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 精密測定II (設計した検出器とシグナルの見積もり) 東大理、東大素セ<sup>A</sup>、東大院総合文化<sup>B</sup>、福井大遠赤セ<sup>C</sup>、 ブルガリア科学アカデミー<sup>D</sup>

宮崎彬,末原大幹<sup>A</sup>,

石田明, 秋元銀河, 佐々木雄一 難波俊雄<sup>A</sup>,浅井祥仁, 小林富雄<sup>A</sup>, 斎藤晴雄<sup>B</sup>, 小川勇<sup>c</sup>, 出原敏孝<sup>c</sup>, 漆崎裕一<sup>c</sup>, S.Sabchebski<sup>D</sup>

> 日本物理学会 2009年秋季大会 @甲南大学岡本キャンパス

- 何を観測するのか?
- 設計した検出器
- ・シミュレーションにあたって考慮したイベント
  - –シグナル

– バックグラウンド

- Geant4によるSimulation
- Conclusion



- o-Ps(寿命142ns)がサブミリ波によってp-PS(寿命 125ps)に遷移
- p-Psは2γ崩壊
- サブミリ波が共鳴条件を満たすときと、そうでないとき で2γ崩壊と3γ崩壊の比を調べる

### 設計した検出器

### 検出器(1)全体像



#### 検出器(2)

- <sup>22</sup>Na (700kBq) e<sup>+</sup>
  - プラスチックシンチ レータ(100µm)でタグ
- ライトガイド
  - 光をPMTへ
- 鉛コリメータ
  - Cavity内へe<sup>+</sup>をコリ メート

• Vetoシンチレータ

• Cavityの4面を覆

ないe<sup>+</sup>をVeto





#### 検出器(4)

- Back-to-back selection
  - ・ 左右ともにγ線検出
  - バックグラウンドの除
     去に必要



# シミュレーションにあたって考慮 したイベント

シグナル(1)

- <sup>22</sup>Na線源から出たe<sup>+</sup>
   プラスチックシンチレータ を鳴らす
  - Veto用シンチレータを鳴 らさない
- Cavity内でo-Ps形成
   一確率: 20%×75%
- Cavity内のサブミリ波に よってp-Psに遷移
  - 生成したo-Psのうち、遷 移する<u>平均確率0.6%</u>



Couplingを加味したジャイロト ロン入力50W、 F=628を仮定

シグナル(2)

- p-Psに遷移後
   511keVの2γにback-toback崩壊
- LaBr<sub>3</sub>でback-to-backの
   511keV γ線を検出





# 3γ崩壊

- o-Psはそれ自身3γ崩 壊をする
- そのうち1つを片側
   で、もう2つを反対
   側の同じ検出器で
   検出した場合、2γ崩
   壊だと誤認
- Back-to-back
   +511keVのselection
   でも落とせないBGとなる



アクシデンタル(1)



- 線源rate 700kBq
- 162kHzで鳴る
- Timing window 200nsecを予定
- 確率3.2%でアクシデンタル発生

このe<sup>+</sup>によるpositroniumが 崩壊する前に、他のイベント のγ線が来るとアクシデンタ ルとなる

アクシデンタル(2)

- <sup>22</sup>Naから放出される 1275keVのγ線
- Cavity内に行かない
   e<sup>+</sup>のprompt崩壊
   511keVのγ線
- 2γと誤認



### Pick-off

- o-Psが物質と相互作用
   周りのe<sup>-</sup>とo-Ps中のe<sup>+</sup>が 対消滅(pick-off)
- サブミリ波による遷移と
   区別がつかない
  - 一確率はo-Psに対して平
     均3.5%
  - シグナルの5~6倍の バックグラウンド



#### Geant4によるシミュレーション

シミュレーションしたもの

- シグナルrateとバックグラウン ドrateを見積もる
- Event generation
  - 2γ崩壊するe<sup>+</sup>と1275keVのγ線
  - ガス中で3γ崩壊するe<sup>+</sup>と 1275keVのγ線
- 前者
  - シグナルの見積もり
  - Pick-offの見積もり
  - アクシデンタルの見積もり
- 後者

- 3γバックグラウンドの見積もり

 それぞれに各種の確率をかけ て最終的なrateとした



プラスチックシンチレータ しきい値20keVを予定

(例1) 2γ+1275keVのLaBr<sub>3</sub>スペクトル



黒のスペクトラムはLaBr<sub>3</sub>1つで検出されるエネルギー これにback-to-back+511keVのselectionとCavity内で停止する条 件を課し、o-Ps生成確率20%×75%をかけ、シグナルには遷移確 率0.6%、pick-offにはpick-off確率3.5%をかける。(図はシグナル)

(例2) 2γ+1275keVのアクシデンタル



β-tag用プラシンを鳴らさず、back-to-backの相手に511keV±1σを 要求。これにアクシデンタル発生確率3.2%をかける。



黒のスペクトラムは3γを1つのLaBr<sub>3</sub>で検出したもの Cavity内で停止したe<sup>+</sup>に対しback-to-backの相手に511keV±1σを 要求し、これにo-Ps生成確率20%×75%をかけ、3γ崩壊のバック グラウンドとする(赤いスペクトラム)



## Simulation結果 rate

	Accidental BG	3γ decay BG	Pick-off BG	Signal	S/N
確率	3.2%	20%×75%	20%×75%× 3.5%	20%×75%× 0.6%	-
rate	7.4×10 <sup>-3</sup> Hz	4.5×10 <sup>-2</sup> Hz	2.8×10 <sup>-2</sup> Hz	4.8×10 <sup>-3</sup> Hz	6.0×10 <sup>-2</sup>
10 <sup>6</sup> sec	7.4×10 <sup>3</sup>	4.5×10 <sup>4</sup>	2.8×10 <sup>4</sup>	4.8×10 <sup>3</sup>	-

S/Nは悪いが、 ジャイロトロンのduty比50%→ON/OFFが常に切り替わっている →ONとOFFの差をとることで シグナルが見える

サブミリ波ONとOFFの差 difference between ON and OFF ວ 2500 ອິງ 2001 Live time 10<sup>6</sup>sec程度 1ヶ月の測定で統計 的に有意にシグナル **/ 8keV** 1500 が見えることが期待さ れる Counts / 1000 500 0 350 450 500 550 400 600 energy deposit [keV]

### Conclusion

- o-Psからp-Psへと遷移し、2γ崩壊した事象を検
   出するDetector配置を設計している
- Simulationで遷移を検出するrateを評価した
- LaBr<sub>3</sub>シンチレータの高いエネルギー分解能に加え、Back-to-backを配置をとることで観測が出来ると期待できる
- ・実機製作,光量テストをこれから行う
- ・11月から第一回目測定を目指している

#### BACKUP



検出器(別サイドから)



アクシデンタル(4)

- Cavity内で停止しな いe<sup>+</sup>
- o-Psを形成せず prompt崩壊
- ・ Veto用プラスチックシ ンチレータを鳴らす
- Vetoをかけることが 出来るので、アクシ デンタルには寄与し ない



アクシデンタル(5)

- e⁺がCavity内へ向かう イベントが連続して起 きる
- 2つ目がo-Psを形成 せずprompt崩壊
- β-tag用プラスチックシンチレータが鳴った後
   200nsec以内に次イベントが鳴った場合イベントを捨てる



エレキで取り除くので
 アクシデンタルには寄
 与しない

### Simulation (2) some plots プラスチックシンチレータ





#### Simulationで調べたこと

- ・観測には大きく分けて2つの方法
  - Back-to-back で2-γを確実にtag
  - Off-line analysisで511keV周囲をカット
  - アクシデンタルと3γのBGをどれだけ落とせるか?
- LaBr<sub>3</sub>の高いエネルギー分解能が鍵

