



石田明,<u>難波俊雄</u>,浅井祥仁,小林富雄 (東大素セ、理) 斎藤晴雄(東大院総合文化),吉田光宏,田中賢一,山本明(KEK) 平成25年12月6日 陽電子科学とその理工学への応用 @京都大学原子炉実験所





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。 <mark>熱化</mark>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



### 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起きる

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

→Ps速さ一定だと思うと、HFSはガス圧に比例してずれる



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 ∝周りの分子との衝突頻度 過去の実験では 一定という扱い

<PsがN<sub>2</sub>ガス中で形成された時の減速の様子(シミュレーション)>



## 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<sub>z</sub>=0成分と 混合する。(2γ崩壊). ゼーマン遷移させると、 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。

$$\Delta_{\text{mix}} を精密に測定し、 \Delta_{\text{HFS}}$$
  
を求める。  
$$\Delta_{\text{mix}} = \frac{1}{2} \Delta_{\text{HFS}} \left( \sqrt{1 + 4x^2} - 1 \right),$$
  
$$x = \frac{g' \mu_B B}{\Delta_{\text{HFS}}}.$$

## 測定 @ KEK低温棟 平成22年7月~平成25年3月



我々の新しい実験セットアップ







# 共鳴曲線

- RFの周波数、パワーを固定して、磁場でスキャン
- 50-440 ns を、11個のタイミングウィンドウに分け、全ガス圧・全磁場点・全タイミングウィンドウを理論式で同時フィット
- 熱化により、∆<sub>HFS</sub> 及び pick-off 崩壊率が時々刻々変化 (∝



(熱化の効果を入れないでフィットすると、203.392 1(16) GHz (10 ± 1 ppmズレる!)

	系統誤差	
	系統誤差の要因	大きさ (ppm)
物質の効果	o-Psの pick-off rate	3.8
	ガス密度	1.0
	ポジトロニウムの熱化	1.0
Γ	非一様性	3.0
磁場 -{ RF -{	補正と再現性	1.0
	NMR による磁場測定	1.0
	RFパワー	0.8
	RF キャビティーの Q <sub>L</sub> 値	1.1
	RF周波数	1.0
	Quadrature sum	5.4
統計誤差 8.0 ppm と合わせて、		
$\Delta_{ m HFS}$ = 203.394 1(20) GHz (9.7 ppm).		



まとめ ~第一部完~

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

- 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。
- 物質の効果を正しく取り扱うため、Ps 熱化関数の測定を行った。超微細構造が熱化によって時間に依存する効果も取り入れた。
- 熱化の効果が 10±1 ppm と大きいことが分かった。 この効果を入れると、 Δ<sub>HFS</sub> = 203.3941±0.0016(統計、8 ppm)±0.0011(系統、5.4 ppm)GHz という値が得られた。これは、 QED 理論値とは 1.2 標準偏差で無矛盾だが、過去の実験値とは 2.7 標準偏差乖離しており、 QED 理論値を favor している。

第二部へ向けて

#### <u>陽電子ビームを用いた真空中での測定</u>

#### (まだ数年先になりますが)

ガスを用いず、<u>真空中で</u>測定する。今の方法では、ガス由来の系統誤差が 大きく、たとえ統計を上げても、精度が十分でない。真空中で測定すれば、ガ ス密度に関して外挿しなくてよいので、統計精度も上げやすい。

ビームとしては、KEK低速陽電子ビームを考えている。ナノ秒オーダーでの バンチビームが使用できるので、時間情報を用いた測定が可能。熱したアル ミニウムなどにビームを当て、そこから真空中に出てくる Ps にマイクロ波を 印加して遷移させる。

