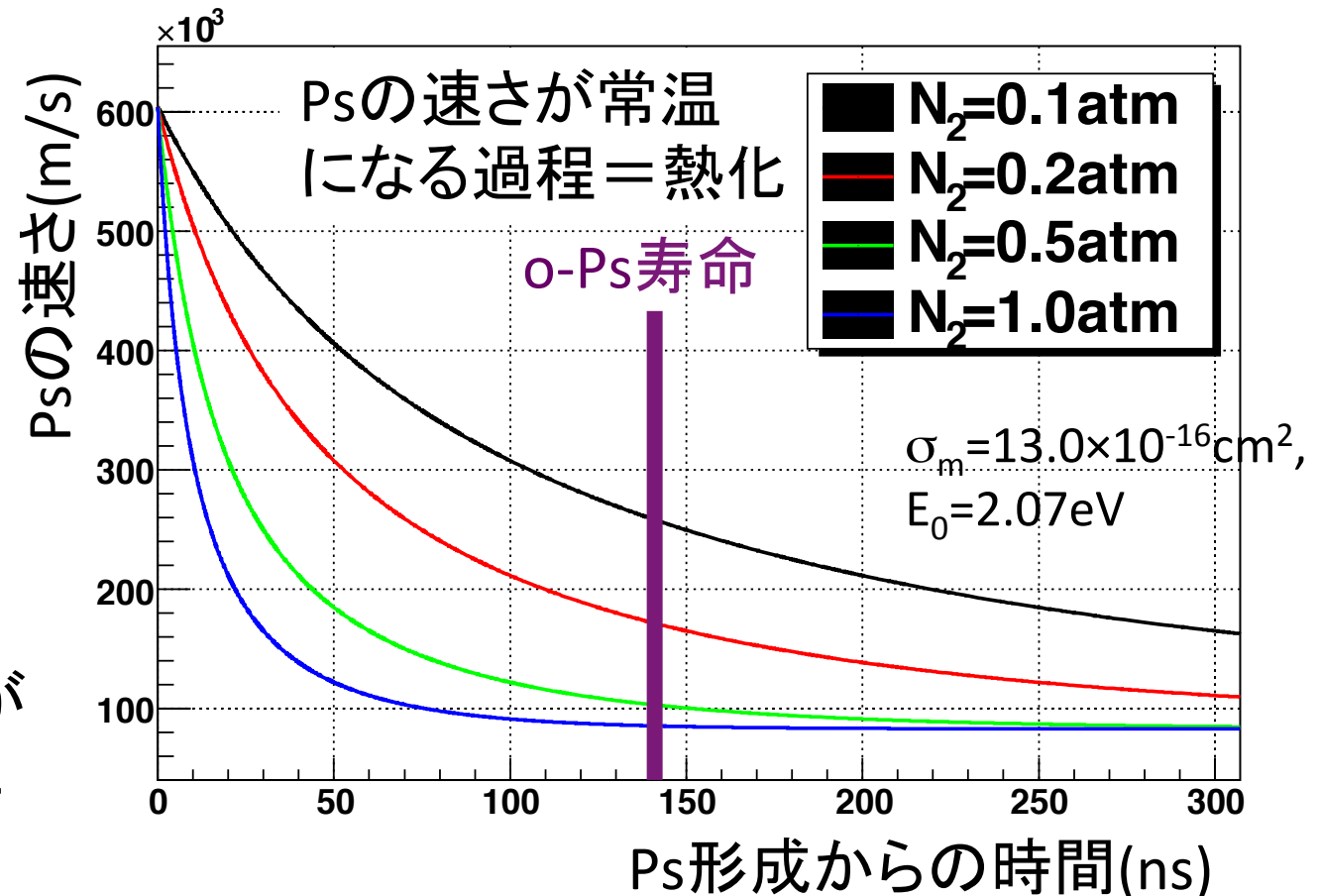
$\propto$ (周りの分子の密度) $\times$ (Psの速さ $v(t)$)

過去の実験では
一定という扱い

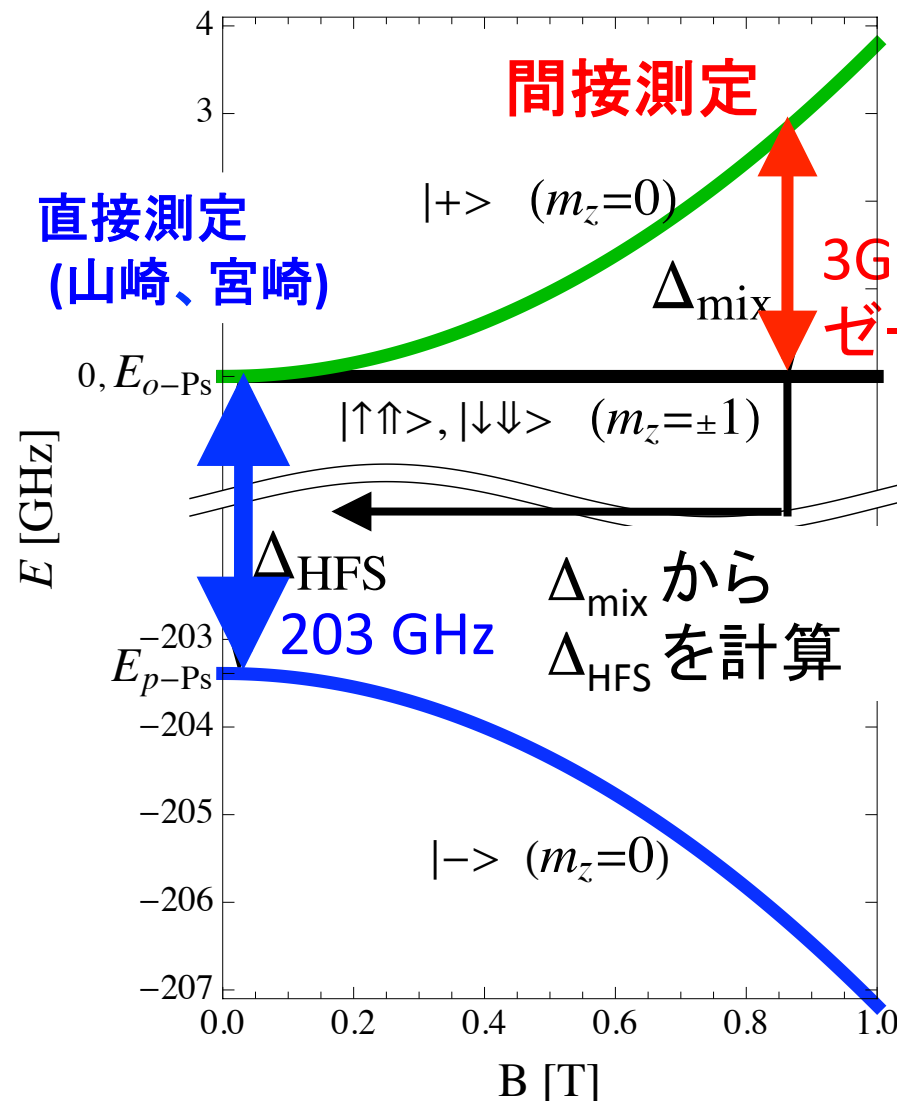
<PsがN₂ガス中で
形成された時の減
速の様子(シミュ
レーション)>

低密度では熱化
に時間がかかり、
物質の効果が大きい

→ 線型での外挿が
大きな系統誤差に
なっている可能性



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).

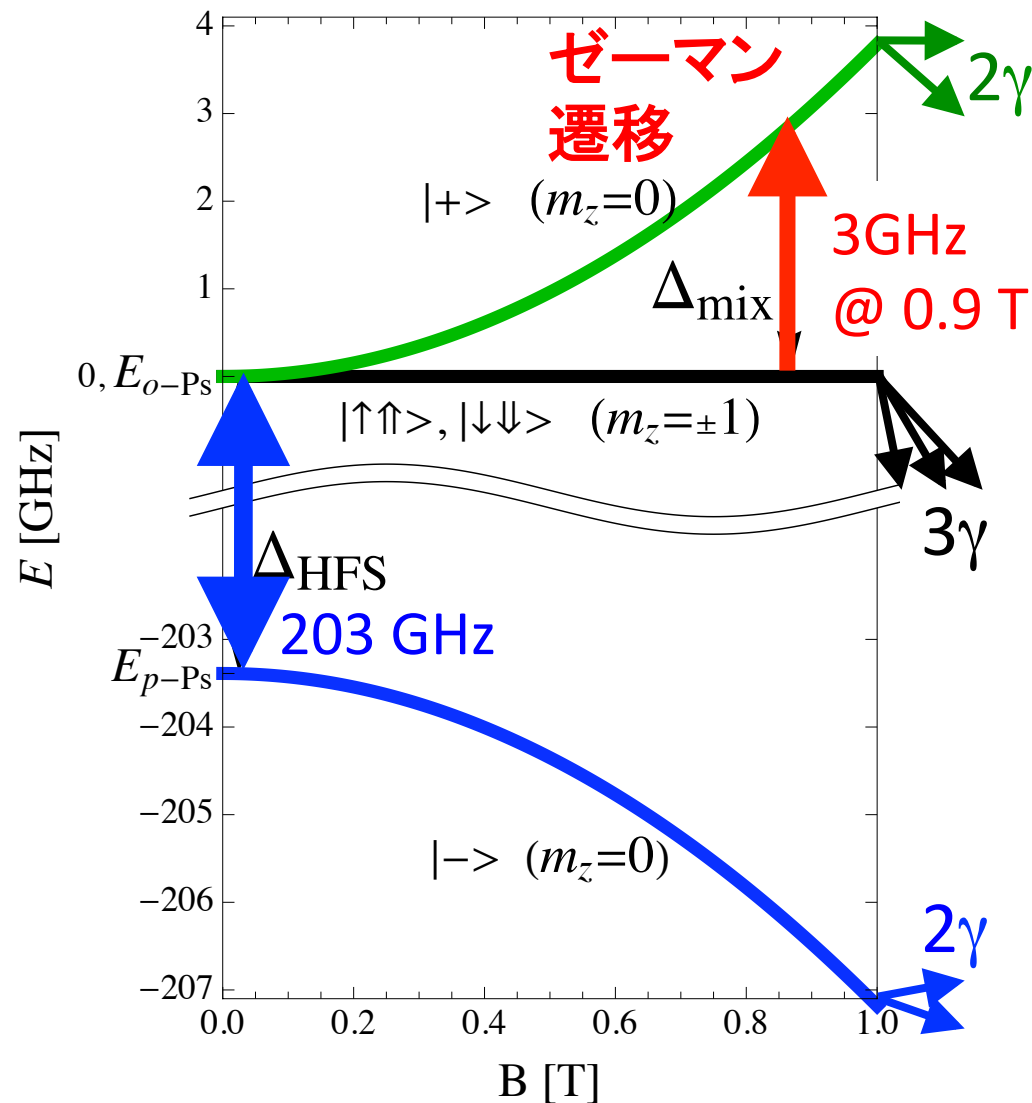
3GHz
ゼーマン分裂

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

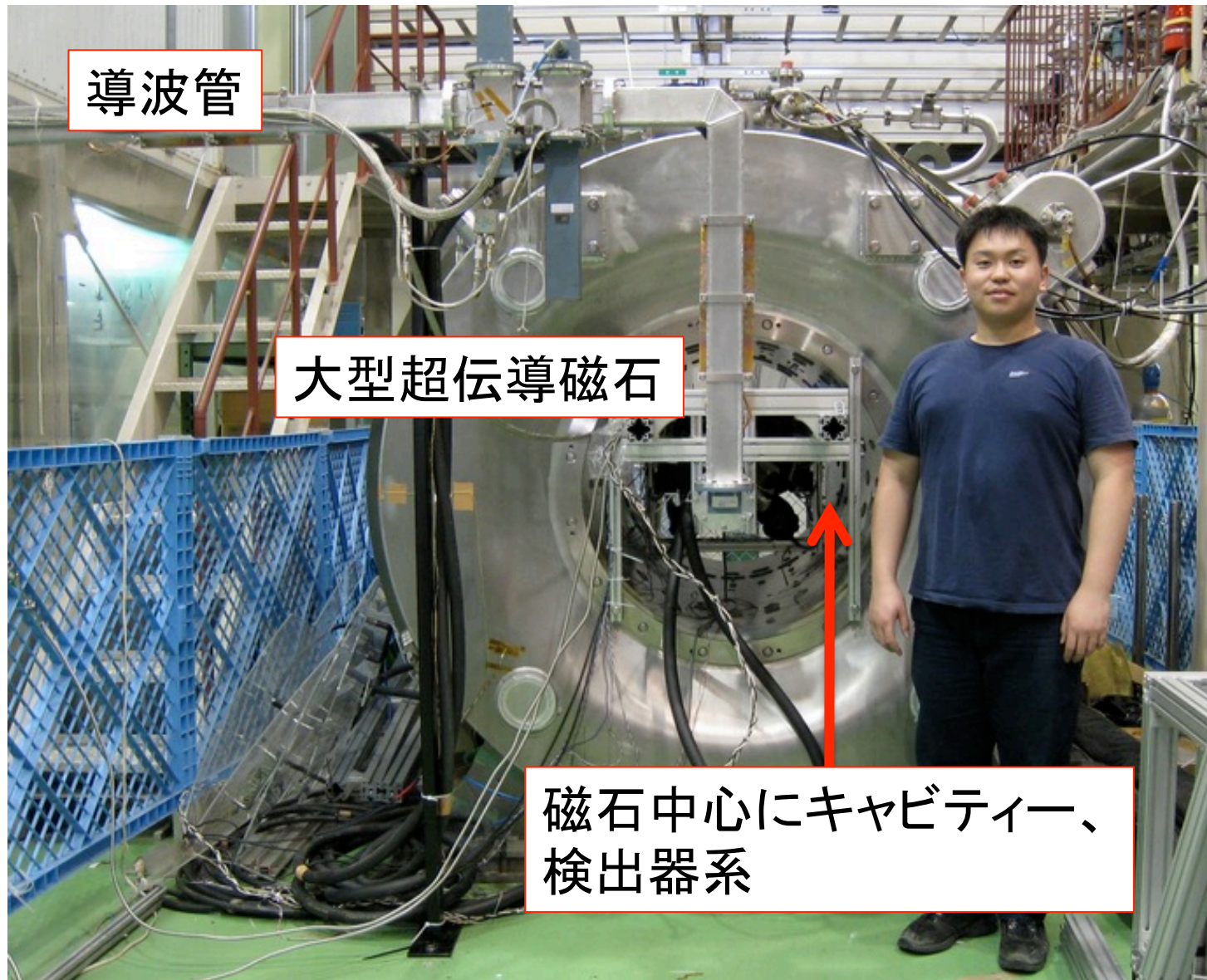


周波数が Δ_{mix} のマイクロ波を供給すると、o-Ps の $m_z=0$ と $m_z=\pm 1$ 成分の間で遷移が起こる。

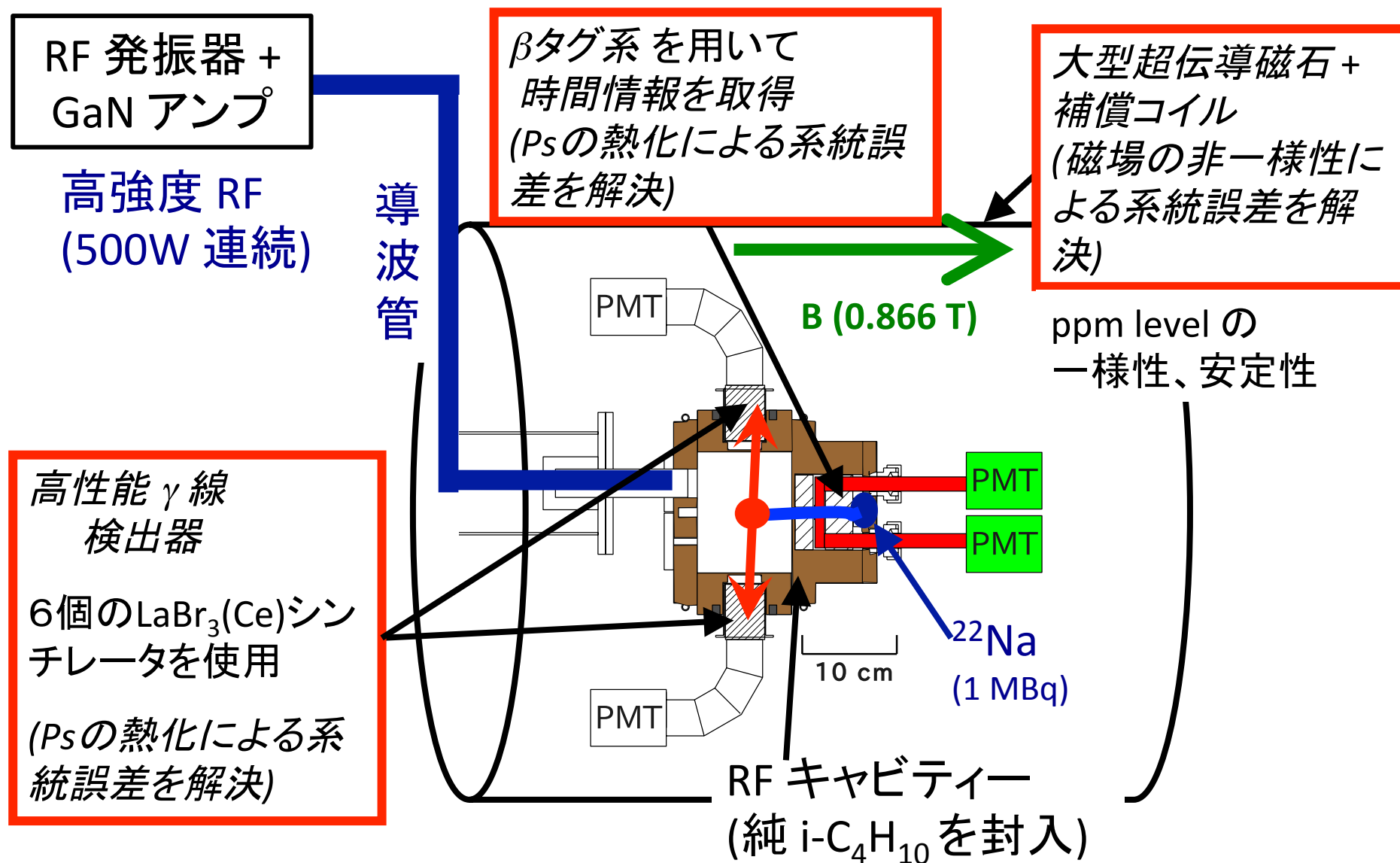
→ 2γ 崩壊(511 keV 単色) 率が大きくなる。
この崩壊率の変化が、実験のシグナルになる。

→ 過去の全ての実験と同じ方法

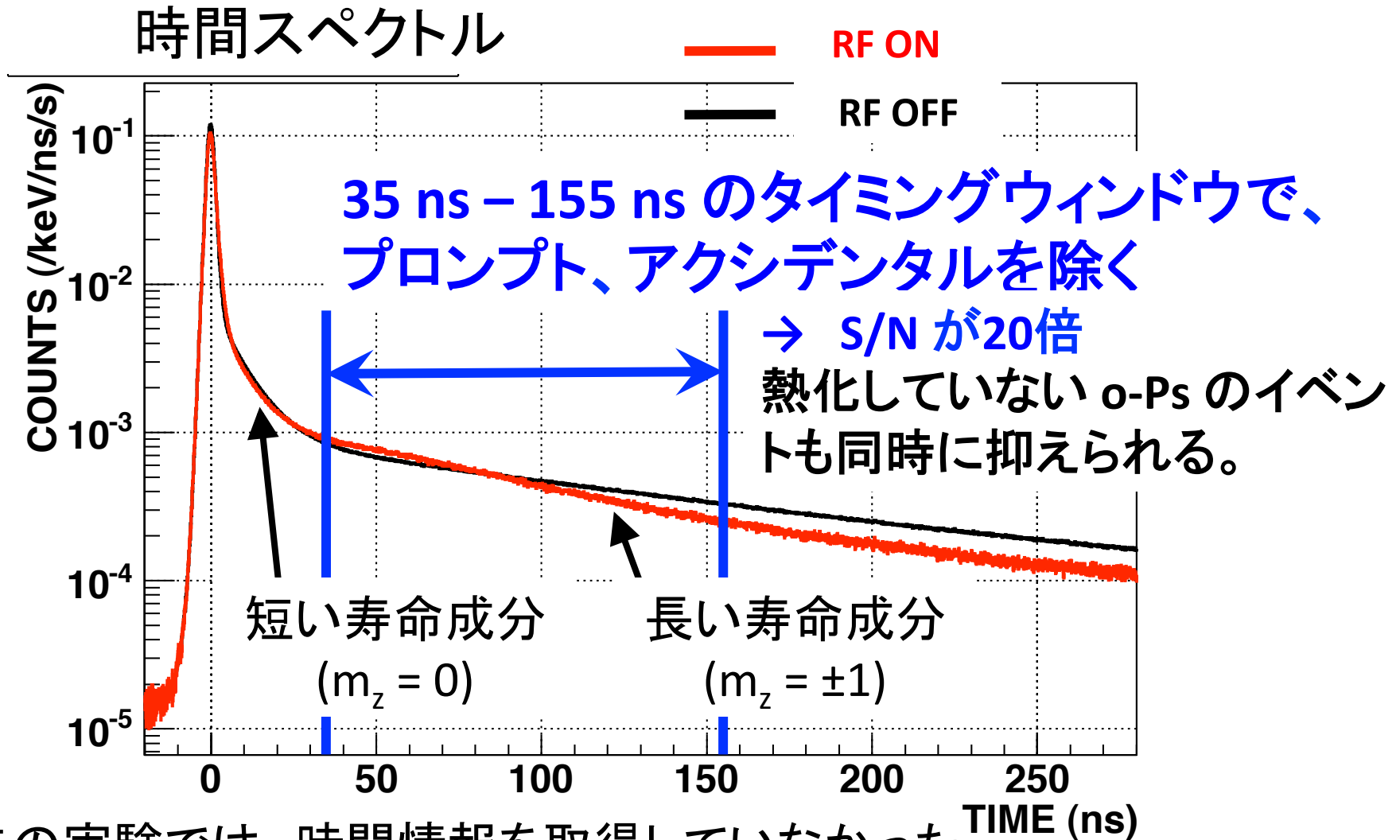
測定 @ KEK低温棟 平成22年7月～



我々の新しい実験セットアップ

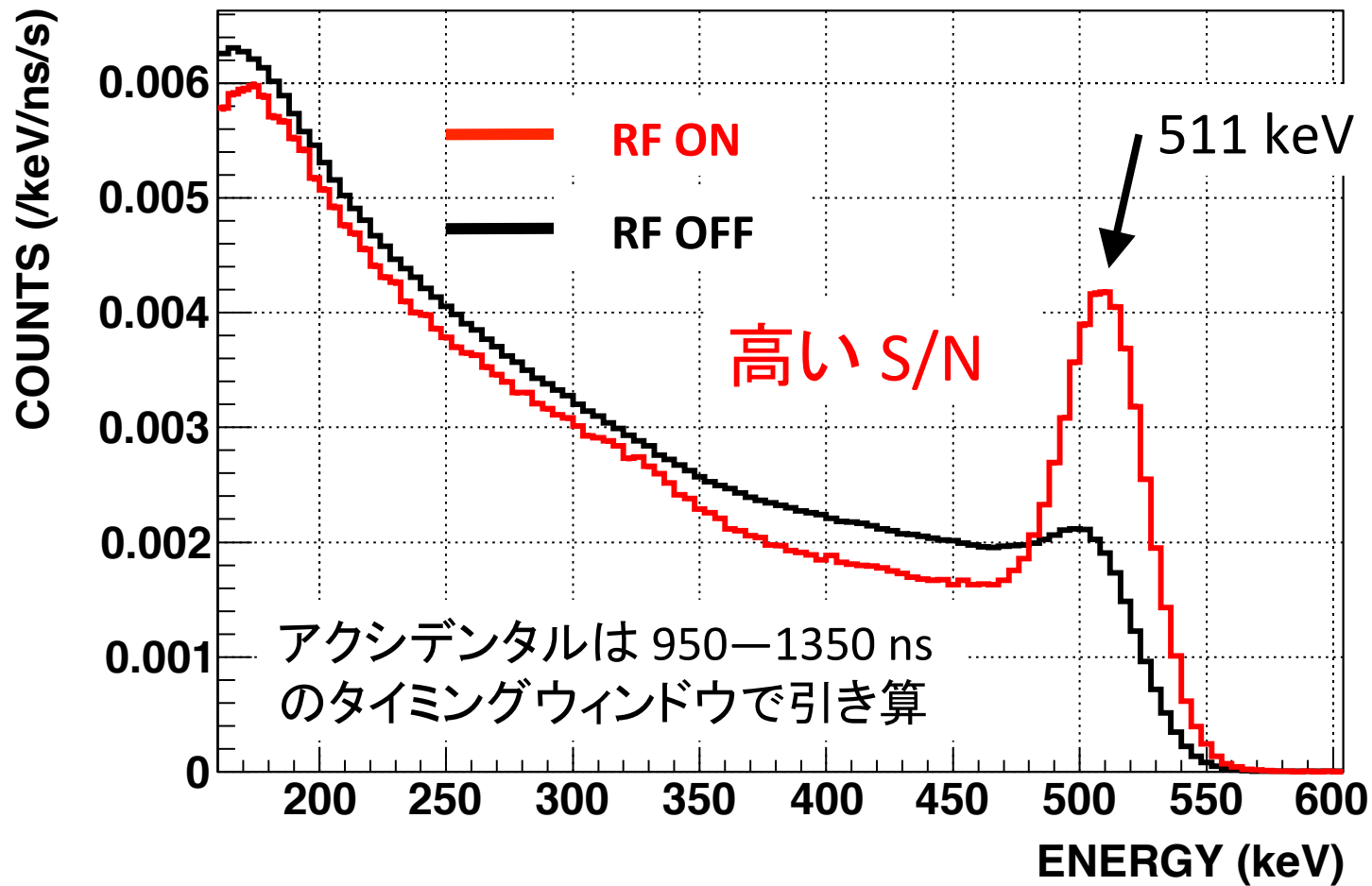


時間スペクトル



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。

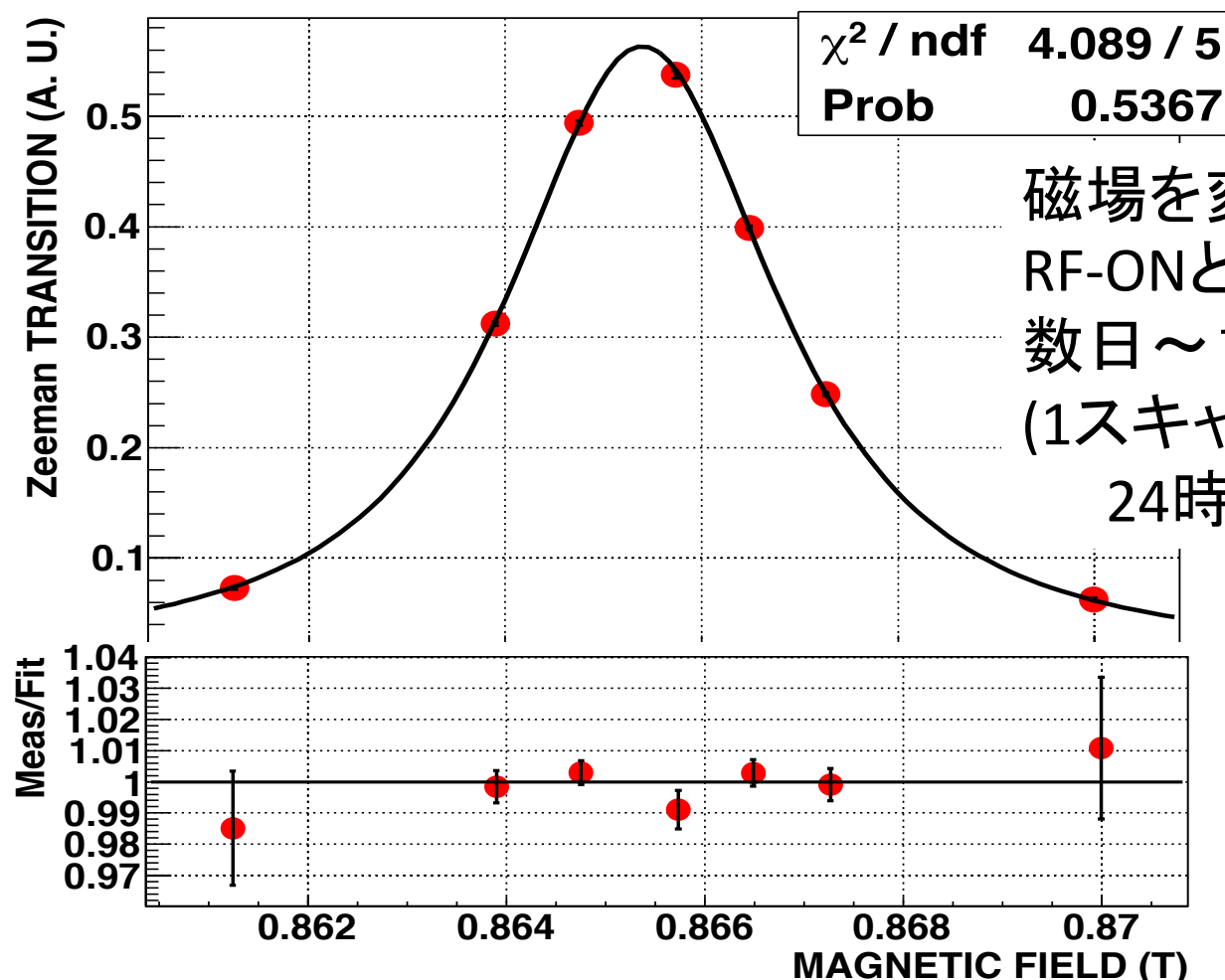
解析 (エネルギースペクトル)



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)

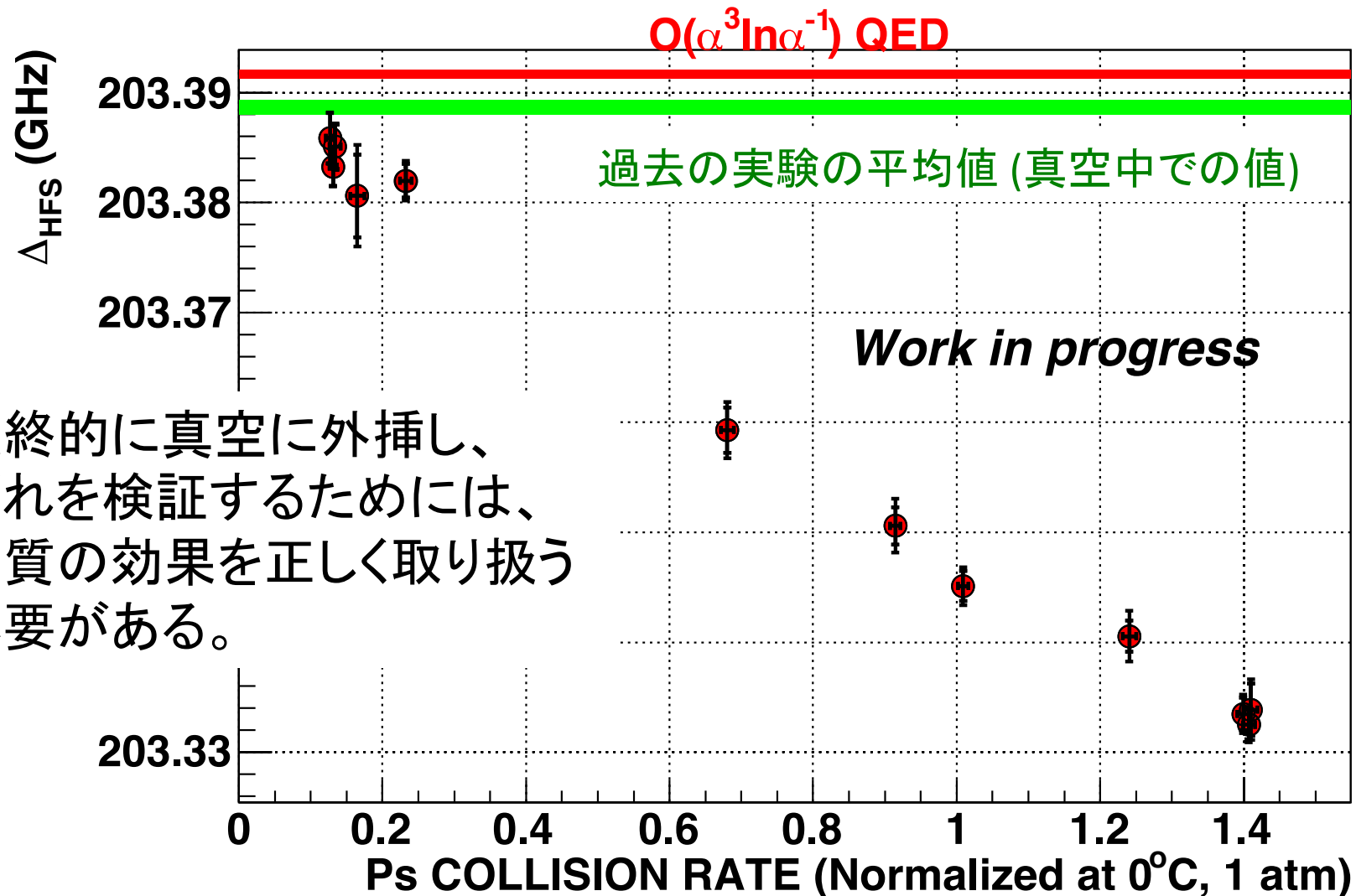
ハミルトニアン
から求めた
遷移曲線で
フィット

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

→ 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)



最終的に真空中に外挿し、
ずれを検証するためには、
物質の効果を正しく取り扱う
必要がある。

今後の展望

- 物質の効果：

- 熱化の効果を補正するため、別の実験で熱化関数を精密に測定している。
- 解析をほぼ完了し、現在、結果の精査中。

- 系統誤差：

磁場、RF系の誤差が主で、3 ppm 程度の見込み。
現在精査中。

- 統計誤差：

現在までに 5 ppm 以下を達成済み。

熱化も含めて 4 ~ 5 ppm 程度での最終結果は、
次回ご報告致します。

まとめ

ポジトロニウム超微細構造は、実験と理論の間に 3.9σ の有意なずれがあり、これを検証するため、新しい実験を行っている。

- 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。
- 物質の効果を正しく取り扱うため、 P_s 熱化関数の測定を行っている。現在、結果の精査中。
- 4 ~ 5 ppm 程度の結果となる見込みであり、鋭意精査中。