

インジウムを用いた太陽 ニュートリノ半導体検出器 の開発IX

日本物理学会 第62回年次大会
2008年3月24日

宮城教育大学 福田善之、佐藤哲也、神永友輔、三宅悠子

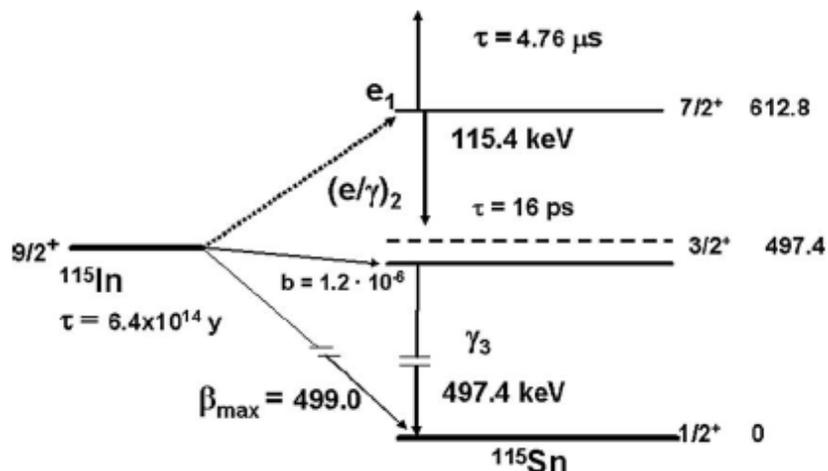
東大宇宙線研 森山茂栄、塩澤真人、小汐由介

東大素粒子センター 難波俊雄

浜松ホトニクス(株) 固体事業部 犬塚智也、井澤利之、朝倉雅之

^{115}In による太陽ニュートリノの検出

R.S.Raghavan Phs.Rev.Lett37(1976)259



Nuclear Physics A 748 (2005) 333-347

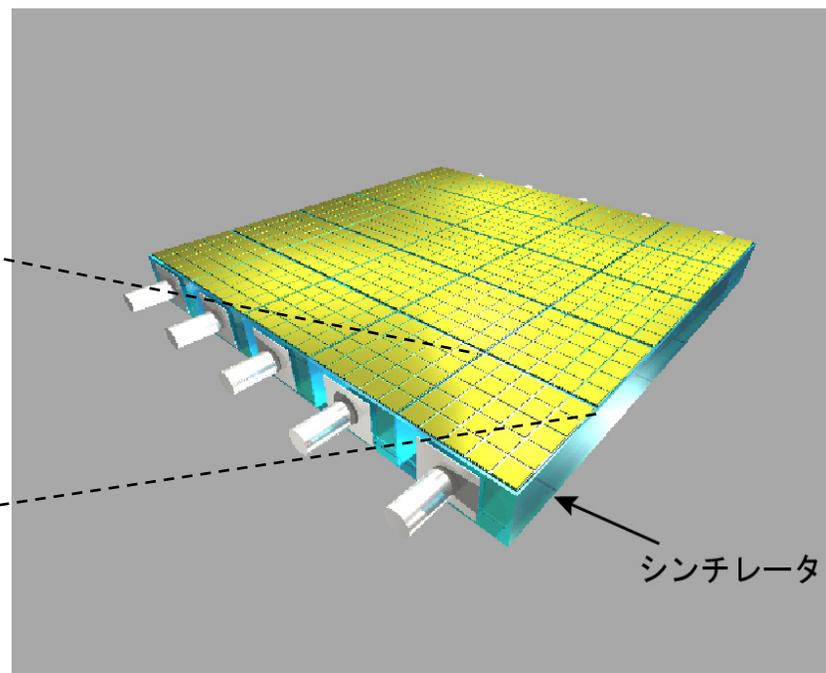
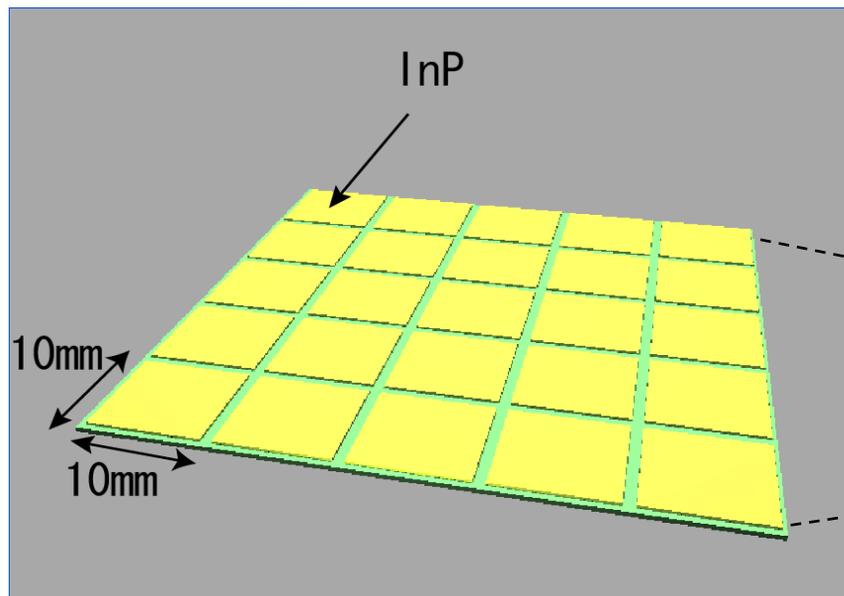


- 1) リアルタイム観測
- 2) ν エネルギーを観測
- 3) 3重同時観測によりニュートリノ信号を識別
- 4) ^{115}In 自身のベータ崩壊の存在 ($\tau_{1/2}=4.41 \times 10^{14}$ 年)

^{115}In の崩壊 β 線とその制動放射線によるfake coincidenceバックグラウンドの可能性

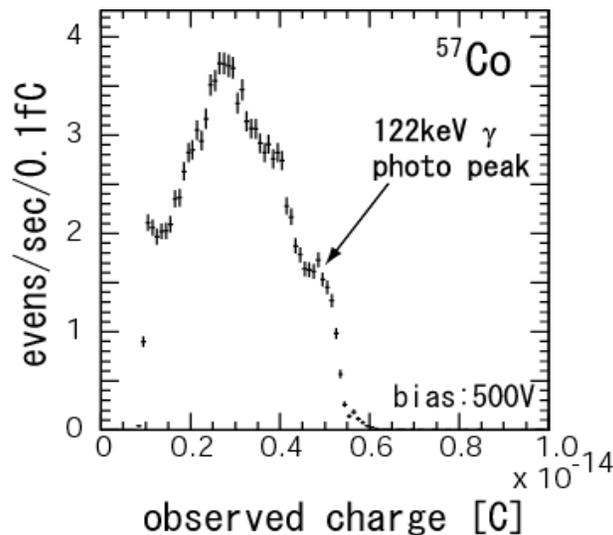
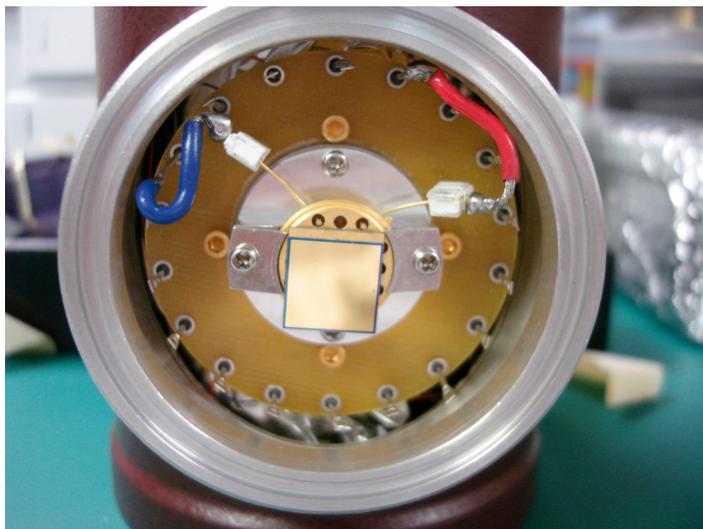
制動放射バックグラウンドの直接測定

太陽ニュートリノ観測装置



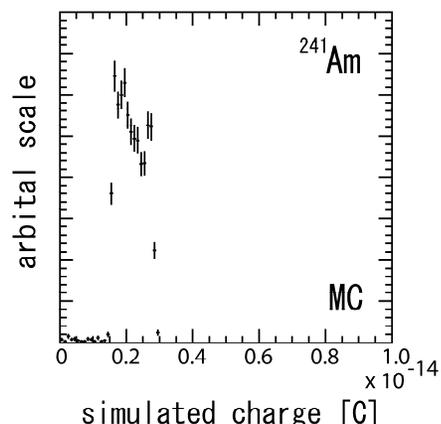
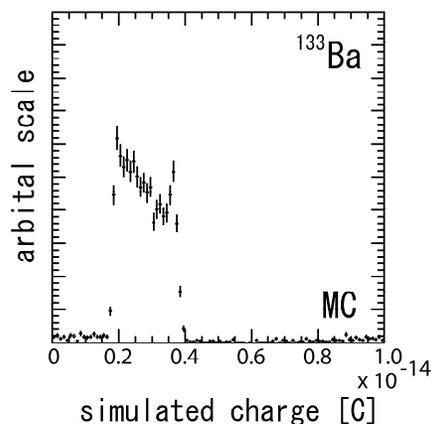
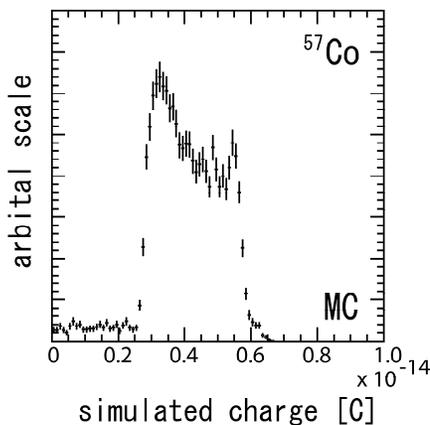
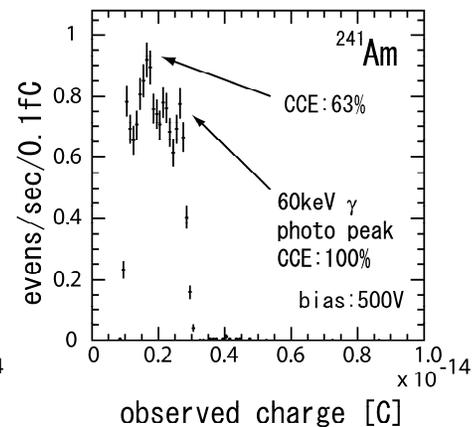
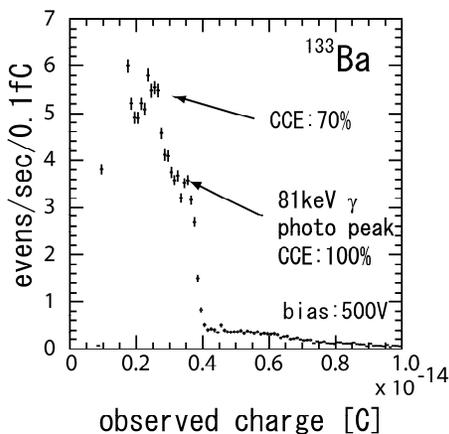
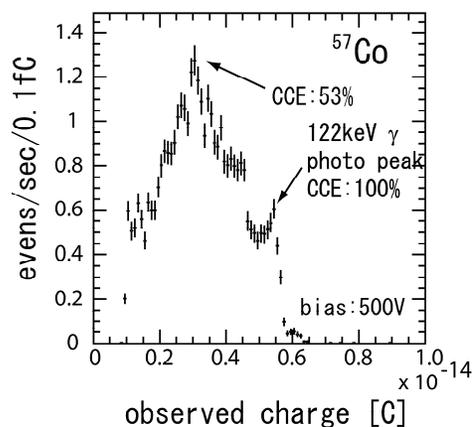
- 基板上にInP検出器を配置して、バイアスを並列に印加し、信号をまとめて取り出す多素子型構造
- ニュートリノ捕獲反応点の近くで、InP検出器から抜けると考えられる γ 線を検出するため、NaI/CsIなどの固体シンチレータをサンドイッチ状に挟み、同時計測を行う

^{115}In の β 崩壊と制動輻射の観測



- $1\text{cm} \times 1\text{cm} \times 0.2\mu\text{m}$ のVCZ生成による半絶縁InP半導体検出器
- ^{115}In の自然 β 線数:
68.1事象/1時間
- ドライアイスで冷却
- 制動輻射はCsIシンチレータで観測する
- CsIはSCIONIX社製V50B20/3M-E2-Cs-X with LowBG PMT

検出器のシミュレーション



ガンマ線事象を再現している

制動輻射

- 制動輻射は連続スペクトル
- 最大値は衝撃電子線のエネルギーで決まる

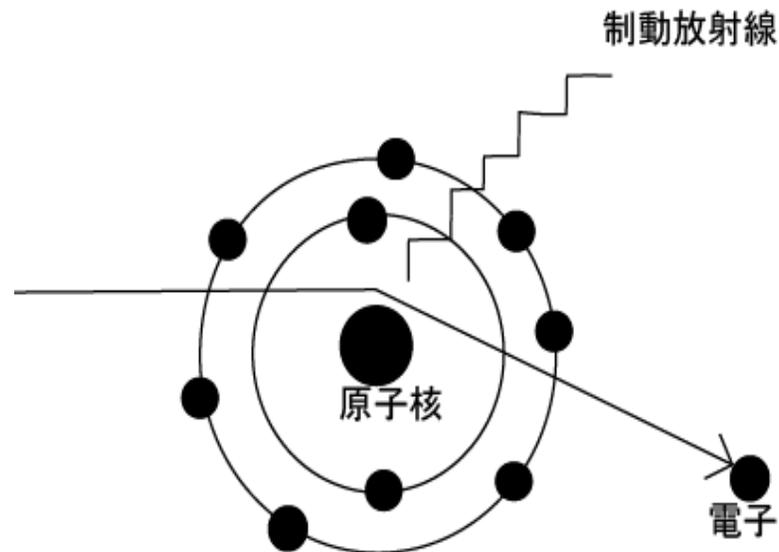
$$\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{放射}} = \frac{ZT(\text{MeV})}{750} \left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{電離}}$$

InPの分子量: 145.79 $Z_{\text{InP}}: 46.41$

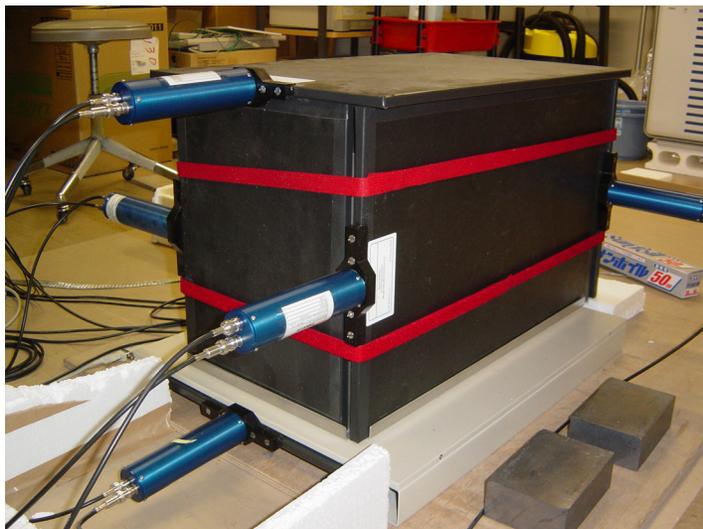
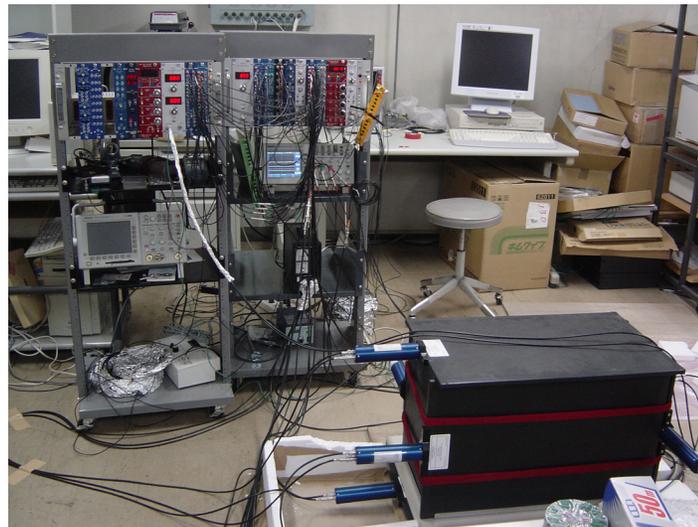
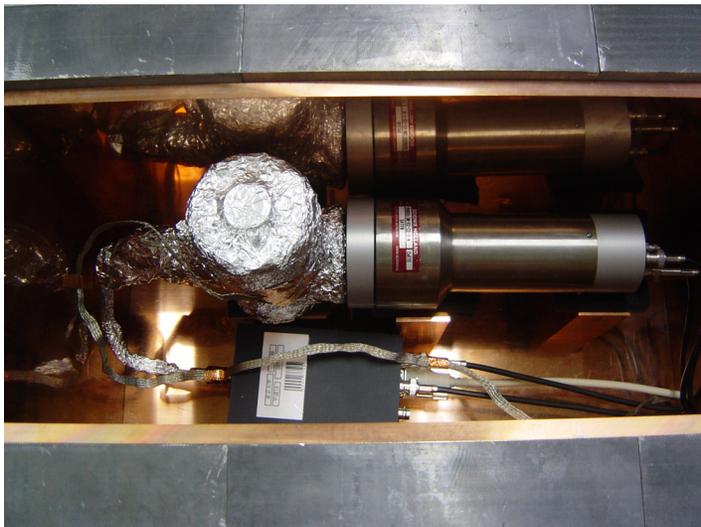
^{115}In の自然 β 線からの制動輻射

エネルギー: 15.4keV以下

予想されるイベント数: 0.054事象/時間 ($E_{\text{th}} > 17.5\text{keV}$)

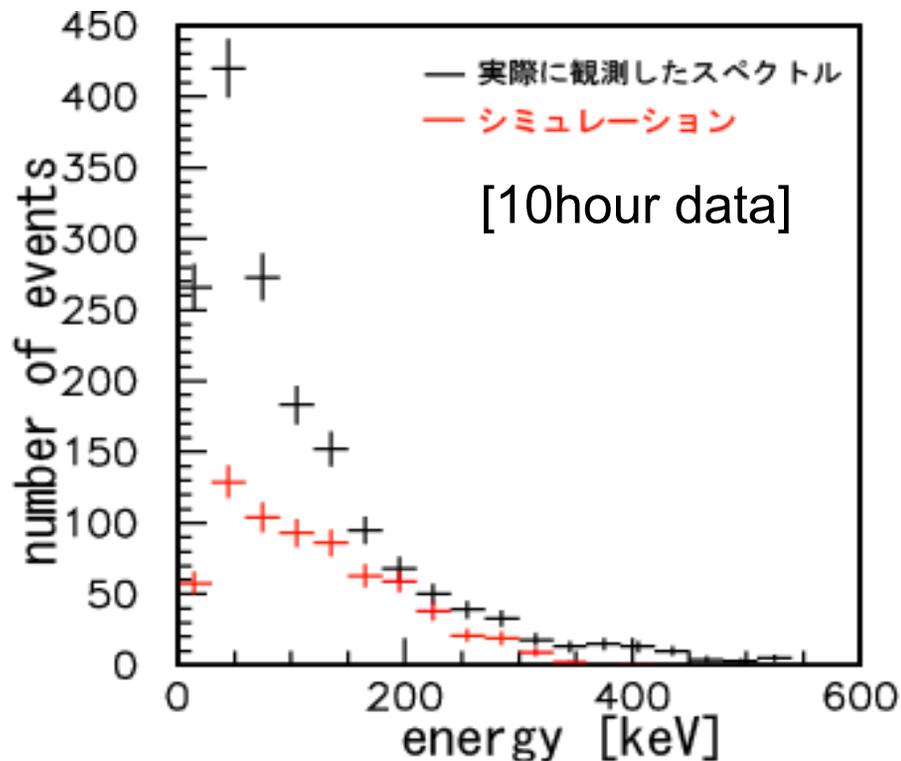


観測のセットアップ



- InP検出器とCsIシンチレータによる同時計測
- 鉛・無酸素銅遮蔽体中で測定
- プラスチックシンチレータによる active veto
- 測定時間: 10 / 32時間

ベータ崩壊スペクトルの観測結果



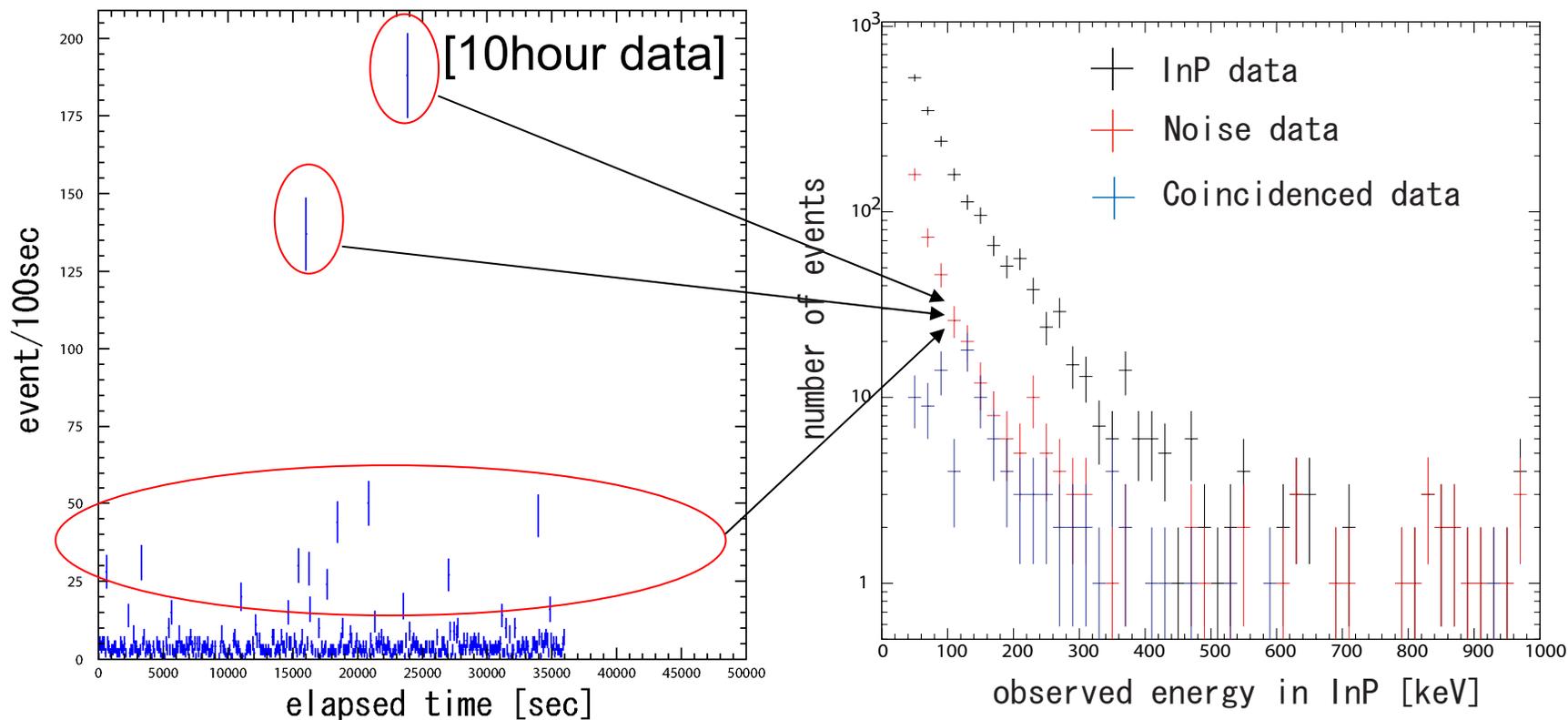
- 10時間で予想される ^{115}In の β 崩壊事象数 : 682events

- 観測スペクトル

- 低エネルギー側の事象数が多い
- 100keV以下の事象は振動による電氣的なノイズ?

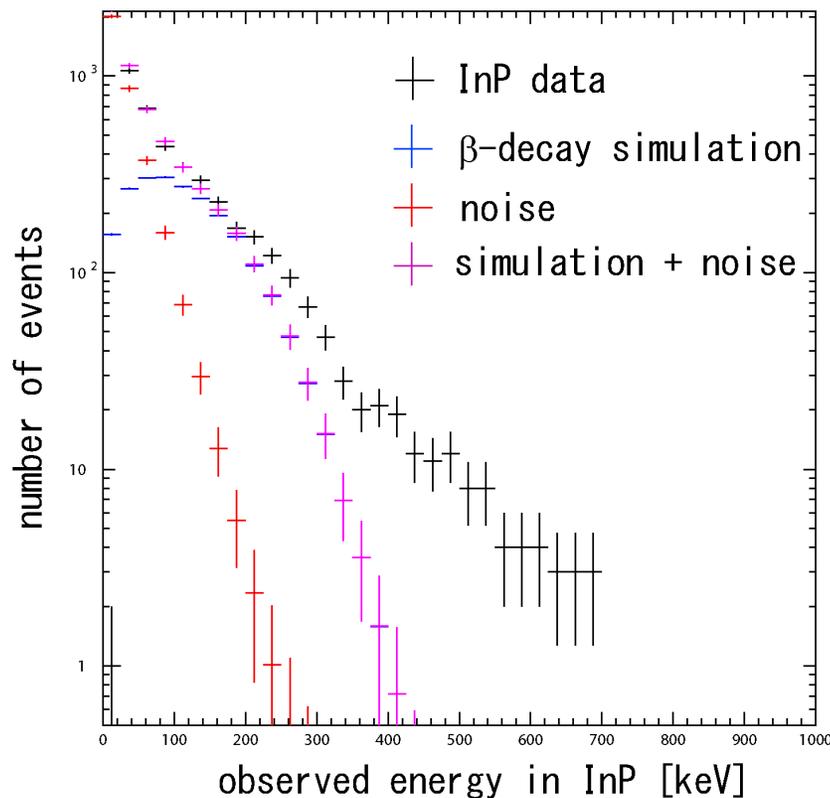
^{115}In の β 崩壊事象の確証はない

バックグラウンドの影響



振動によるノイズを含んでいる

^{115}In の β 崩壊スペクトル



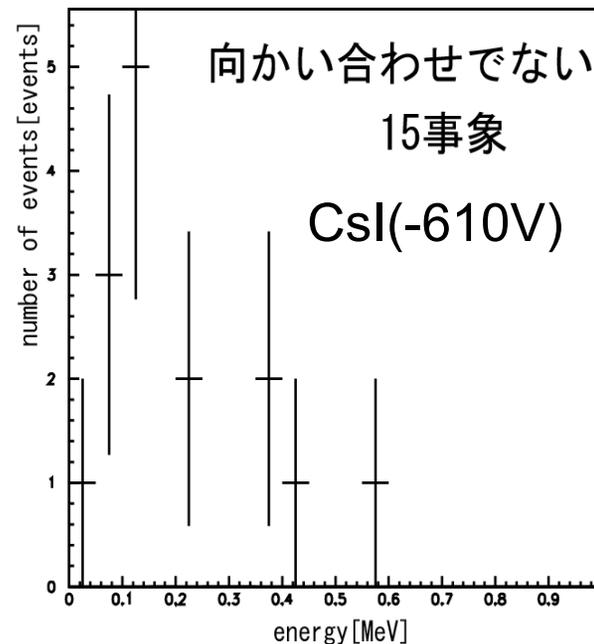
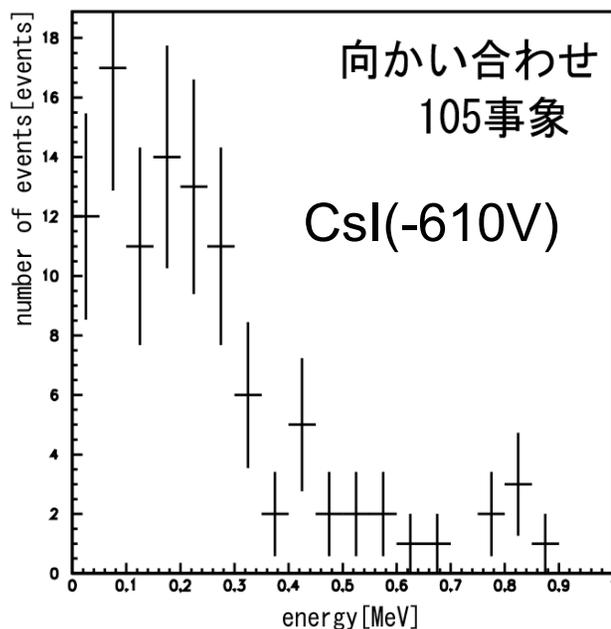
- 振動ノイズを仮定すると、 ^{115}In の β 崩壊スペクトルによる折れ曲がり再現
- 全体のスペクトル形状は合っていない
- 更にデータには400keV以上に事象が存在する



- ✓ シミュレーションの再調整
- ✓ 放射性元素の存在 (U/Th系列は $\sim 10^{-11}\text{g/g}$ の観測結果)

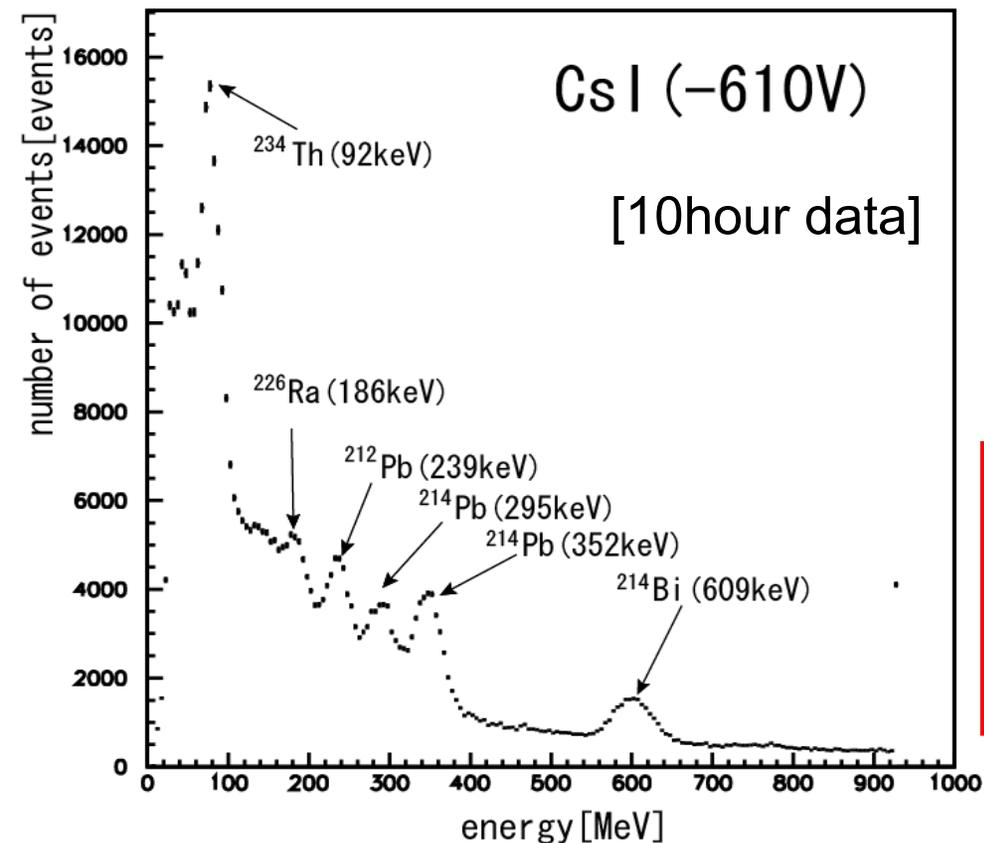
制動輻射線の観測

[10hour data]



- 10時間のcoincidence観測では、InPとCsIが対面でない時の事象数より、対面にある時の事象数が多い
- 100keV以上の事象が多いため、制動輻射ではない事象が観測されている

CsI中のU/Thバックグラウンド

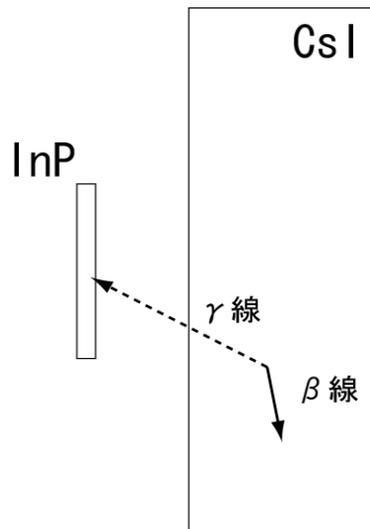
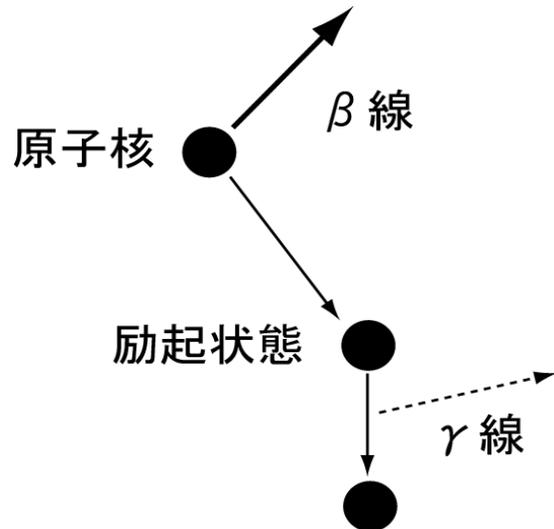


- CsI検出器自身が持つ天然のU/Th系列の γ ・ β 線を観測



観測されたU/Th系列バックグラウンドの影響を調べるためシミュレーションを行う

U/Thバックグラウンドシミュレーション



- InPとCsIを対面に設置した時、CsI内で発生するU/Th系列核のβ線とCsIで反応せずに外部に抜けたγ線がInP検出器で反応する過程をシミュレーションした

- シミュレーションしたU/Th系列核種

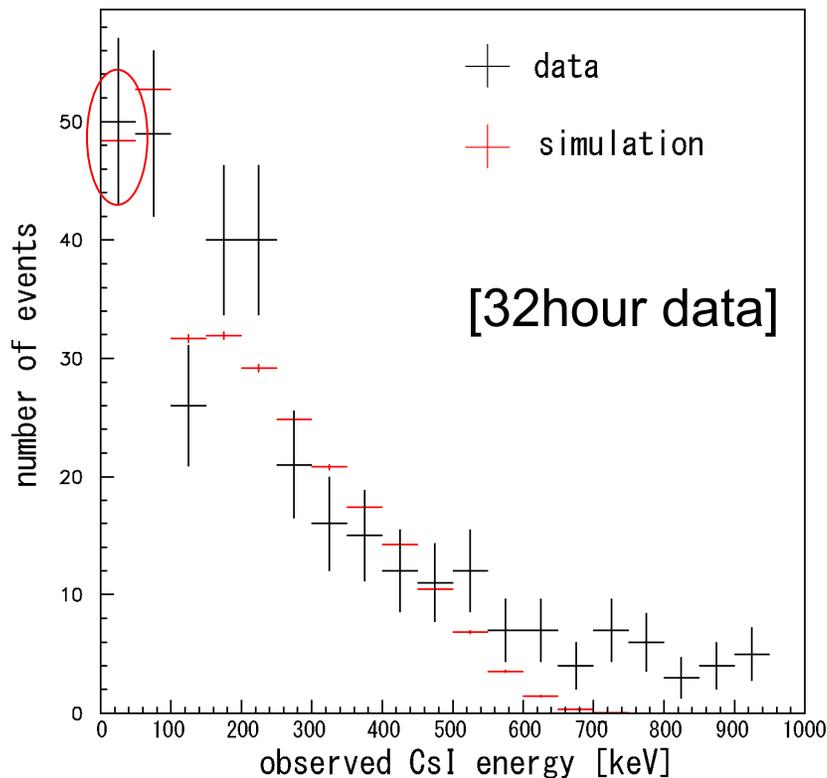
^{214}Pb ($E_{\text{max}} = 670\text{keV}$)

^{214}Pb ($E_{\text{max}} = 730\text{keV}$)、

^{212}Pb ($E_{\text{max}} = 334\text{keV}$)、

^{234}Th ($E_{\text{max}} = 106\text{keV}$)

観測とシミュレーションとの比較



- 100keV—500keV間でデータとシミュレーションの事象数を合わせる
- $\chi^2 = 9.4 / 9 \text{ dof}$ (45% C.L.)

観測スペクトルは β 崩壊スペクトルの重ね合わせ

- $E > 17.5 \text{ keV}$ で 1.75 事象が観測されると予想

統計の範囲内で一致

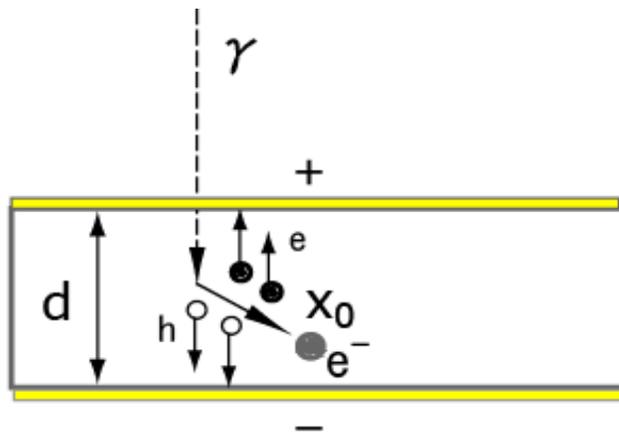
まとめ

- InP検出器で ^{115}In の β 崩壊スペクトルが明確には観測されていない(振動ノイズ等)
- CsI検出器により100–500keV領域で、U/Th系列の崩壊核 ^{214}Pb 、 ^{212}Pb 、 ^{234}Th を観測
- InPとCsIのcoincidence事象では、CsI内のU/Th系列の β 崩壊スペクトルの重ね合わせとほぼ一致
- ^{115}In の β 崩壊による制動輻射は、**17.5keV**以上では期待値と統計の範囲内で一致



- ✓ 太陽ニュートリノ観測では制動輻射バックグラウンドはほとんど影響しない
- ✓ γ 検出用シンチレータ内のU/Th系列からの γ 線による同時観測事象の影響がある

半絶縁性InP半導体を用いた検出原理



V_0 [volts]

μ : mobility [$\text{m}^2\text{v}^{-1}\text{s}^{-1}$]
 v : carrier velocity [ms^{-1}]
 E : electric field [vm^{-1}]
 d : thickness of SI InP
 x_0 : range of electron

$$E = V_0/d \quad v = \mu E = \mu V_0/d$$

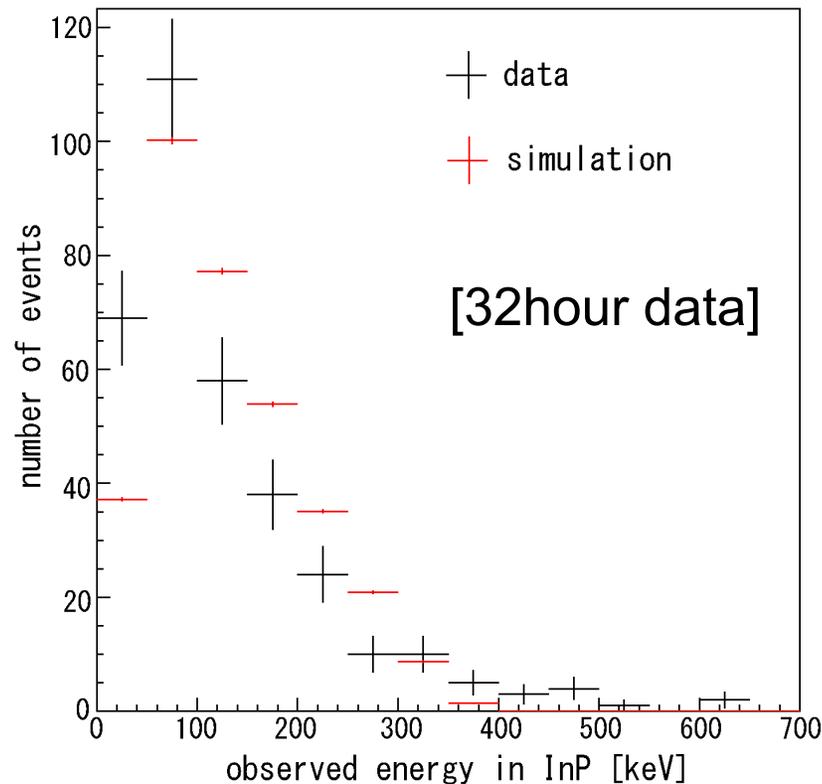
drift length : $L_d = \tau v = \mu \tau V_0/d$ τ : carrier lifetime [s]

e/h creation energy : ϵ_{eh}

charge $Q_{\text{total}}[\text{C}] = (\text{electron energy}) / \epsilon_{eh} \times e$

$$L_d \neq \infty \quad Q_{\text{obs}}[\text{C}] = \int_0^R (dE/dx) / \epsilon_{eh} e^{-r(x)/L_d} dx \times e$$

シミュレーションの検証



- CsI中で発生したU/Th系列の γ 線が、InPに入射し反応する過程をシミュレーション
- $\chi^2 = 45.3 / 7\text{dof}$
- 再現しているとは言えない

この後の検討課題

InP検出器による観測スペクトル

[10hour data]

