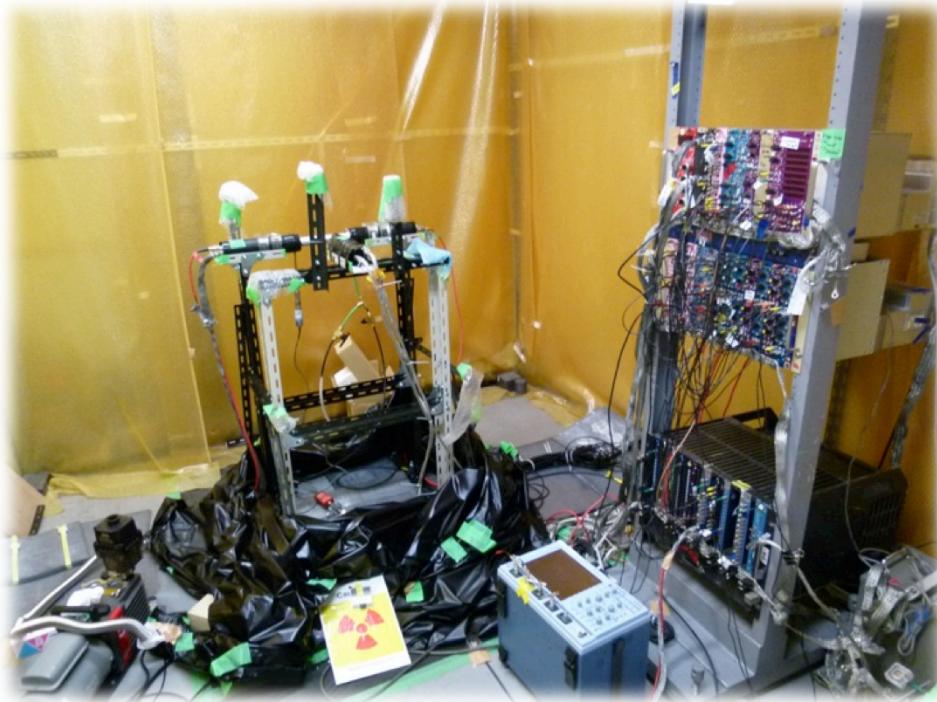


オルソポジトロニウム崩壊ガンマ線 のエネルギースペクトル精密測定



安達俊介, 山道智博, 石田明, 難波俊雄^A, 浅井祥仁, 小林富雄^A
東大理, 東大素セ^A

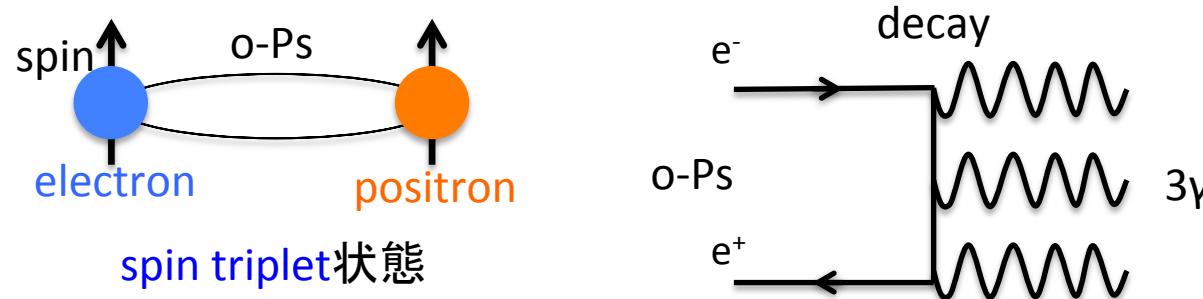
平成25年9月20日 日本物理学会2013年秋季大会@高知大学

目次

- ❖ イントロダクション
- ❖ 実験セットアップ
- ❖ Background の除去
- ❖ MCスペクトル
- ❖ 実測スペクトル
- ❖ まとめ

イントロダクション

オルソポジトロニウム(o-Ps)

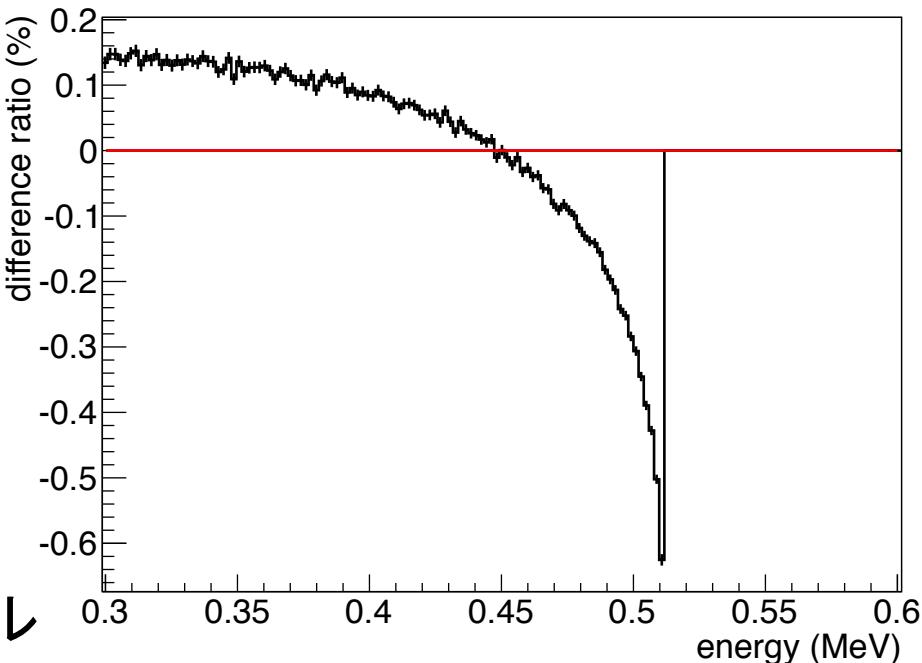
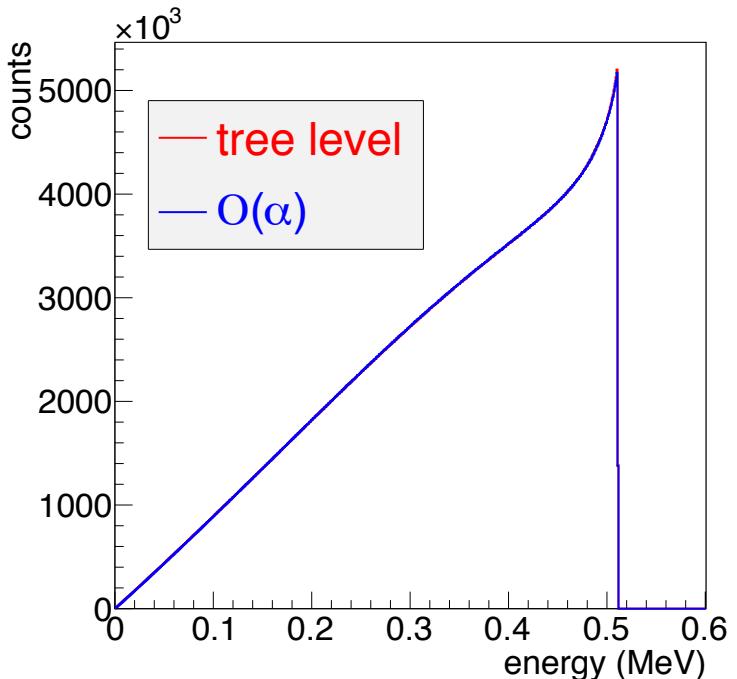


o-Psは3本の γ 線に崩壊し、連続スペクトルになる。

- o-Psの崩壊 γ 線のエネルギースペクトルで $O(\alpha)$ の精度でのQEDの検証は未だに行われていない
- HFSで理論と実験でずれの可能性
→Psにnew physicsがあるかもしれない

o-Ps崩壊起源の γ 線のエネルギースペクトルを精密に測定して $O(\alpha)$ の精度でQEDの精密検証を行う

o-Ps 崩壊 γ 線エネルギースペクトル (理論)

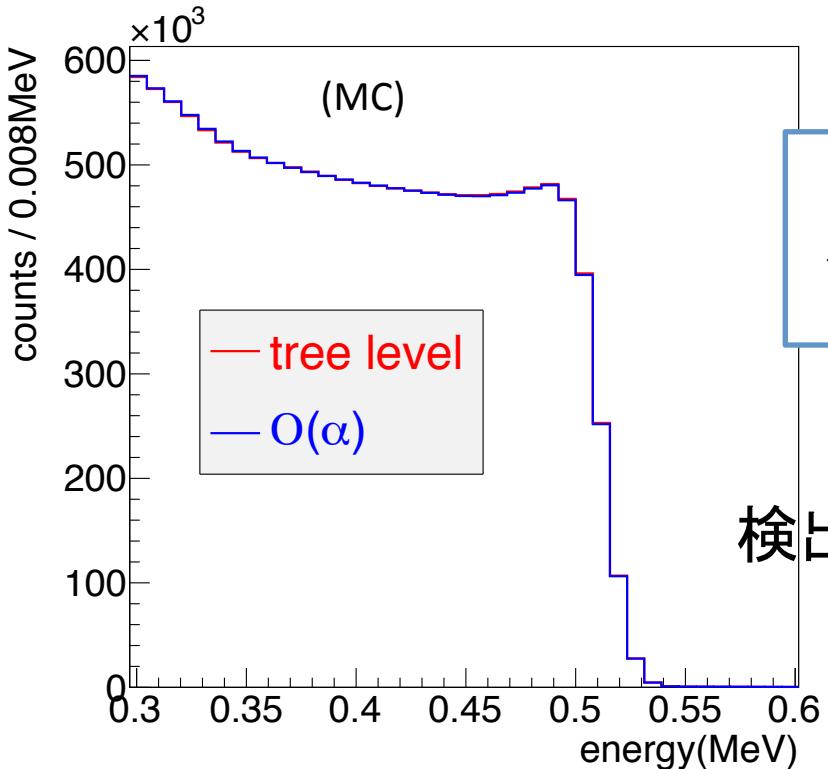


2種類のエネルギースペクトル

- (1) tree level の効果
- (2) O(α) の効果

0.5MeV付近の差の割合
([O(α)] – [tree level])
最大0.6%程度 O(α) が少ない

検出器のレスポンスによるエネルギースペクトルの変化(MC)



* 検出器については後述

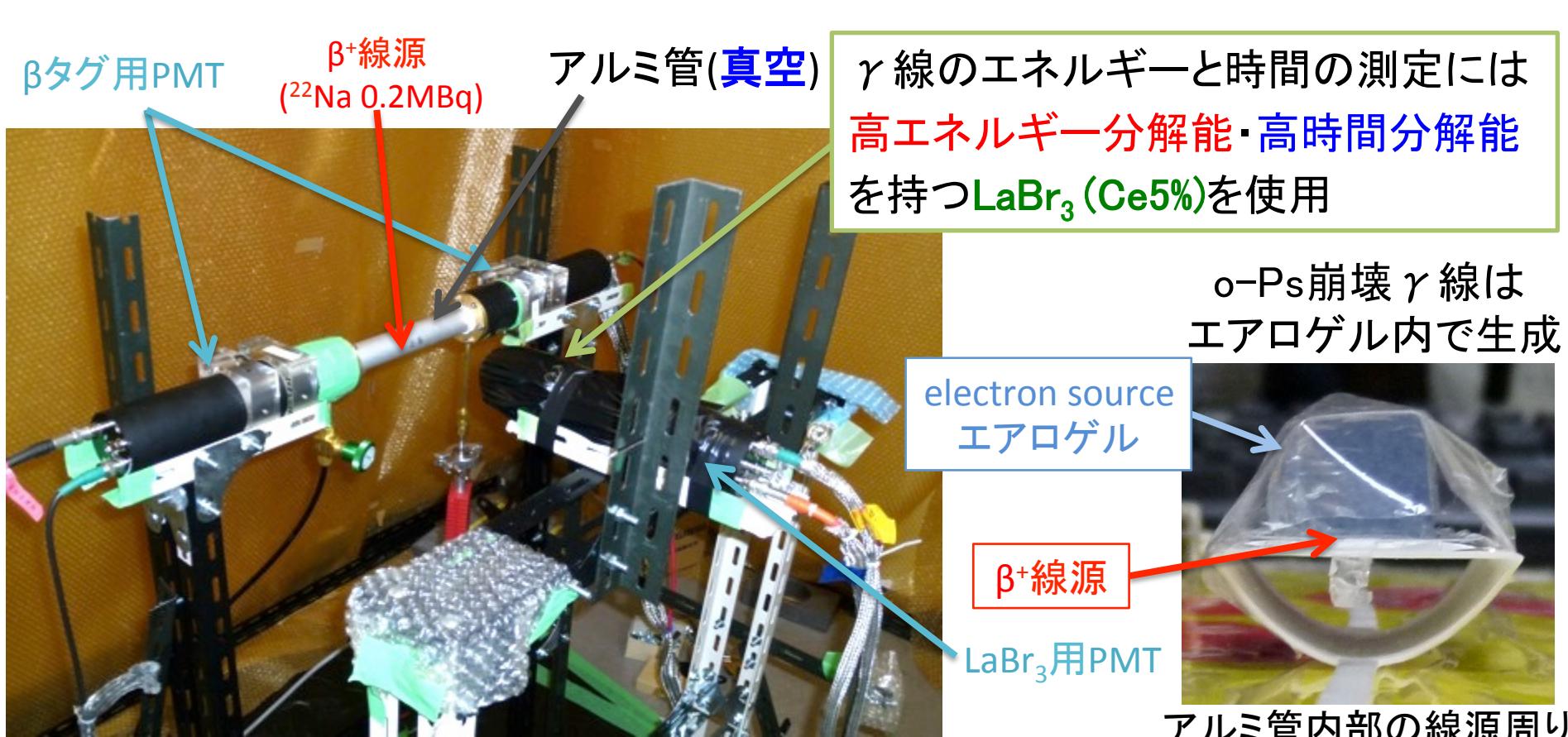
検出器のsmearの効果と
周囲の物でのコンプトン散乱の寄与で
0.5MeVより低エネルギー側が増加

MCで左図のような
検出器のレスポンス込みのMCスペクトル
をtree level と $O(\alpha)$ で求め
実測スペクトルと比較する

実測とMCとの比較には、
0.40～0.53MeVの領域を用いる

実測スペクトルと
MCスペクトルの
両方の精度が必要

実験セットアップ



周囲の物でのコンプトン散乱の寄与を減らすために以下のことをした

1. 線源周りの固定をテフロンとマイラーテープのみでおこなった
2. 検出器全体を床から1m離して
床からのコンプトン散乱の影響を減らす

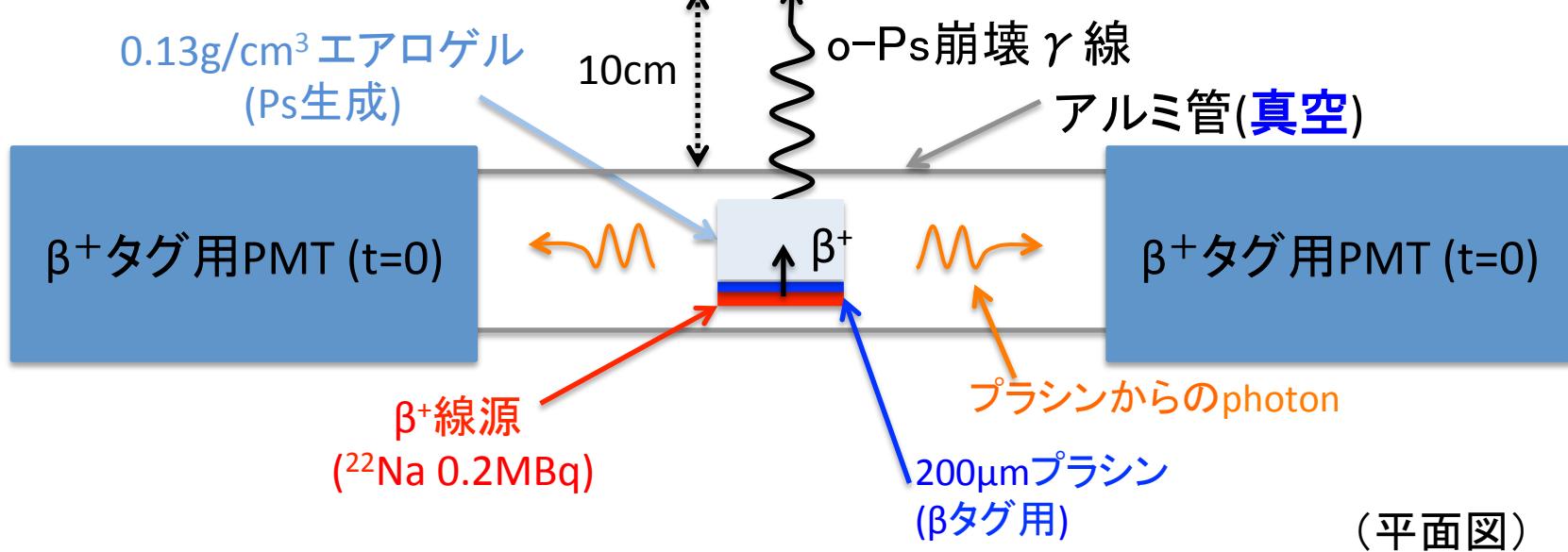
アルミ管内は**真空**にしている

⇒ 後述するピックオフ崩壊という background を減らすため

LaBr₃(Ce5%)のパラメータ

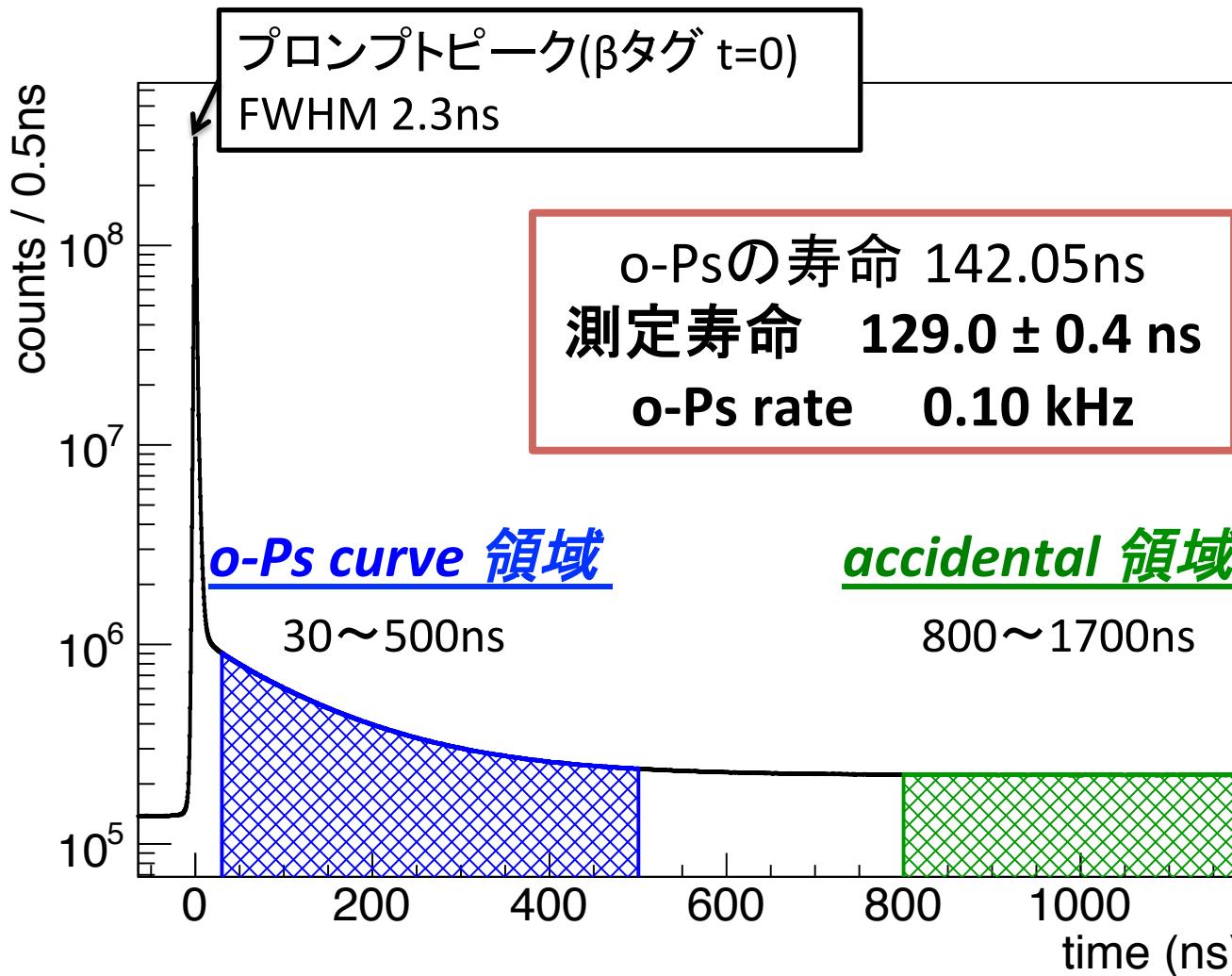
形状	円筒形
直径	38.1mm
長さ	50.8mm
エネルギー分解能(FWHM)	4.4%@0.511MeV

- ・ プラシンで β^+ 発生時刻を取得(β⁺タグ)
- ・ トリガー条件は
3つのPMTの coincidence
- ・ t=0の時間は**2つの β^+ タグ用PMT**のcoincidence
- ・ βタグとLaBr₃の時間差をタイムスペクトルにする



Background の除去

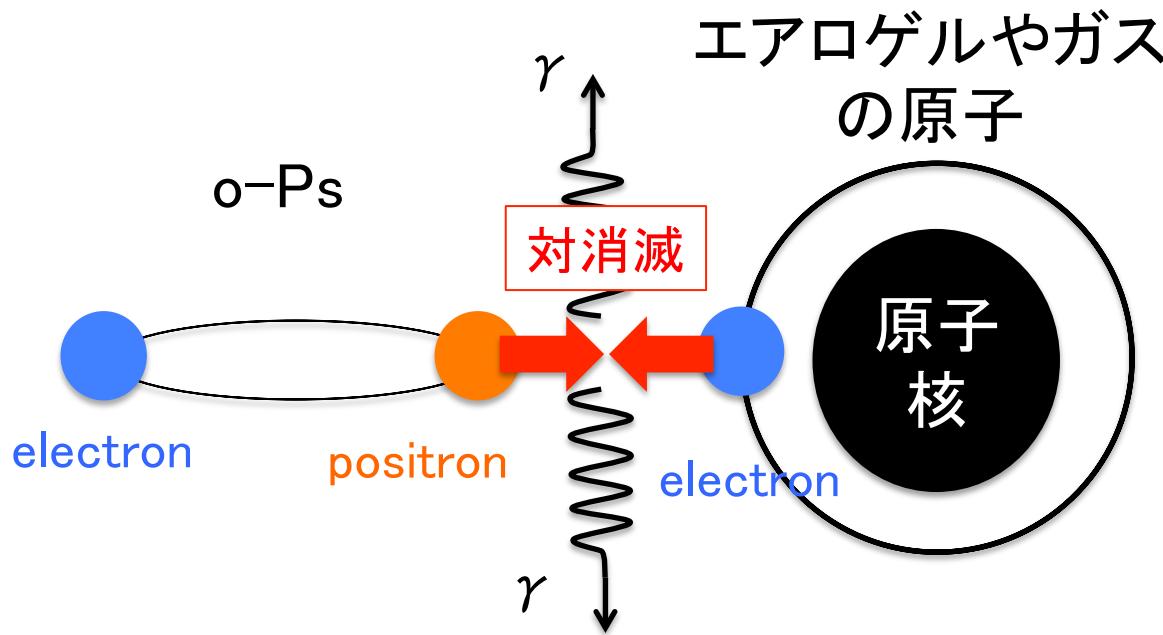
Accidental backgroundの除去



得た時間情報をもとに timing window をかけ、
o-Ps curve 領域から *accidental* 領域を
差し引く

ピックオフ崩壊

o-Ps 中の陽電子が他の物質中の電子と対消滅して back to back の2本の γ 線を放出するイベントが background として残る。

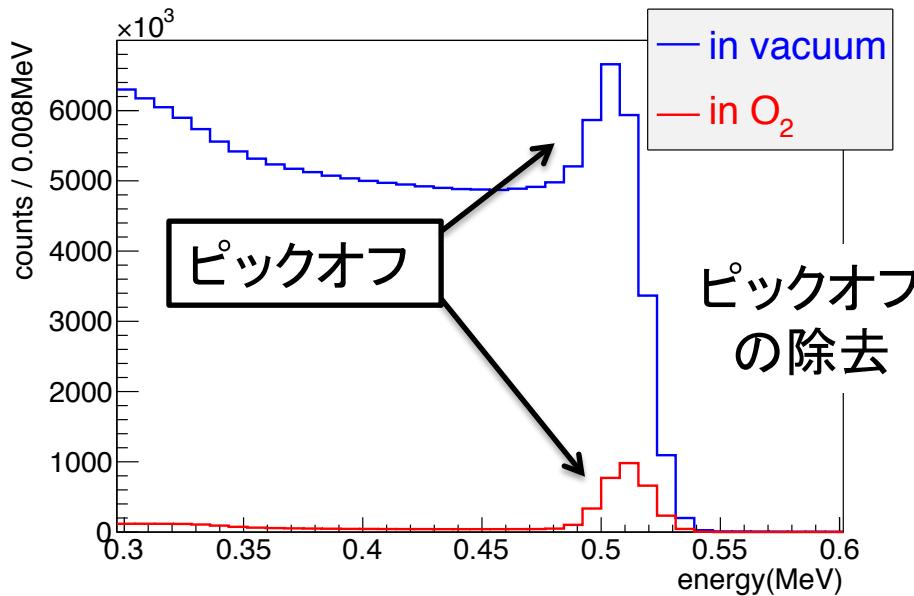


アルミ管の内部は**真空**なので
electron source のエアロゲルの電子とピックオフする
酸素のような**ガス**が存在する場合さらにピックオフ崩壊は増加
する

ピックオフ崩壊イベントの除去

ピックオフは実測から求めた。

1. ピックオフ崩壊起源の γ 線の割合が大きくなるよう酸素ガスをアルミ管に封入してエネルギースペクトルを測定する
2. 真空中でのスペクトルから酸素中のスペクトルを差し引く(ピックオフの除去)



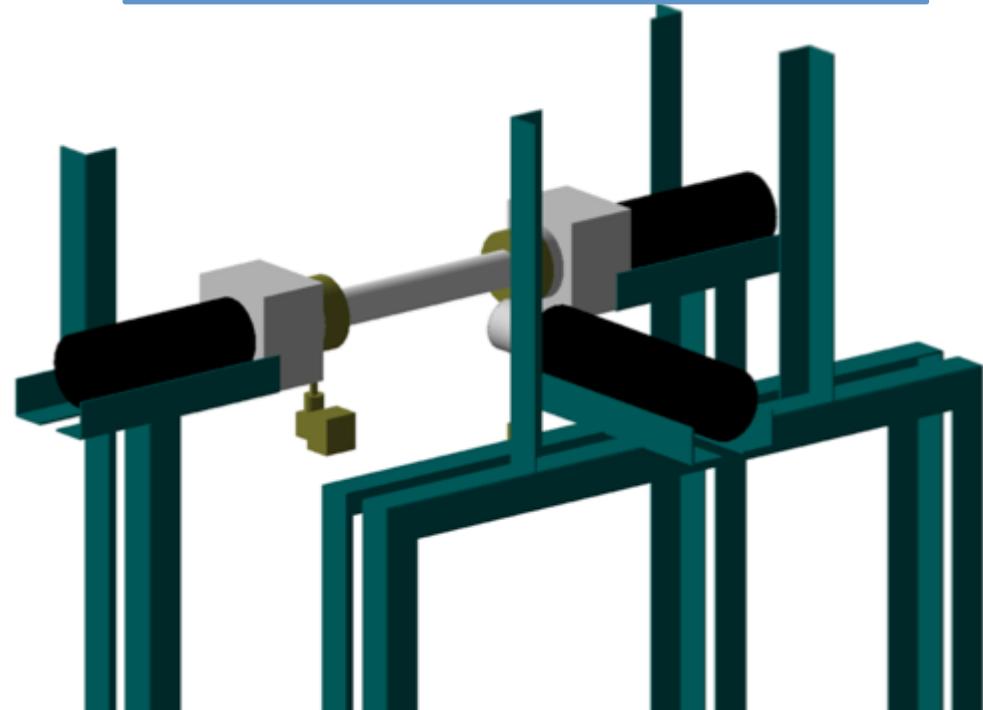
*ピックオフ(空気中のスペクトル)を差し引く具体的方法については後述

MCスペクトル

MC(Geant4)の設定

Geant4に組み込んだ検出器

version	Geant4.9.6.p02
e^- , γ step	$10 \mu m$
low energy パッケージ	Livermore



特に線源周りと $LaBr_3$ 周りは**0.1mm**単位で物質を組み込んだ
(プラスチック、テフロン、 $LaBr_3$ の外装 etc.)

MCの精度の評価

o-Ps崩壊 γ 線比較領域0.40～0.53MeVでのMCの評価をするために、次の2つの単色線源で同じセットアップにおいて実測とMCの比較をした。

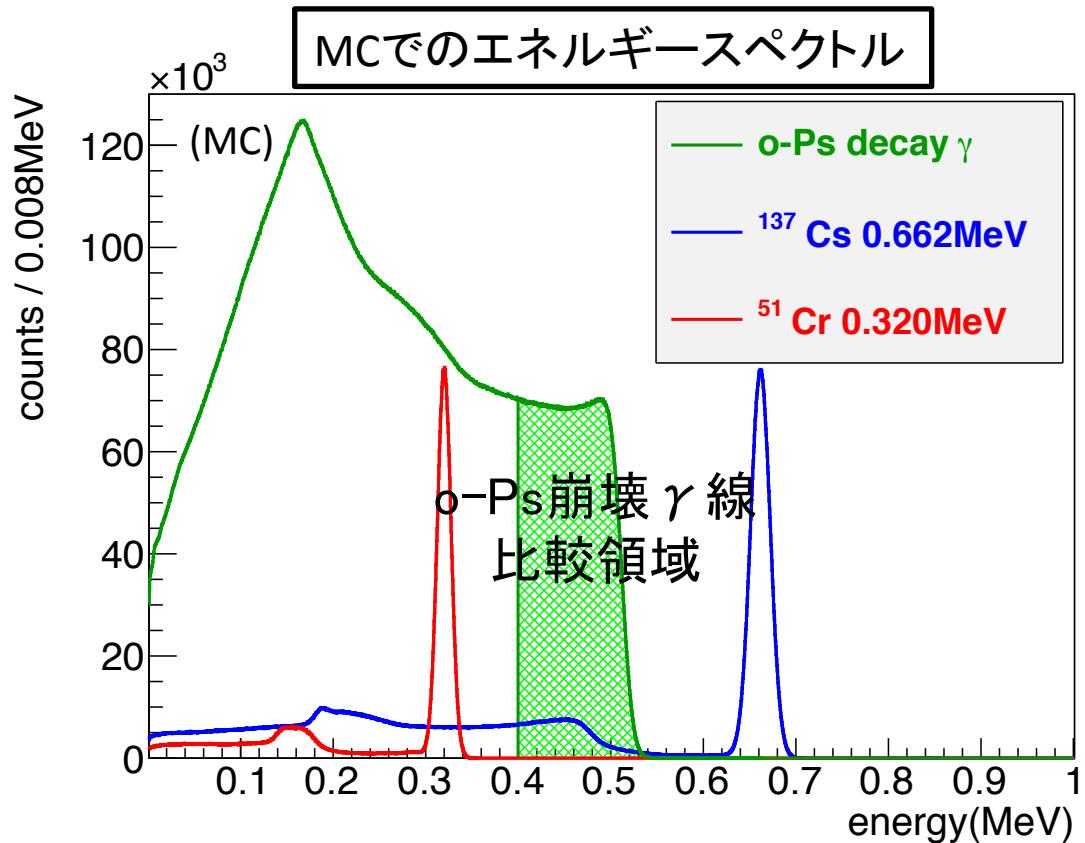
^{137}Cs 0.662MeV

使用した ^{137}Cs 線源 0.2MBq

^{51}Cr 0.320MeV

使用した ^{51}Cr 線源 1MBq

* 単色線源の
比較領域は
コンプトン フリー

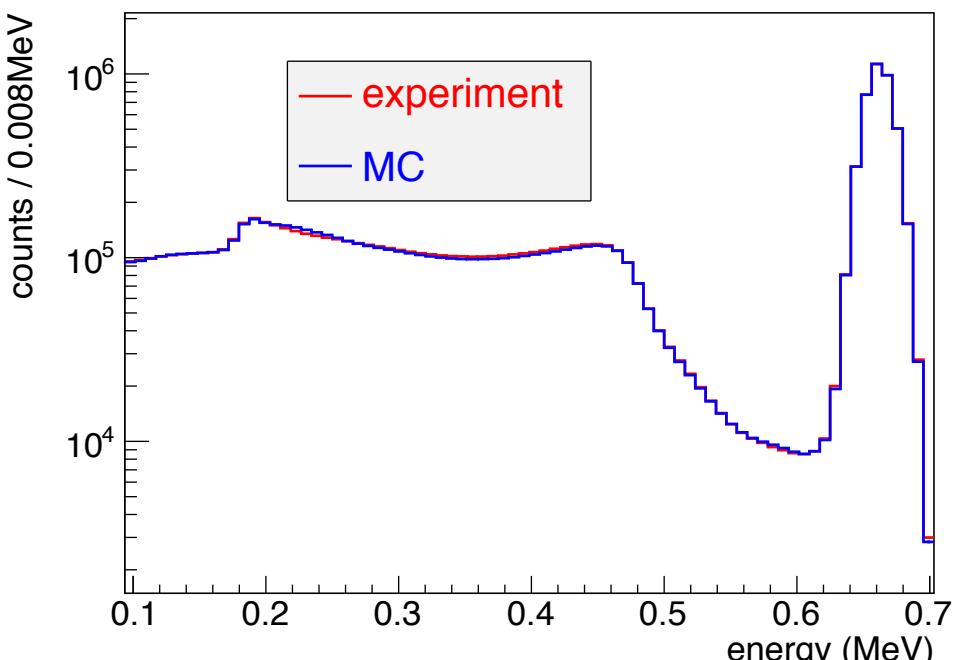


^{137}Cs の比較

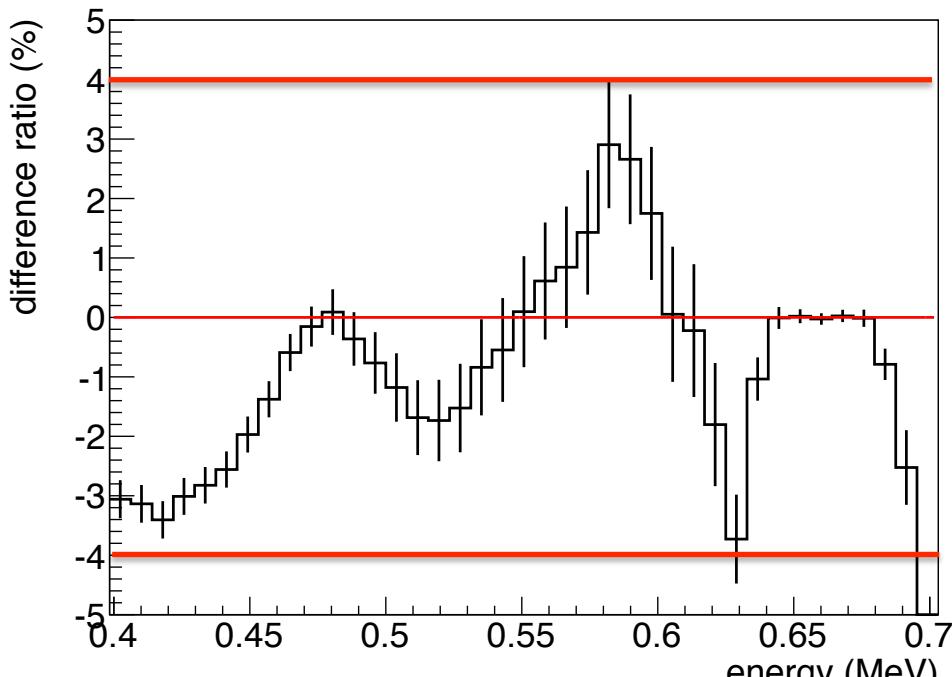
左図：スペクトル比較

右図：スペクトルの差の割合
([MC] – [実測])

* 比較の際は、光電ピークでnormalize
コンプトンフリーで **4%**
以内でMCが一致している



実測とMC



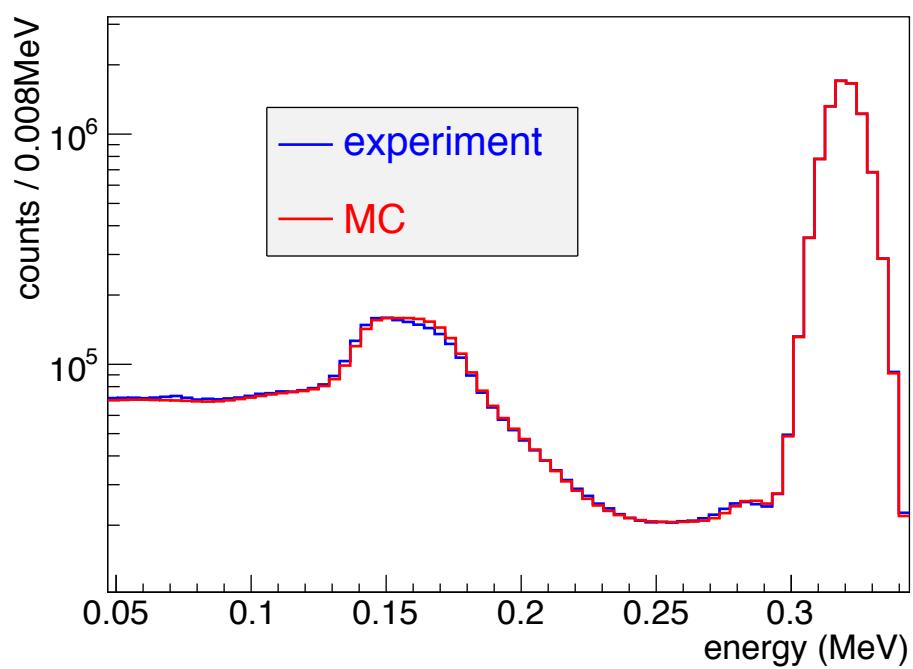
コンプトンフリー付近

^{51}Cr の比較

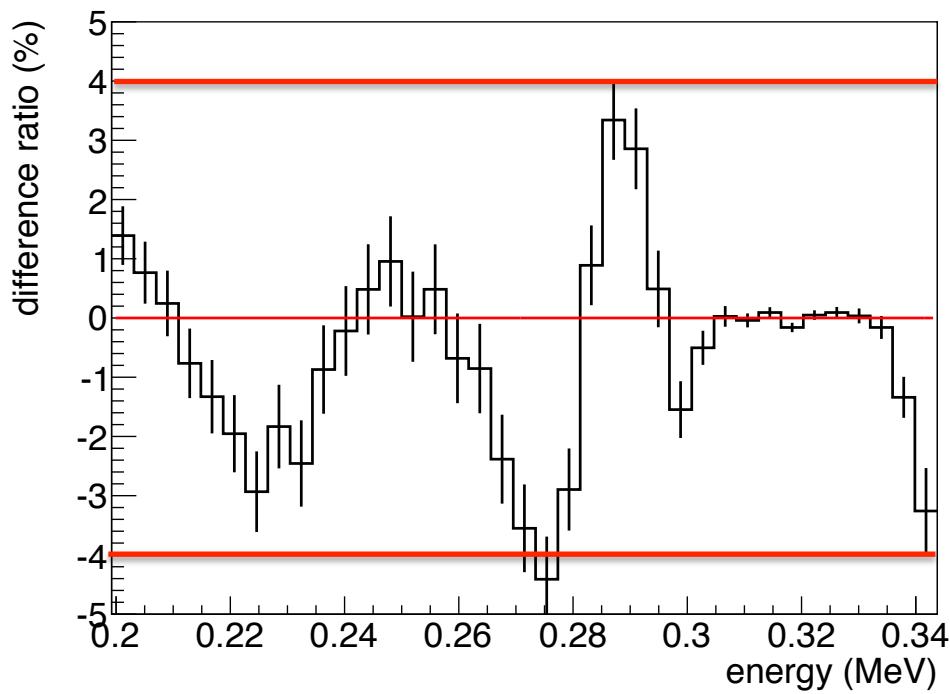
左図：スペクトル比較

右図：スペクトルの差の割合
([MC] – [実測])

* 比較の際は、光電ピークでnormalize
コンプトン フリーで **4%**
以内でMCが一致している

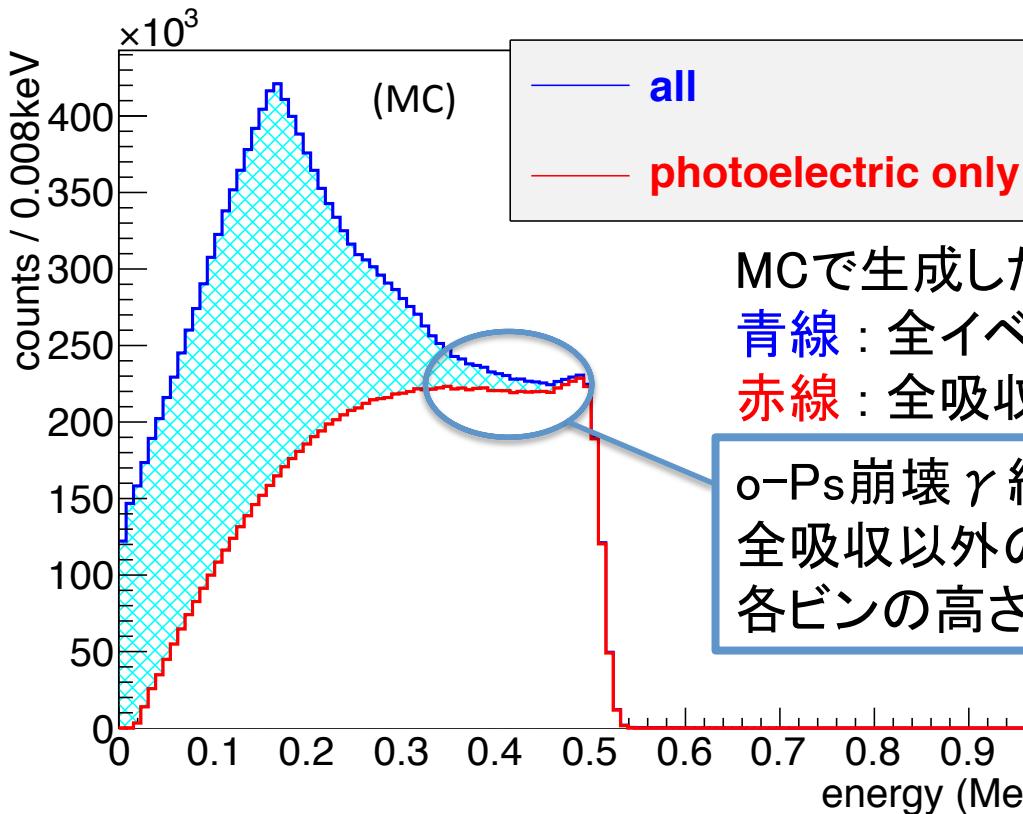


実測とMC



コンプトン フリー付近

MCの評価の取り入れ方

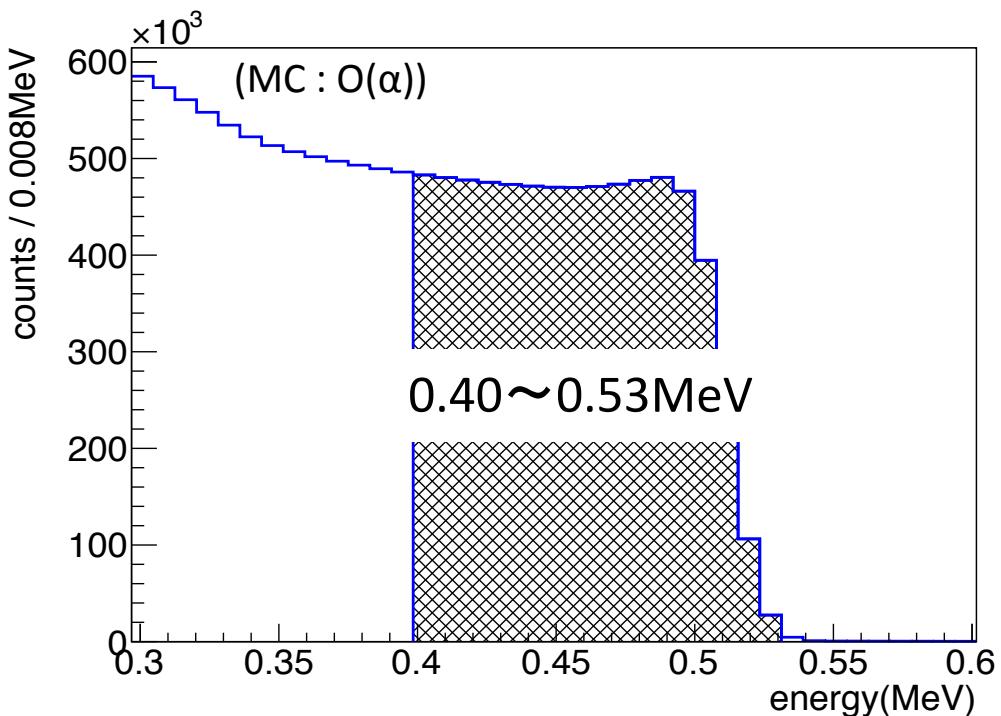


→ o-Ps 崩壊 γ 線において効くMCの精度は
単色線源における
コンプトンフリーの部分 (4%の精度) × 5%以下

この精度を
MCの系統誤差として
各ビンに計上する

実測スペクトル

実測とMCの比較方法



実測とMCとの比較には、
0.40～0.53MeVの領域を用いる

- tree level と $O(\alpha)$ のズレが大きい
- MCの精度を高く保てる

1. 実測スペクトルとMCスペクトルをイベント数でnormalize
2. chi-squareを用いて実測とMCのスペクトルの一致の程度を評価する

ピックオフの除去

ピックオフの除去方法

1. ピックオフの割合をfree parameterにして、真空中のスペクトルから酸素中のスペクトルを差し引く(ピックオフの除去)
2. 前述の比較方法を用いて最も実測とMCが一致するような free parameterに決定する

測定寿命を用いた consistency check

$$\text{(放出 } \gamma \text{ 線中の)ピックオフの割合} : \frac{1/\tau - 1/142.05}{1/\tau}$$

測定寿命 : τ o-Psの寿命 : 142.05ns

さらにピックオフ起源の γ 線の検出効率を考慮

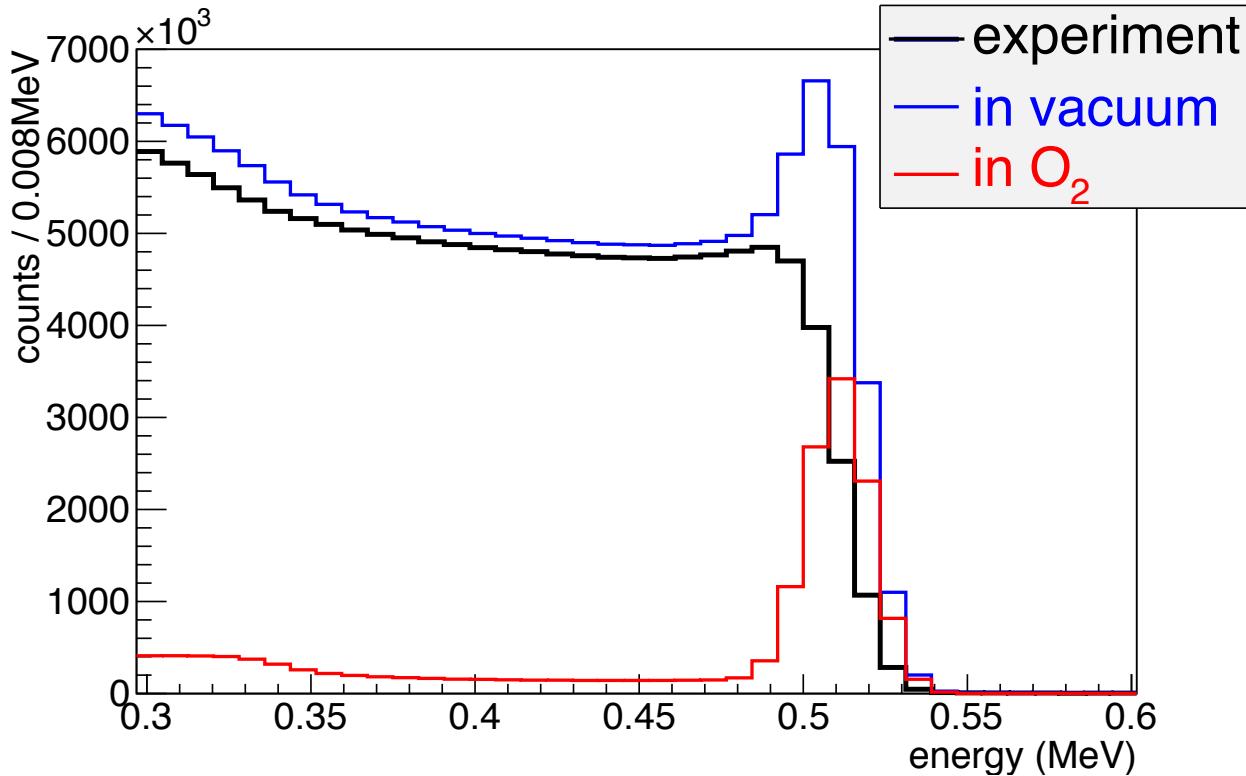
→検出したイベント中のピックオフの割合を求める

	測定寿命 (ns)	測定寿命から求めた ピックオフの割合	free parameterから求めた ピックオフの割合
真空中	129.0 ± 0.4	$7.99 \pm 0.25\%$	8.2%

一致

実測スペクトル

現段階での $O(\alpha)$ のMCをもと free parameter を決めて o-Ps 崩壊 γ 線の実測スペクトルを生成した。



実測スペクトルでは0.4~0.49MeV付近で
統計誤差 **0.06%** (1bin 8keV) を達成
現在、MCの統計量を上げるためMCの生成・MCの精査中

まとめ

- ❖ o-Ps崩壊 γ 線のエネルギースペクトルの初めての $O(\alpha)$ での精密検証を試みている
- ❖ MCの精度を2つの単色線源を用いて評価し、コンプトンフリーで **4 %** の精度を達成
- ❖ 実測スペクトルにおいても統計誤差 **0.06 %** を達成
- ❖ 現在o-Ps崩壊 γ 線のMCの生成・精査中

CERN summer studentで
2ヶ月間遊んでて予定よりも
進みませんでした。
申し訳ありません。

