

DBD

~Back groundとの壮絶なる戦い~

大谷将士 箱崎雄一郎

安藤浩志 福川賢治

Introduction

実験 結果 考察

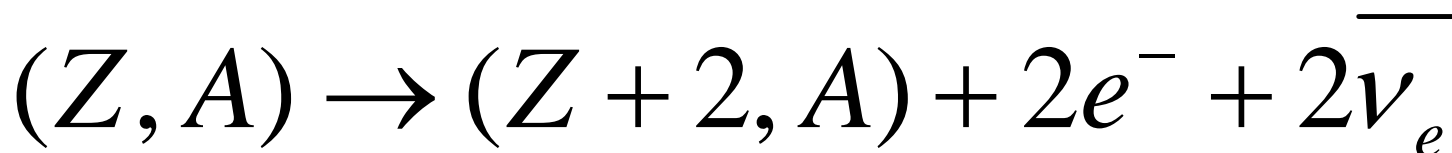
実験 結果 …

Introduction ~ 再訪 ~

Introduction

DBDとは？

崩壊が同時に二回起こる (Double Beta Decay)、
つまり

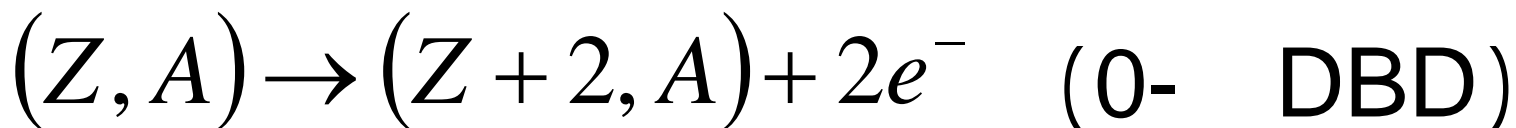


エネルギーや角運動量の保存から Single Beta
DecayはできないがDBDはできる原子核



がある。

探しているのは、



なぜ0 DBDを探すのか？

- 質量を知りたい。 $\langle m_\nu \rangle \propto \frac{1}{\sqrt{\tau}}$
現在分かっているのは、質量差のみ。

- 標準模型を超えたい。

0- DBDではレプトン数が保存していない。

なぜ0 があるっぽいのか？

→ つまり がDiracではなくMajoranaで
あるっぽいのか？

...

.....

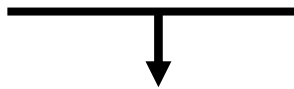
Introduction~再訪~にて

0- DBDを見つけるには？

DBD原子核 (^{48}Ca ^{76}Ge ^{100}Mo etc) を含む物質を
気長に観察して、

終状態の二つの電子のエネルギーが

丁度Qvalue(4270)のイベントを探せばよい。

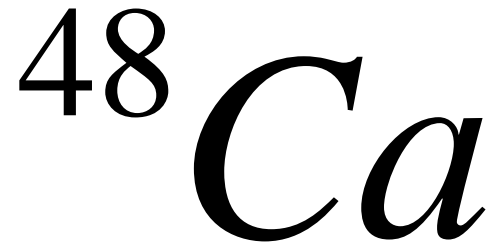


始状態の (Z, A) と、

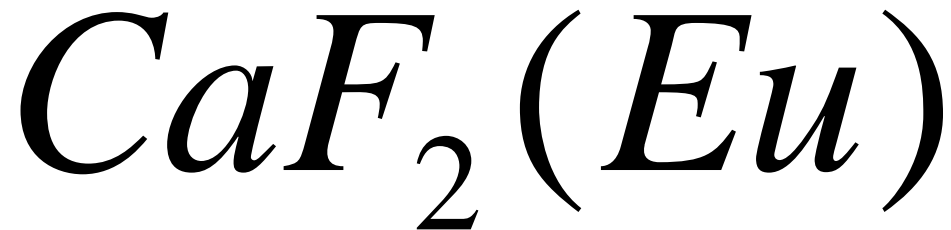
終状態の $(Z, A+2)$ との、エネルギー差

道具を集めよう

DBD原子核として、



それを含む物質として、



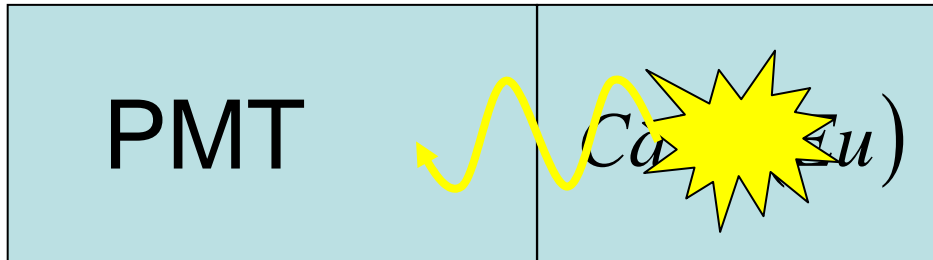
—————> これ自体シンチレーター

実験
実験

結果
結果

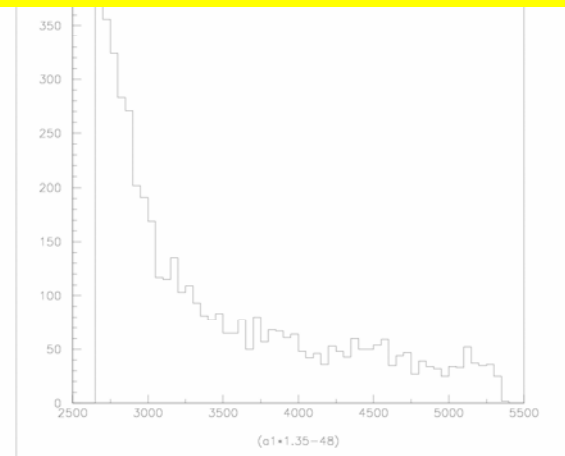
考察
...

実験 1 ~with PMT~



結果 1

Back groundに大敗
(` 曲 ` #)



2500keVから5000keVの領域に
約6000個

考察 1

NaIシンチレーター

外部からのBack ground (宇宙線etc)が原因と考えられる。

PMT

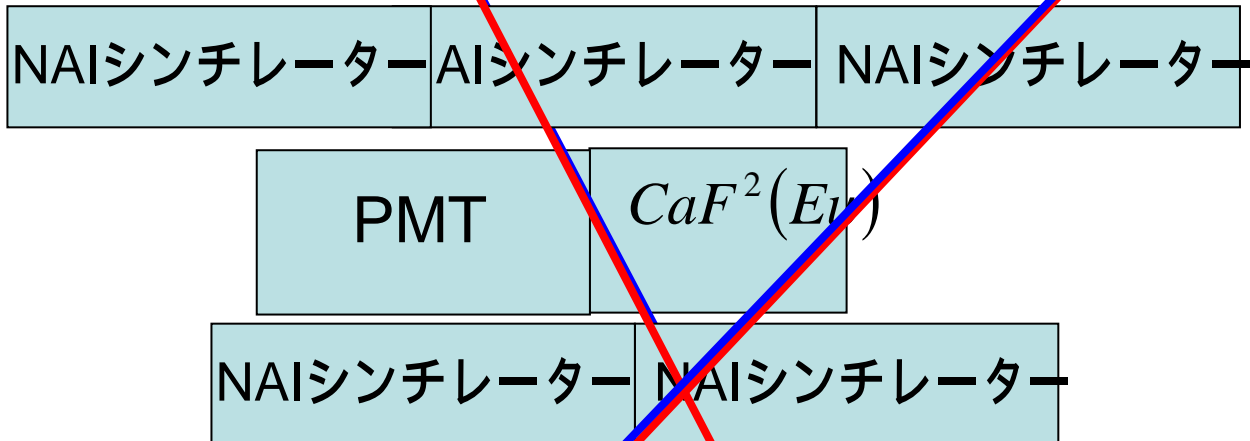
$CaF^2(Eu)$

実際、Q-value(4270)付近のイベントの7、8%はNAIシンチレーターも反応していた。

?

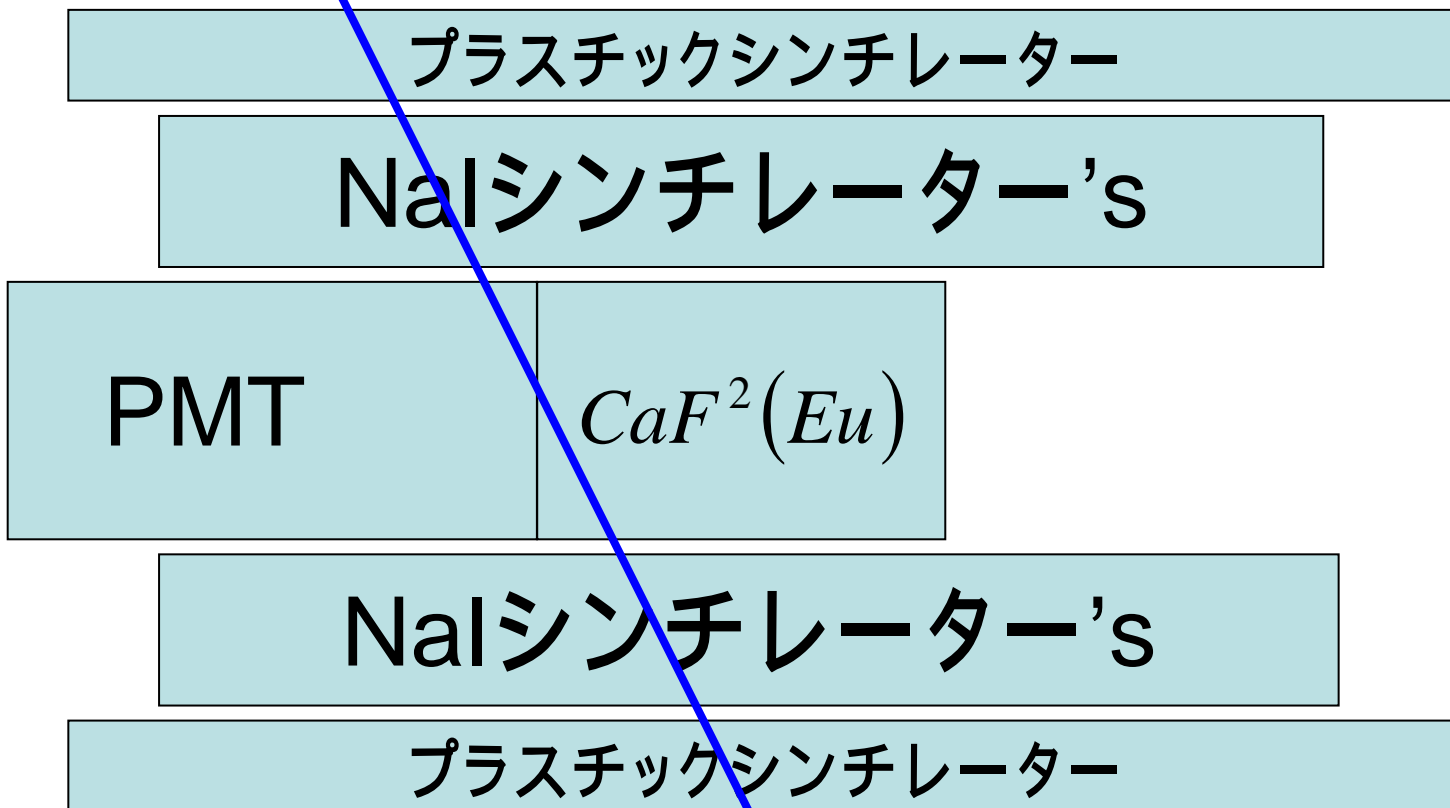
外部からのBack groundを除くにはどうすればよいか

次に...



NaIシンチレーターで
装置を覆えば良い

除去 験 2 ~with active shield~



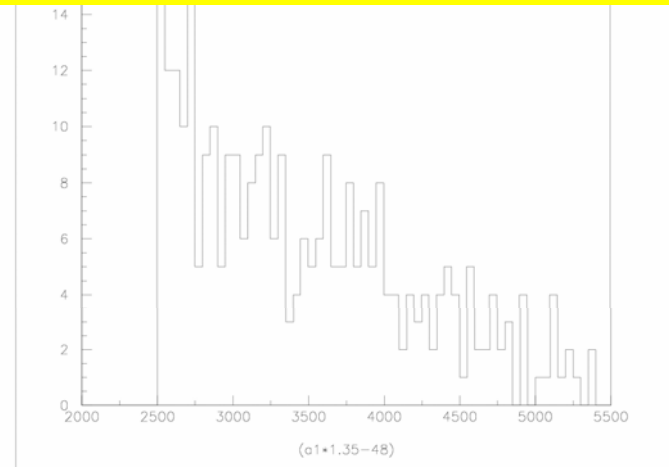
プラスチック、NaIシンチレータを用いて、外部からのBackgroundを除去する。

結果 2



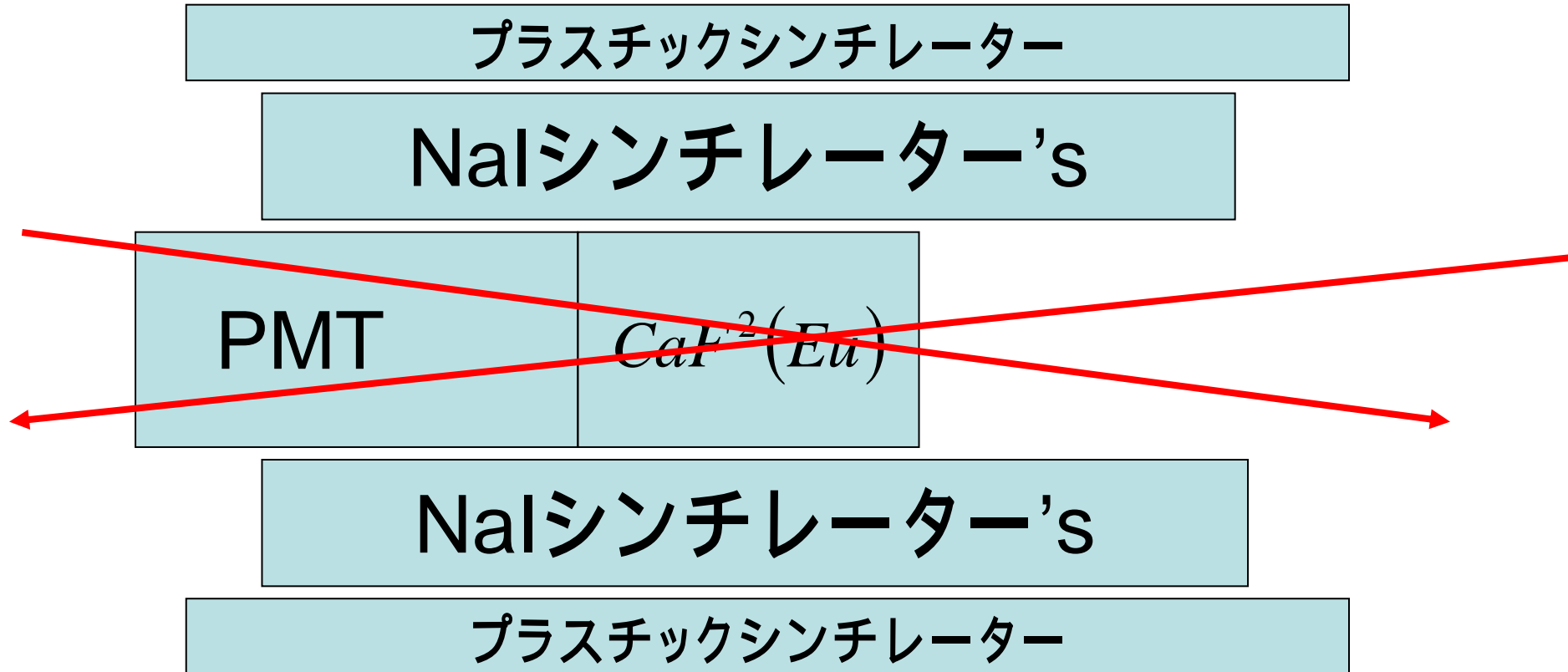
Back groundに敗北

(-"-;-)



2500keVから5000keVの領域に
296個(結果1では約6000個)

考察2

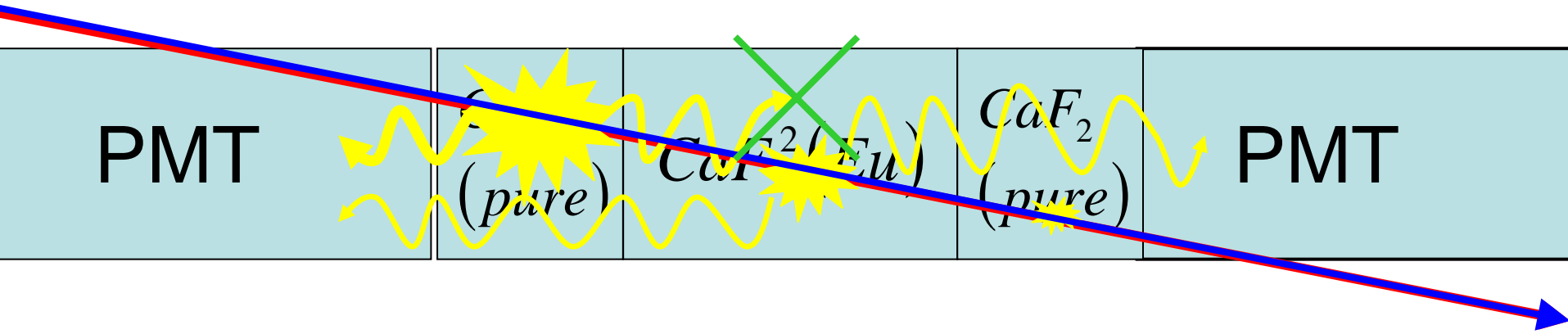


PMT側からのBack groundが原因と考えられる。

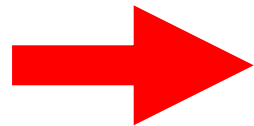
?

PMT側からのBack groundを
除くにはどうすればよいか

次に...



(pure)のシンチレーション光は
(Eu)の中を通れない。



二つのPMT間のエネルギー差
が大きいイベントを除けば
PMT側からのBack groundは
除去できる。

実験3 ~with 4 shield~

プラスチックシンチレーター

NaIシンチレーター's

PMT

CaF_2
(*pure*)

$CaF^2(Eu)$

CaF_2
(*pure*)

PMT

NaIシンチレーター's

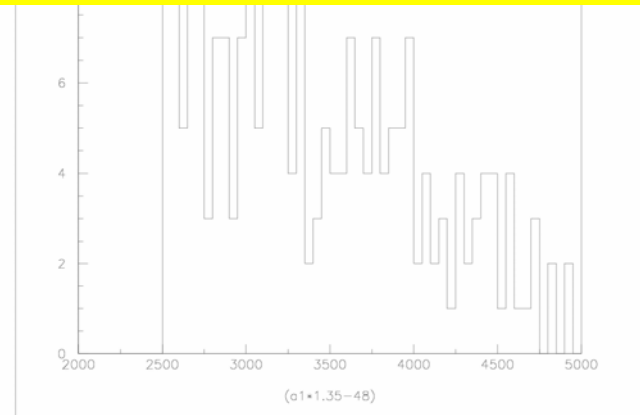
プラスチックシンチレーター

結果3



Back groundに敗北

(=_=)



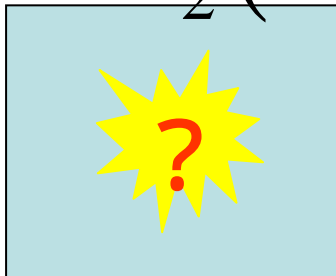
2500keVから5000keVの領域に
222個(結果2では296個)

次に・・・

実験3では装置を覆えているので、
外からのBack groundはないはず。

→ ならば、原因は(Eu)内の
0- DBD以外の反応しか
考えられない。

$CaF_2(Eu)$



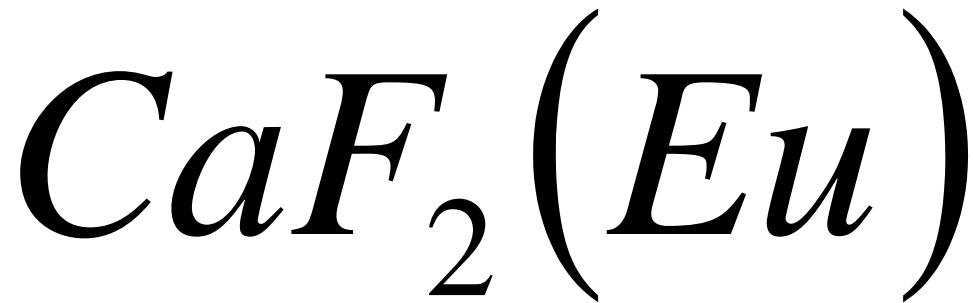
?

一体何が？

0- DBD以外の反応として

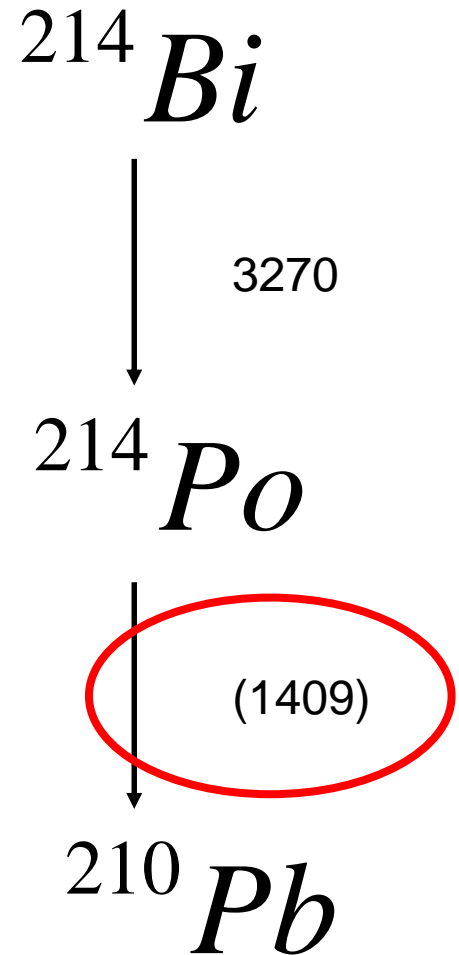
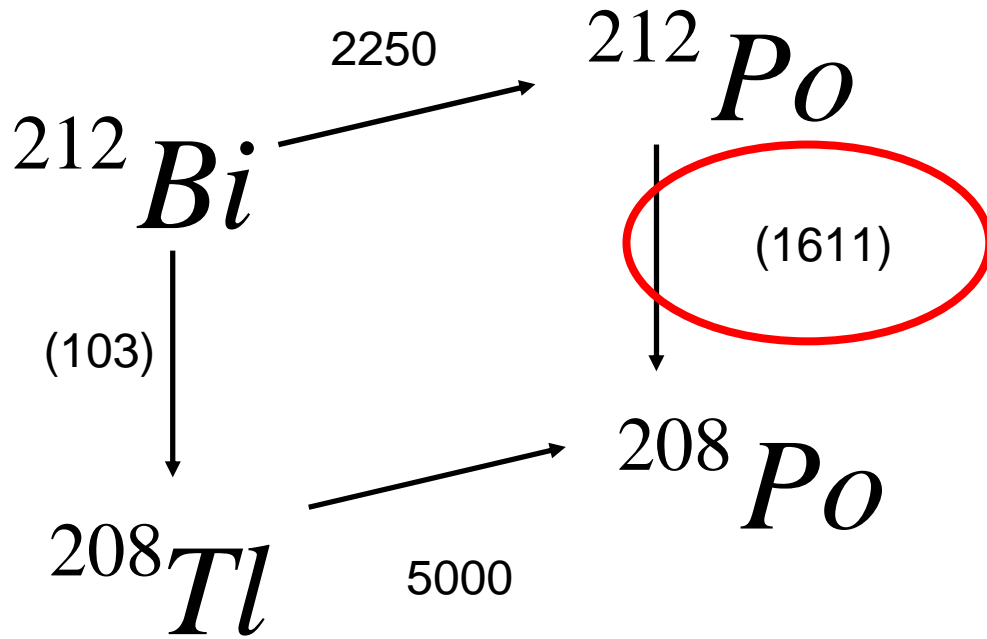
2- DBD

と



内の放射性同位体の
反応

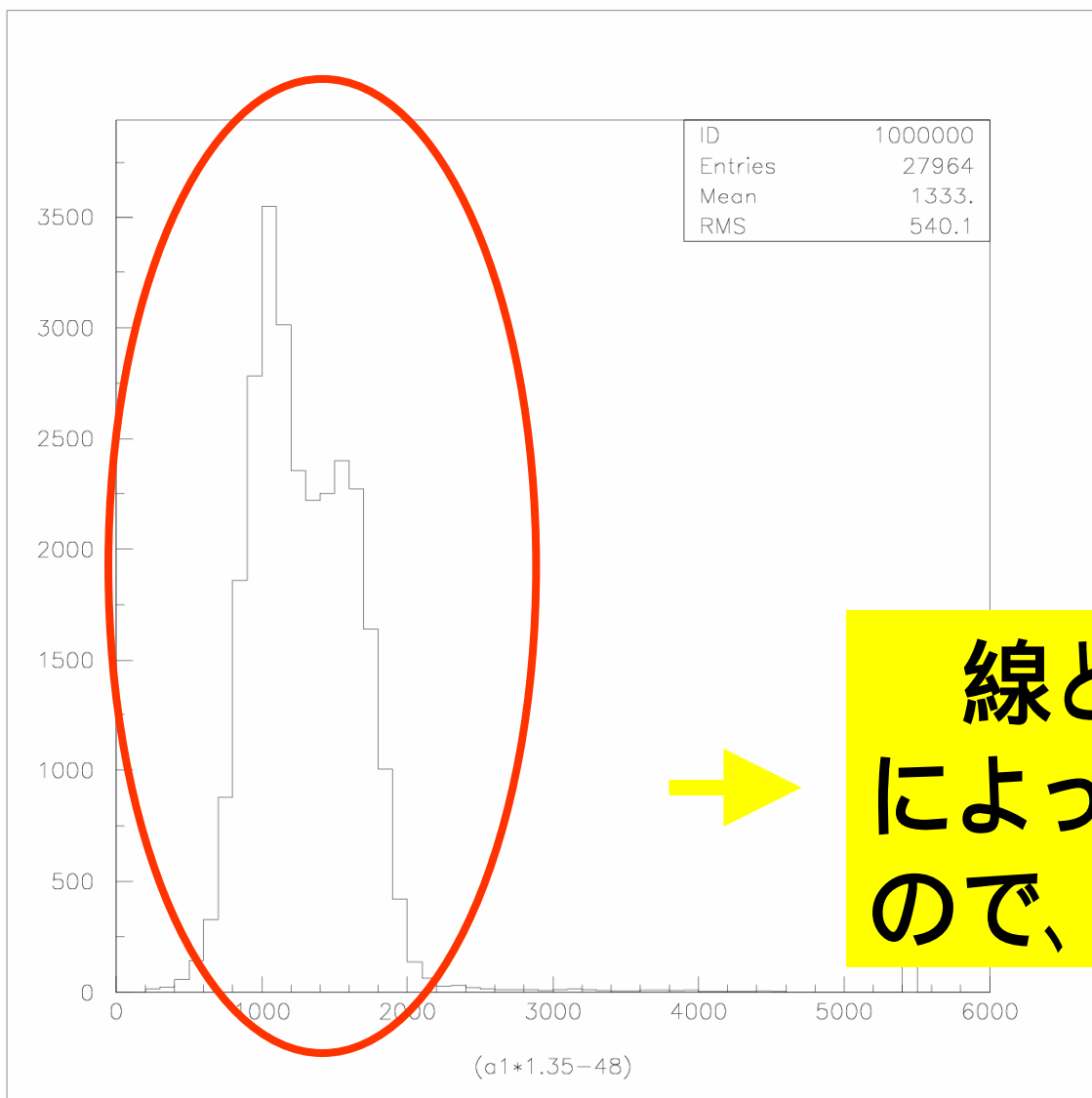
$CaF^2(Eu)$ 内では



(1611)

(1409)

のピークだろう。



線と 線は波形
によって区別できる
ので、波形を比べる

実験4

プラスチックシンチレーター

NaIシンチレーター's

PMT

CaF_2
(*pure*)

$CaF^2(Eu)$

CaF_2
(*pure*)

PMT

NaIシンチレーター's

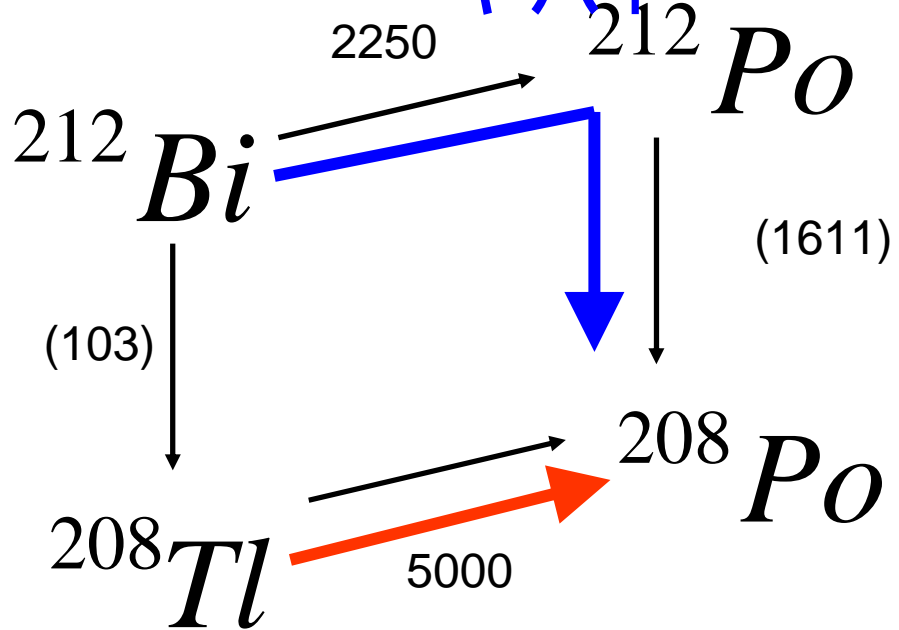
プラスチックシンチレーター

+ 波形を解析して 線を除去する。

結果 4

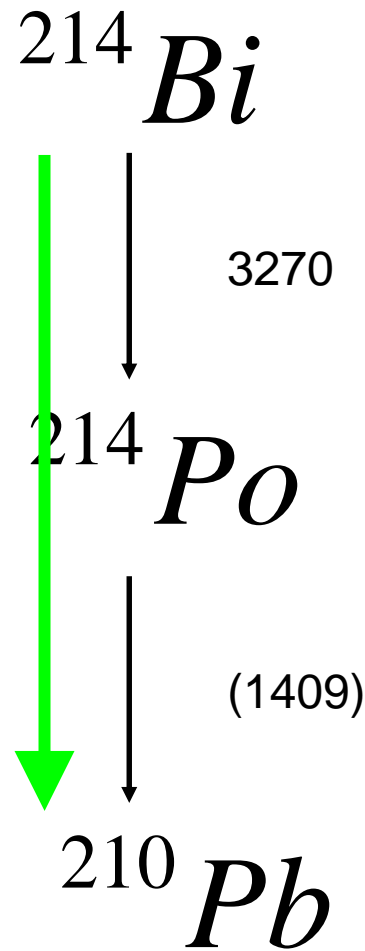
Q-value(4270)付近の
イベントだけを追跡すると

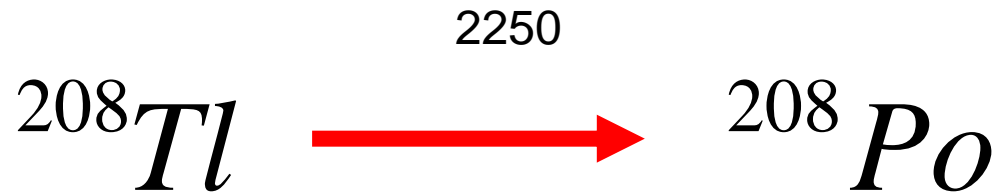
続けて起こると
Q-valueに届いて
ヤバイ



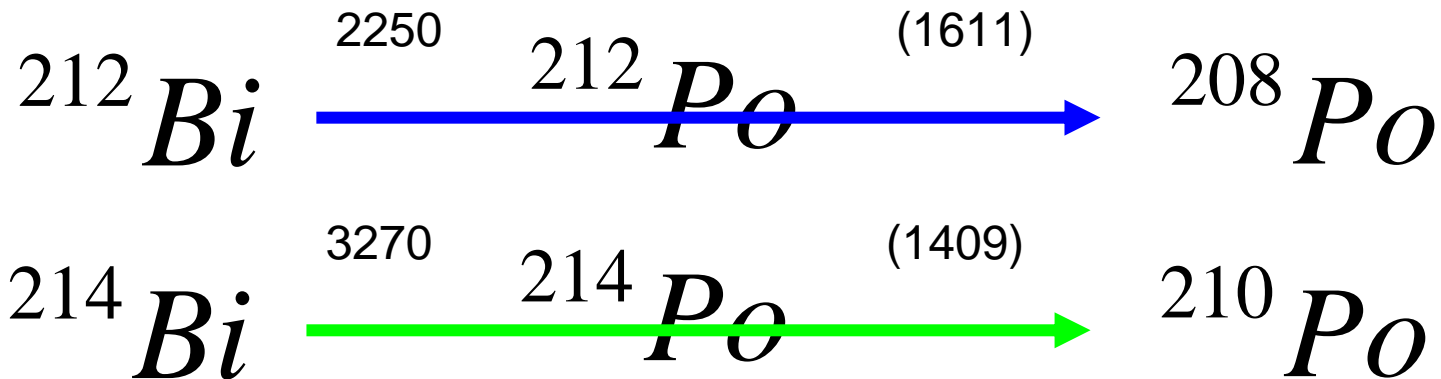
Q valueに届いて
いるのでヤバイ

続けて起こると
Q-valueに届いて
ヤバイ





はともかく



で 崩壊と 崩壊がほとんど同時に
起きてQ-valueに届くようなイベントは、
波形を見れば除去できるはずだ。

115hourで3800 ~ 4750keV(1)領域に、イベントは22個。そのうちダブルパルスは13個

$$N_{obs} = 9$$

3300~5500keV領域のイベント数からバックグラウンドは

$$N_{B.G} = 9$$

よって0-DBDイベント数の上限値は

$$N_{sig} \leq 6 \quad (90\%C.L)$$

最終結果

0- DBD個数 < 6

$$\begin{aligned} 0- \text{ DBD半減期} &= \frac{\text{線源個数}}{0- \text{ DBD個数}} \times \text{時間} \\ &= \frac{4.2 \times 10^{21}}{0- \text{ DBD個数}} \times \frac{4.8}{365} \\ &> 6.3 \times 10^{18} \text{ [year]} \end{aligned}$$

質量 < 220~1300eV(90%C.L)

Special thanks to ...

Active shieldに欠かせないNaシンチレーター、線源である $CaF_2(Eu)$ 、4 active shieldの完成には欠かせない $CaF_2(pure)$ 等、言い出したらキリがないくらい、いろいろ手を回して下さったり、様々なアドバイスをいただいた中家さん

いきなりの来訪にもかかわらずDBD実験について丁寧な説明をしてくださったり、高価な線源を貸してくださったりした、阪大の岸本研の方々

波形解析に欠かせない、FADCのセットアップ等、コンピュータ関連で大変お世話になった西村さん

実験の性質上、たくさんのケーブルやら電源やらが必要になった時、快く貸してくださった高エネの方々、特に、かなり協力していただいた松岡さん

実験ゼミでいろいろ教えてくださったり、テレビ会議で良いアドバイスをいただいた横山さん

実験設備のお引越し、様々なテキスト、等、いろいろ迷惑をかけたP1の他の実験グループのメンバー

みなさんの力で、充実した実験Lifeが送れました。
この場をかりて、深く感謝いたします。

Introduction~再訪~

Neutrino oscillation

→ $m_\nu \neq 0$
Lepton sideでも
Quark sideの様に
flavor非保存で
CPも破れる

~~→~~ Neutrinoは
Majorana粒子

Dirac粒子でも
Massを入れることはできる

それでもNeutrinoがMajoranaだと 考えられている理由について

- NeutrinoがDirac粒子であるとして、電子等と同じ様にHiggs機構で1eV以下のNeutrinoをつくらうと思うと、Higgsの真空期待値 v と結合定数 G の間に

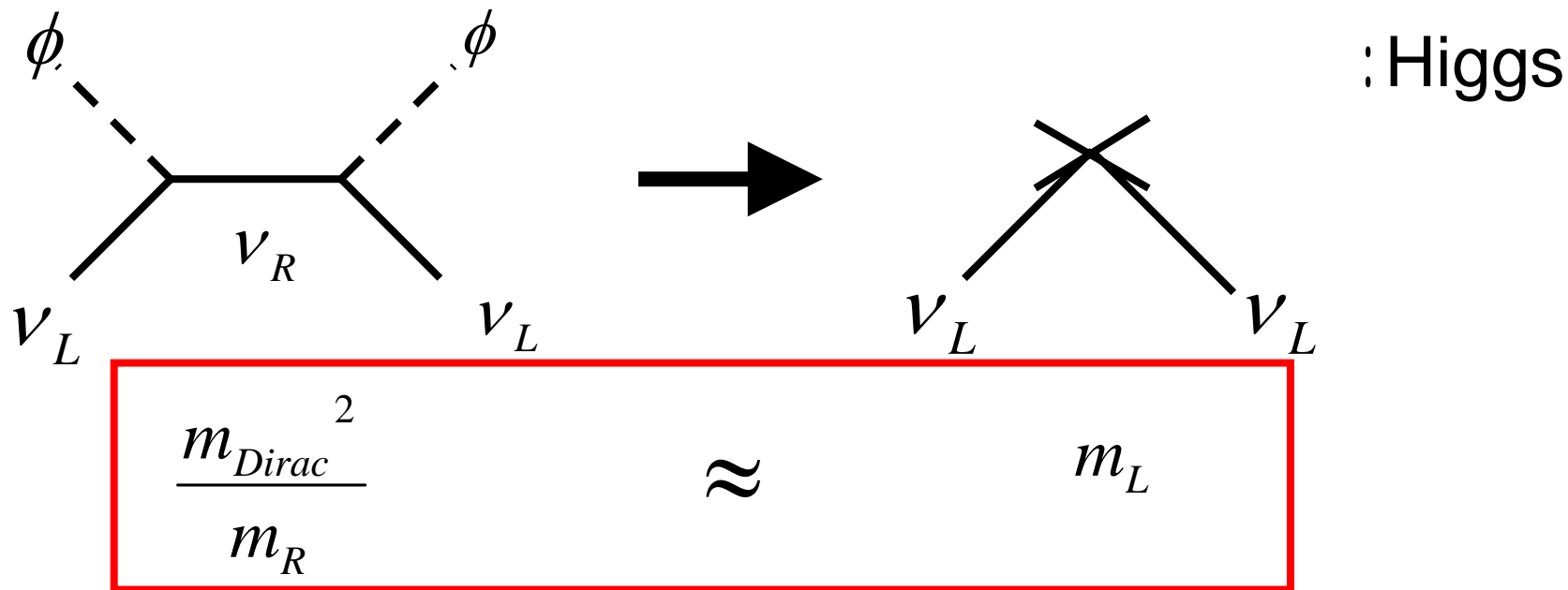
$$v'G' \approx m_\nu < 1eV$$

標準模型に入っているHiggs
は $vG \approx m_e \approx 1MeV$

不自然??

- Seesaw Mechanism

NeutrinoがMajorana粒子とすると、



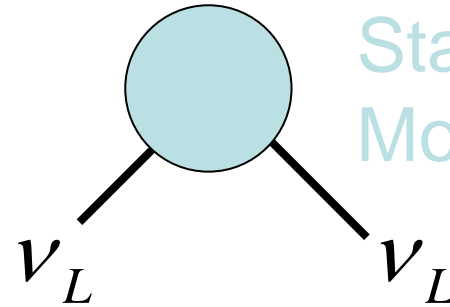
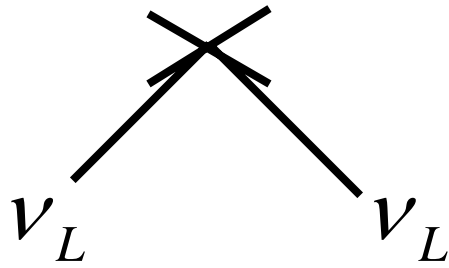
→ 右巻き 質量が大きければ、
 左巻き 質量が小さい
 既に見えている左巻き と
 未だ見えていない右巻き が
 シーソーしている

注意

0- DBDの発見



重い右巻き の発見



Beyond
Standard
Model



有効Lagrangianとしての
Majorana項の発見

NeutrinoがMajoranaだと・・・

- もはやレプトン数が保存しない。
- Quark側の小林・益川行列で、CPを破る位相因子は一つだけであったが、NeutrinoがMajoranaだと、Lepton側の小林・益川行列 (MNS行列) には、CPを破る位相因子がさらに二つ現れる。NeutrinoがMajorana粒子である可能性が捨てきれない以上、MNS行列を知るにはDBD実験も重要。