# オルソポジトロニウムを用いた 短寿命スカラー粒子の探索

大和田健太、森永真央、難波俊雄<sup>A</sup>、浅井祥仁、小林富雄<sup>A</sup> 東京大学理学系研究科、東京大学素粒子物理国際研究センター<sup>A</sup>

2011年12月3日 京大原子炉実験所専門研究会 「陽電子科学とその理工学への応用」

## 1. HFSのずれと未知粒子の可能性

PsのHFSの値は実験と理論で乖離している可能性がある。

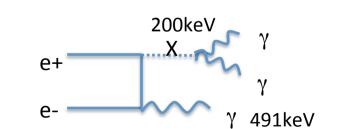
→未知粒子が存在する可能性

質量が1MeV以下の短寿命未知粒子が存在した場合、o-Psの崩壊におけるエネルギースペクトルにピークができる。

ブランチ比のupper limit :  $\Gamma(o-Ps \rightarrow \gamma X)/\Gamma(o-Ps \rightarrow 3\gamma) < 3.0 \times 10^{-4}$  (Phys. Let. B 323(1994)90-94 S.Asai, et al.)



ピークサーチによって未知粒子を探索する

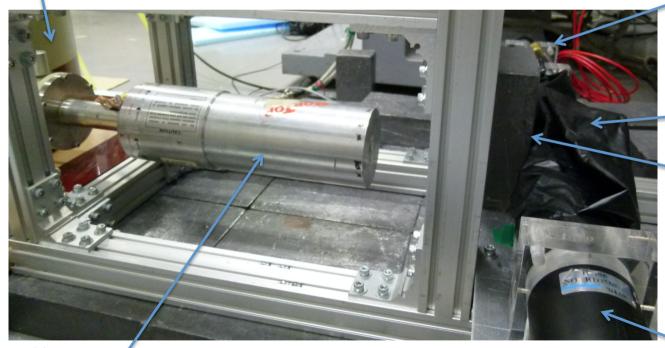


Ex.)未知粒子Xの質量が200keVのときの崩壊

## 2.1検出器

エネルギースペクトルのピークを探すため、 分解能の良い半導体Ge検出器を用いる

液体窒素タンク



奥にPMT(R329)

Psアセンブリー

コリメータ(Pb):100×200×50mm

Ge検出器

(Ge結晶: φ60.3×67.4mm、シリンダー:φ80×270mm)

PMT(R329)

## 2.2 Ps アセンブリー

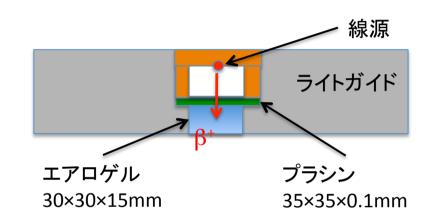
- <sup>22</sup>Na(380kBq)線源でβ+を生成する。
- プラスチックシンチレータでβ+をタグし、 Psの生成時間を求める。



Ge検出器とdelayed coincidenceをとり、o-Psのeventを選択する

- ・ 窒素ガスで満たしたエアロゲル中で o-Ps を生成
- ライトガイドで左右のPMTまでのばす
- 2つのPMTでcoincidenceをとる事により、 β+を確実にタグする。

線源周りの断面図(Ge検出器側から見た)



#### 線源周りの写真



## 3. 測定

・約12日間の測定を行った。

(現在より検出効率の低いセットアップで以前に1ヶ月間測定した。 最終結果は2つの結果を合わせたもの。)

- 線源 <sup>22</sup>Na: 380kBq
- プラスチックシンチレータとGe 検出器を幅2μsでコインシデンスをとってトリガーをかける。

trigger rate 270Hz

- 2.7×108eventを得た。これにセレクションをかける

## 4.1 イベントセレクション

Slow rise time cut : Ge検出器の電場の非一様性による立ち上がりの遅い 信号をカットして、タイミングを正確に求める。

### Delayed coincidence :

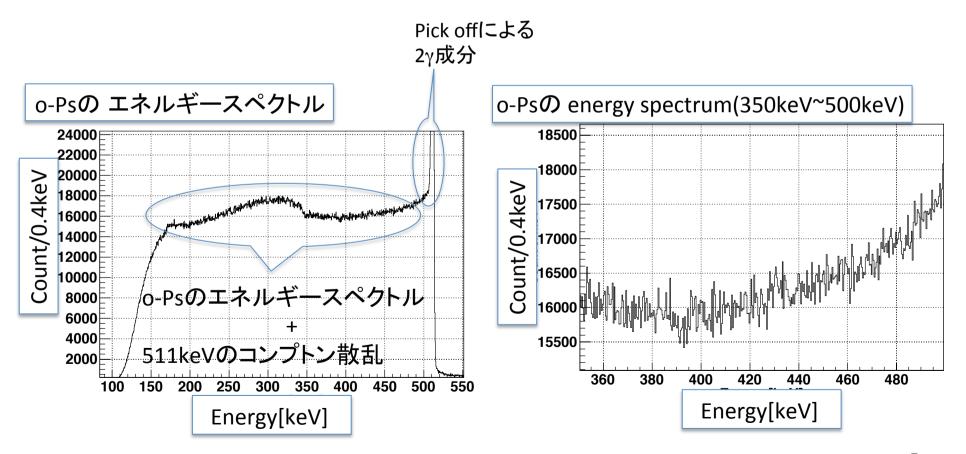
プラスチッックシンチレータと Ge検出器のdelayed coincidence (50ns~800ns)とり、o-Psのイベントを 選択的に選ぶ

Delayed coincidence領域 と accidental 領域のエネルギースペクトルの引き算によってo-Psのエネルギースペクトルを得る

## 360keV~500keVのイベントのタイミングスペクトル delayed coincidence 50ns~ 800ns 10<sup>4</sup> accidental Count/ns 800ns~1600ns 10<sup>3</sup> $10^{2}$ Time[ns] 寿命: 129.8 +/- 0.3 ns 窒素ガス中の寿命とコンシステント

## 4.2測定されたスペクトル

Delayed coincidence : 50ns ~ 800ns



# 4.3 ピークサーチ(1)

1MeV 以下の未知粒子が存在した場合、スペクトルにピークが出来る。



**フィッティング**によってピークを探す。

未知粒子への崩壊 e+ X Y<sub>1</sub> e- Y<sub>2</sub>

未知粒子とともに出てくるγ線(γ<sub>3</sub>): 単色のため狭い範囲をフィットして探す。 こちらを探索する。

未知粒子が崩壊してでてくるy線(y1、y2):

未知粒子Xが運動しているため、ドップラー効果によりスペクトルが広がり γ<sub>3</sub>を使うより感度が落ちる。

# 4.4 ピークサーチ(2)

未知粒子とともに出てくるγ線の探索

エネルギースペクトルの260keV~506keVまでを探索する (質量716keV~101keV)

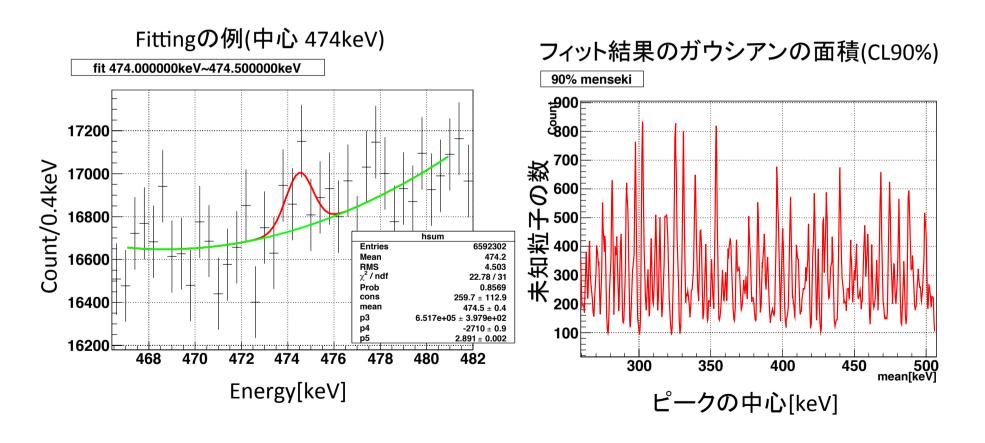
ピークの中心から+/-7keVの範囲を

$$C_1 \exp\left(-\frac{(E-mean)^2}{2\times\sigma^2}\right) + C_2 + C_3 \times E + C_4 \times E^2$$
 でフィット。  
ピークの形はガウシアンを仮定 o-Psのスペクトルを 2次関数で近似

σは中心のエネルギーに対するGe検出器の分解能で固定。 中心は0.5keVの範囲内で動けるようにしてフィットする。

# 4.5 フィット結果

260keV~506keVまでのフィット結果(未知粒子の質量716keV~101keV)



## 4.6 peakの検出効率

フィット結果のガウシアンの面積とGe検出器の検出効率を用いて 生成された未知粒子の数を求める。

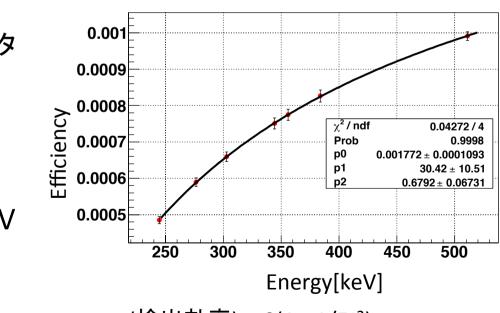
### Ge検出器の検出効率

<sup>68</sup>Ge、<sup>133</sup>Ba、<sup>152</sup>Eu線源での実測データ から求めた(右図)

### 検出効率

(4.850 +/- 0.097)×10<sup>-4</sup> @ 244keV (8.26 +/- 0.16)×10<sup>-4</sup> @ 384keV (9.91 +/- 0.12)×10<sup>-4</sup> @ 511keV

#### Ge検出器の検出効率(実測)



(検出効率)=p0(1-p1/E<sup>p2</sup>)

# 4.7 生成されたo-Psの数

### o-Psの量の求め方

- o-Psのスペクトルの400keV~500keV (コンプトンフリー領域)の数を求める
  3.4×10<sup>6</sup>event
- 1.で求めた数とGe検出器の検出 効率を用いて、400keV~500keV の生成されたo-Psの量を求める

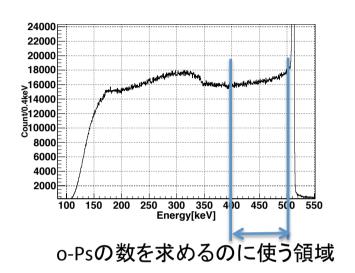
$$\int_{400}^{500} \frac{Count(E)}{3 \times Efficiencty(E)} dE = 1.2 \times 10^{9}$$

3. 400keV~500keVのo-Psの量から 全体のo-Psの量を求める

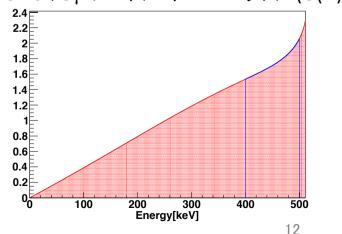
$$1.2 \times 10^8 \times 2.9 = 3.5 \times 10^9$$
 event

右図の赤色部分と青線で囲まれた部分の面積比

o-Psのエネルギースペクトル



o-Ps $\rightarrow$ 3γのエネルギースペクトル(O( $\alpha$ ))



## 4.8 結果

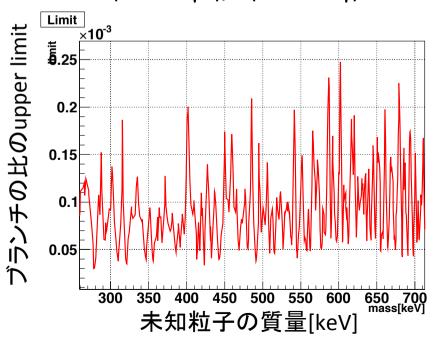
質量 101keV~716keVに対する未知粒子崩壊と3γ崩壊の ブランチの比に対するupper limit (CL 90%)

12日間測定したデータに対する結果 Γ(o-Ps→γX)/Γ(o-Ps→3γ) < 2.9 × 10<sup>-4</sup>(質量660keV)

1ヶ月間測定したデータに対する結果 Γ(o-Ps→γX)/Γ(o-Ps→3γ) < 4.1 × 10<sup>-4</sup>(質量602keV)

#### 2つを合わせた結果

 $\Gamma(\text{o-Ps}\rightarrow\gamma\text{X})/\Gamma(\text{o-Ps}\rightarrow3\gamma)$  < 2.5 × 10<sup>-4</sup>(+系統誤差 5%)



#### 系統誤差

- ・ Ge検出器の検出効率 : 5%
- バックグラウンドの仮定: バックグラウンドの仮定は調査中
- o-Psの量: 1%以下

## まとめ

• PsのHFSのずれは未知粒子の存在によって説明することができ、エネルギースペクトルを測定することによって、質量が1MeV以下の短寿命未知粒子の探索を行う

• 現在の結果 Γ(o-Ps→γX)/Γ(o-Ps→3γ) < 2.5 × 10<sup>-4</sup>(+系統誤差3%) (質量101keV~706keV)

・ 1年の測定で統計を増やし精度をあげる