オルソポジトロニウム崩壊におけるガンマ線スペクトル測定

<u>大和田健太</u>、森永真央、難波俊雄^A、浅井祥仁、小林富雄^A

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^A 日本物理学会 2012年春季大会

関西学院大学

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

特に短寿命未知粒子は弱い制限しかついていない

ブランチ比(Г(o-Ps→γX)/Г(o-Ps→3γ))に対する既存のupper limit

質量30keV~300keV: 3×10⁻⁴ (Phys. Let. B 323(1994)90 S.Asai, et al.)

300keV~900keV : 1.5×10⁻⁴ (Phys. Let. B 236(1989)81 M.Tsuchiaki, et al.)

質量が1MeV以下の短寿命未知粒子

───→ スペクトルにピークができる

未知粒子とともに出てくる単色のγ線(γ₃)を探す。 (γ₁、γ₂はドップラー効果によりスペクトルが広がり感度が落ちる)



Ex.)未知粒子Xの質量が200keVのときの崩壊

単色のγ線を探すため、分解能の良い半導体Ge検出器を用いて、 10⁻⁵のオーダの制限をつけることをめざす。

2.1 検出器



中にPsアセンブリー

Ge検出器の性能

エネルギー分解能(FWHM): 1.305+/-0.002 @ 356keV PMT(R329)

2.2 Psアセンブリ



- ²²Na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 してPsの生成時間を求める。



- ・ 窒素ガスで満たしたエアロゲル中で o-Psを生成
- 線源をプラシンから離してコリメートする ことにより、線源から直接Ge検出器に 入らないようにした

3. 測定

• 約90日間の測定を行った。

- 線源²²Na: 340kBq

- 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。
 (プラスチックシンチレータとGe検出器のエネルギーと時間情報を取得)
 trigger rate 210Hz

- 1.6×10⁹event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



4.2 ピークサーチ

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。 未知粒子とともに出てくるγ線(γ₃)を, 狭い範囲をフィットして探す。



探索範囲: 245keV~506keV (質量737keV~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。
ビーク

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。

4.3 フィット結果

245keV~506keVまでのフィット結果(未知粒子の質量737keV~101keV)



0からのずれは最大で3.5σ

4.4 検出効率とo-Psの数

Ge検出器の検出効率: Ge検出器の検出効率は⁶⁸Ge、¹³³Ba、¹⁵²Eu線源 での実測データから求めた。

生成されたo-Psの量:

1. o-Psのスペクトルの400keV~500keVの数

2.5×10⁷event

1.の数と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

 $\int_{400}^{500} \frac{Count(E)}{3 \times Efficiency(E)} dE = 9.0 \times 10^9$

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

9.0×10⁹×2.9=2.6×10¹⁰event 右図の赤色部分と青線で囲まれた部分の面積比



4.5 結果

質量 101keV~737keV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%)

Γ(o-Ps→γX)/Γ(o-Ps→3γ) < 1.5 × 10⁻⁴(系統誤差 6%を含む)



101keV~300keVの範囲:既存のlimitを約3倍更新できた 300keV~737keVの範囲:既存のlimitに並ぶことができた (このlimitをHFSのずれに焼き直すのは現在研究中)

6.今後

1.1MeV以下の未知粒子(101keV~737keV)

約90日間の測定で過去の制限を超えることが出来た さらに90日間の測定を行い、10⁻⁵のオーダの制限を目指す 得られたlimitをHFSのずれに焼き直す

2.1MeV以上の未知粒子

1MeV以上の未知粒子が存在した場合は、スペクトルの全体が歪む スペクトルの精密測定により、探索を行う。

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、短寿命未知粒子の探索を行っている
- ピークサーチによって1MeV以下の未知粒子を探索し、 CL90%での現在のupper limit は Γ(o-Ps→γX)/Γ(o-Ps→3γ) < 1.5 × 10⁻⁴(系統誤差6%を含む) (質量101keV~737keV)
- エネルギースペクトルの精密測定によって1MeV以上の未知粒子を探索する。