サブテラヘルツ波を用いた ポジトロニウム超微細構造の測定

<u>山崎高幸</u>, 宮崎彬, 末原大幹^A, 秋元銀河, 難波俊雄^A, 浅井祥仁, 小林富雄^A, 斎藤晴雄^B, 漆崎裕一^C, 小川勇^C, 出原敏孝^C, S.Sabchevski^D

東大理,東大素セ^ヘ,東大総文^B,福井大遠赤セ^C,ブル ガリア科学アカデミー^D



- 磁場によるzeeman効果を用いた方法とは異なり、203GHzの光によって直接o-Ps→p-Psに誘導遷移させ、p-Psが2γ崩壊する事象数の増加によって遷移を見る
- 磁場による系統誤差がない
- 遷移曲線の幅から、p-Psの寿命(τ = 1/2πFWHM)も測れる
- 技術的に難しく、sub-THz領域での初の分光実験である

Ps-HFS 直接測定

- これまで直接遷移実験が行われなかった理由としては
 - M1遷移かつ準位差が大きいため、遷移確率は寿命にしてτ = 3x10⁷sと、o-Psの寿命(142ns)に比べて14桁も大きく、極めて 遷移しにくい
- → 十分な遷移量を得るには、Input powerが10kW程度で7GHz程 度の範囲で周波数可変性が必要であり、技術的に難しい
- 10 kWで遷移確率10% • こうした要請を満たす新しい annihilation probability 0.34 sub-THz技術を開発。具体的 0.32 には、周波数可変性を持つ 高出力なsub-THz光源として 0.3 ジャイロトロンを用い、さらに 0.28 Fabry-Pérot共振器によって 0.26 Ś パワーを増幅する 200 201 202 203 204 205 206 207 Frequency [GHz]

セットアップ



光学系

ジャイロトロン ビーム伝送 Fabry-Pérot 共振器

ジャイロトロン

- 電子銃から出た電子が電位差で 加速され、磁場に巻き付きながら 空胴共振器へ
- サイクロトロン運動の周波数Ω = eB/mγの整数倍sΩが空胴共振器 の共振周波数

$$\omega_{c} = \sqrt{\left(\frac{\chi_{mn}}{R}\right)^{2} + \left(\frac{l\pi}{L}\right)^{2}}$$

とマッチすると発振し、電子の回 転運動のエネルギーが周波数ω = ω_c = sΩの電磁波に変換される

(χ_{mn}はベッセル関数の導関数のn番目 のゼロ点J'_m(χ_{mn})=0、lは軸方向のモー ド数、Rは共振器半径、Lは共振器長)



ジャイロトロン

- 連続的な周波数可変性は、 gyro-BWOという方法で得られる。このタイプのジャイロトロン は現在動作試験を行っている 段階
- 今年の目標である遷移曲線 ピーク1点での遷移確認実験 では、周波数は203.23GHzで 固定だが、TE₀₃モードで350W (duty 30%)の安定出力が可能 なジャイロトロンを使用する



ビーム伝送

後述するFabry-Pérot共振器と効率よくカップルさせるために、
 円形導波管モード(TE₀₃)のジャイロトロン出力を効率よくガウ
 スビームに変換して伝送する必要がある



ビーム伝送

Sub-THz光を吸収体(PVC)に照射したときの温度上昇から求めたビームパワープロファイル

伝送後113W 導波管直後 330W E¹²⁰ 100 0.2 <u>ح</u> ب 80.0 Power 0.15 0.06 80 160 0.1 140 0.04 60 120 0.05 0.02 40 100 80 0 20 0 150 200 200 250 300 X [mm] X [mm]

- 35%の変換効率で(ほぼ)ガウスビームに変換できている
- 変換効率が低いのは、ジャイロトロン出力自体がモード混合によって乱れているため。現在開発中の周波数可変ジャイロトロンのモード出力を整えることでHFS本測定までに60%程度まで向上できると考えている(理論限界は80%)

Fabry-Pérot 共振器



- 透過波測定での共振ピークの鋭 さ(Finesse = A/2π = 647)から増幅 度A = 103が得られている
- ただし、203GHzガウスビームと共振器との結合はC=0.37±0.14程度であり、ロスが生じている



光学系まとめ

現在達成されているパワー(遷移確認実験でのパワー)および目標パワー

	現在値	目標値	改善ファクター
ジャイロトロン出力	350W	500W	1.4
伝送後のパワー	120W(x0.35)	300W(x0.6)	1.7
キャビティーと結合するパワー	50W(x0.40)	150W(x0.5)	1.2
蓄積パワー	5kW(x100)	15kW(x100)	1



 — 現在値での遷移曲線(遷移確率7.3%)

 — 目標値での遷移曲線(遷移確率15%)





1atmのイソブタン中でPsが生成され、そのうち203GHzビーム領域にあ るo-Psはp-Psにある確率で遷移する。p-Ps崩壊で放出される2γを LaBr₃(Ce)で検出する。Delayed coincidenceを取ることでプロンプト崩 壊イベントを除去してS/Nを向上させ、LaBr₃(Ce)のエネルギースペクト ルから遷移量を求める

現在のビームパフォーマンスで期待されるLaBr₃(Ce)のエネルギースペクトル

 シミュレーションの結果、Sub-THz光のON、OFFのイベント数の 差を取ることにより、現在のビームパフォーマンス(5kW、duty 30%)でも1ヶ月間(昼のみ)の測定でN = Non – Noff = (2.703±0.096)x10⁴が得られ、3.5%の精度で遷移確認が可能

Back-to-backに配置しているLaBr₃(Ce)の片方に511keV±3σを要求

ON – OFF を拡大



まとめと今後の予定

- これまで行われてきた磁場によるZeeman効果を利用したPs-HFS測定とは 異なり、初めて直接203GHzの光を照射することでPs-HFSを測定する
- 遷移曲線の幅からp-Psの寿命を直接測定することもできる
- 極めて遷移確率が低いため、ジャイロトロンおよびFabry-Pérot共振器からなる光学系を開発した。現在の装置で5kWの蓄積が可能である
- 現在の光学系でまずは今年中に1ヶ月程度の測定で遷移を確認する
- HFS本測定に向けて、周波数連続可変なジャイロトロンの開発および蓄積パワーの向上が必要
- さらに、測定精度を向上させるために

- 真空中に置いたMgO filmなどでPsを生成し、signalと同じkinematicsを持 つpick-offを取り除く

- 陽電子ビームを利用することで、203GHzビーム以外の領域でPsが生成 されたり、e⁺が消滅することによるバックグラウンドを減らし、かつシグナ ルレートを増やす

などといった方法を検討している