ポジトロニウム超微細構造の 精密測定実験における 熱化の影響の評価

東大理,東大素セ^A 佐々木雄一,石田明, 難波俊雄^A,浅井祥仁,小林富雄^A

第47回アイソトープ・放射線研究発表会 2010/7/8 日本科学未来館

ポジトロニウム超微細構造とは

ポジトロニウム(Ps)のエネルギー準位と超微細構造(HFS)

- e⁺e⁻束縛系の基底状態
 spin=1 : オルソポジトロニウム (o-Ps, 3γ崩壊, τ=142ns)
 spin=0 : パラポジトロニウム (p-Ps, 2γ崩壊, τ=0.125ns)
- o-Ps とp-Ps の間のエネルギー差 HFS = 203GHz (0.84meV) (c.f. H原子のHFS=1.4GHz)
- Spin相互作用に由来
 +高次の量子補正が効く

エネルギー準位



HFSの値は実験と理論で乖離している

- 過去の実験の平均で3.3ppmの 精度(Mills, Ritter, et al.)
- 理論はそれを後追いする形で、 O(α³)の精度(Kniehl et al., 2000)

(実験) = 203.388 65(67) GHz (3.3ppm) (理論) = 203.391 69(41) GHz (2.0ppm) <HFSの値>



ポジトロニウム超微細構造に対する熱化の影響

ポジトロニウムHFSに周囲の物質が与える影響

- Ps-HFSの第一項
 =電子陽電子のスピン-スピン相互作用
 →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の速度v)

→Ps速度一定だと思うと、HFSはガス圧に比例してずれる





圧力+熱化を含めた物質の効果がHFSへ及ぼす影響



イソブタン中での熱化を 測定する実験

どのようにしてポジトロニウムのv(t)を測定するか?

- o-Psの<u>pick-off</u>を用いて <pic 測定
- pick-offの量(t)
 = pick-offの断面積
 × 物質の密度
 × <u>o-Psの量(t)</u>
 × <u>v(t)</u>

v(t) pick-offの量(2γ崩壊) ∝ o-Psの量(3γ崩壊)



セットアップ(全体の様子)

- ・ タイミング:プラシンでス タート、Geでストップ
- シリカエアロゲルでe⁺を止 めてPsを作る
- ソース周りは真空容器に 入れてある
- ガス圧を変化させて測定 を行う





セットアップ(ガンマ線検出器)

- Ge検出器(Ortec GEM 38195-P-plus series)
- 2段階のthresholdによって遅い成分をカットし、
 時間の補正を掛けた

<シリカエアロゲル(0.03g/cc) + イソブタン(0.16atm)での測定の様子>



o-Ps、pick-off量の見積もり方



2γ/3γ比の様子

- 1ヶ月ほど測定を行い、2γ/3γ比を出した。
- イソブタン圧力が高いほど熱化が早く進む様子が分かる。



まとめ

ポジトロニウムのHFSはシュタルク効果によって変化する

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の速度v(t))

- 過去の実験では、Psの速度の変化(熱化)を考慮していな かった。
- イソブタンを用いたPs-HFS測定では熱化がO(ppm)程度効き 得る。この補正量は熱化パラメータから計算できる。
- 熱化パラメータの測定は、pick-offによる2γ崩壊の量を見ることによって行っている。
- 現在測定中。今後半年程度で、エアロゲル単体だけの測定、
 圧力を変化させた数点を出して測定を閉じたい。