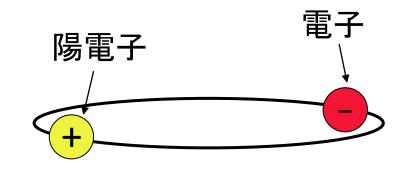
ポジトロニウム超微細構造の直接測定(概要と光学系)

山崎高幸,宮崎彬A,末原大幹,難波俊雄,浅井祥仁A, 小林富雄,斎藤晴雄B,立松芳典C,小川勇C,出原俊孝C

東大素セ,東大理A,東大総文B,福井大遠赤セC

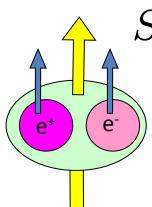
ポジトロニウム (Ps)



- 電子 e⁻ と陽電子 e⁺ が電磁相互作用により束縛された状態
 - 最も軽い水素様原子
 - 粒子と反粒子からなる系であり、対消滅に伴なう未知の素 粒子物理に対する感度が高い
 - レプトンのみからなる綺麗な系であるため、束縛系QEDの 精密検証に適している

ポジトロニウム(o-Ps, p-Ps)

• オルソポジトロニウム(*o*-Ps)

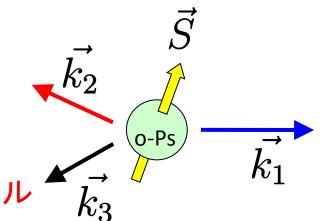


S=1 スピン3重項

o-Ps \rightarrow 3 γ (, 5 γ , ...)

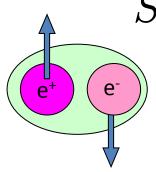
長寿命142nsec

連続的なエネルギースペクトル



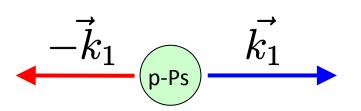
パラポジトロニウム(p-Ps)

S=0 スピン1重項

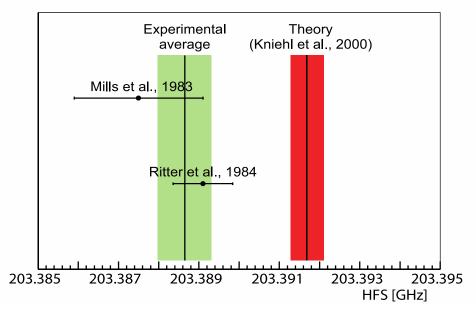


p-Ps → 2γ (, 4γ, ...) 短寿命0.125nsec

511keVのγ線2本をback-to-backに放出



ポジトロニウム超微細構造(Ps-HFS)



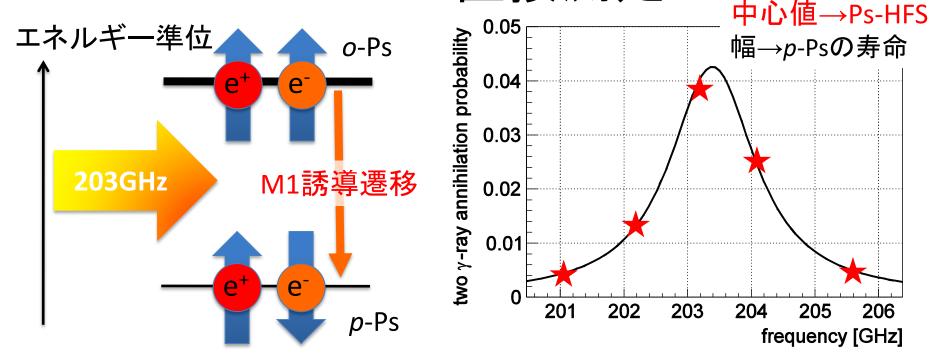
Exp.

203.388 65(67) GHz (3.3 ppm) $O(\alpha^3)$ QED calc.

203.391 69(41) GHz (2.0 ppm)

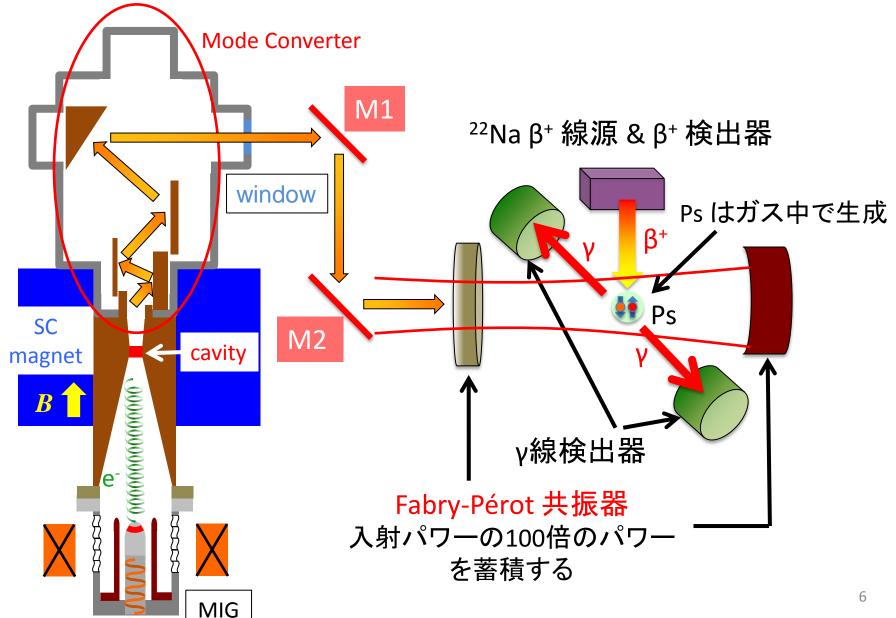
- 電子と陽電子のスピン・スピン相 互作用によって生じる、基底状態 のp-Psとo-Psのエネルギー準位差 203GHz = 0.84meV
- 過去の実験値と理論計算との間 に3.9 σ(15 ppm)のずれが存在
- 過去の実験はすべて静磁場によるZeeman分裂を用いた間接測定
 - 我々は異なる2つのアプローチで この問題の検証を行なっている
- 1. 高強度ミリ波を用いた初の直接 測定(このトーク&宮崎27pHF09)
- 2. 系統誤差を抑えた精密な間接測 定(石田27pHF10)

Ps-HFSの直接測定



- 直接203GHzの光を照射し、o-Ps→p-Psに誘導遷移させる
- p-Psは即座に(τ = 125ps)2γ崩壊するので、遷移事象は長寿命な2γ崩壊(単色511keV・back-to-backに放出される)という特徴を持つ
- M1遷移なので遷移確率が低く(o-Psの崩壊率より14桁小さい)、10kW 以上の高強度ミリ波が必要である。さらに、201~206GHz程度にわ たって周波数を変えて遷移測定を行う必要がある
 - → 新しいミリ波技術の開発による世界初のPs-HFS直接測定

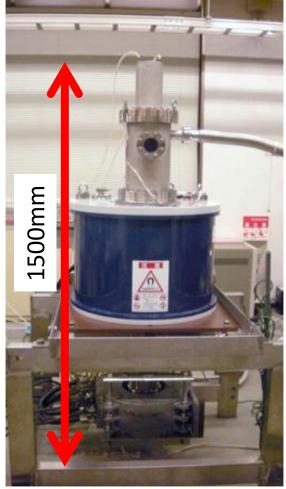
実験セットアップ全体像

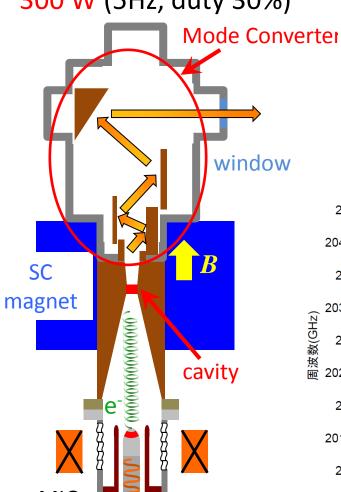


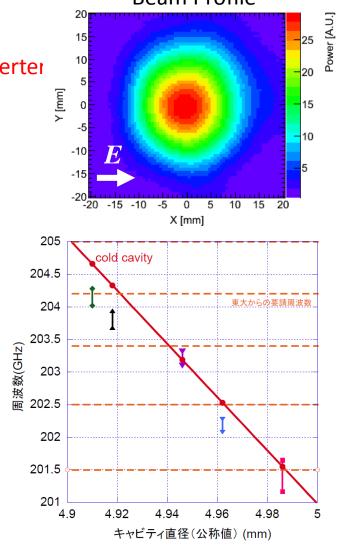
Gyrotron "FU CW GI"

内蔵キャビティーを異なる径のキャビティーに交換することで周波数を 201~206 GHz (線幅1MHz)の範囲で変化させる Beam Profile

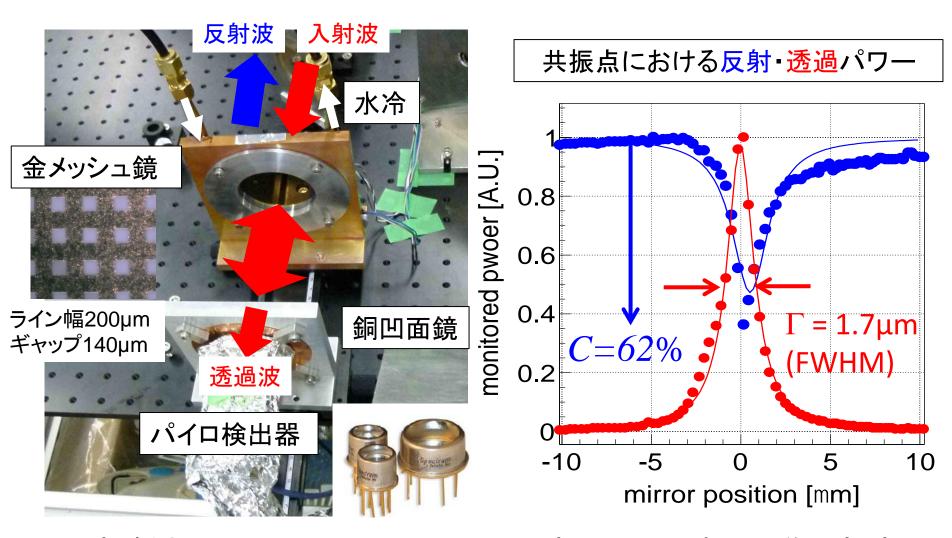
ガウスビームパワー 300 W (5Hz, duty 30%)







Fabry-Pérot 共振器



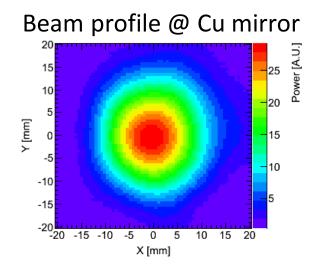
・ 共振鋭さ 「=1.7µm (Finesse 430) & 共振器へのパワー導入効率 C=62% → Gain = 85(入射パワー300Wなら <u>25kW</u> 蓄積!) ◎

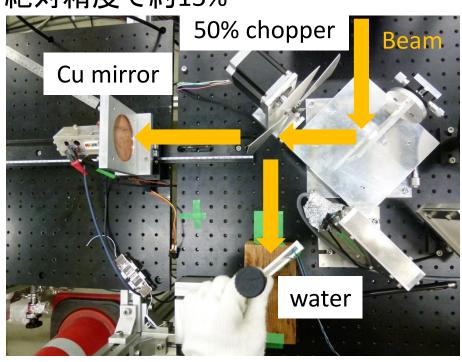
パワー測定

- 遷移量は蓄積パワーに(ほぼ)比例。パワーの相対精度が重要
- 実際には銅ミラーのφ0.6穴を透過してきたパワーに対するパイロ応答 V_{tr}[V] から蓄積パワーを評価。絶対精度で約15%

チョッパーで入射ビームを半分に 分け、同時に銅ミラーおよび水に 照射

→ パワー P_{in}[W] の入射ビームに 対する透過パイロの応答 V_{tr}[V] が得られる





銅ミラー位置に塩ビ板を置き、温度上昇を赤外線カメラで撮影することで入射ビーム形状を測定。Fabry-Pérot 共振器内部のビーム形状に補正

まとめ

- 新たなミリ波技術の開発により世界初のPs-HFS(203.4 GHz)の直接測 定を目指している
- Ps-HFS間の遷移はM1遷移であるため遷移確率が小さく、またo-Psの 寿命が短いため、観測可能な量の誘導遷移を起こすには10kWを超 える高強度ミリ波が必要
- 遷移曲線を測定し、その中心であるPs-HFSを測定するためには、201 ~206GHz程度の範囲にわたって周波数を変えて遷移量の変化を測 定する必要がある
- モードコンバータ内蔵のデマンタブル型ジャイロトロン FU CW G1 と Fabry-Pérot 共振器を組み合わせることで、20 kW 程度のパワーを蓄積できている。また、キャビティーの交換によりPs-HFSの測定に必要な 201~206 GHz の周波数が得られている
- 共振器内部に蓄積されたパワーを±15%程度の絶対精度で測定できている