

後期P4実験

$^{58}\text{Ni}({}^3\text{He},n){}^{60}\text{Zn}^*$ 反応の 微分断面積測定

片山一樹 高井弦希

土井隆暢 中森悠太

西原拓哉 原田健志

古田悠稀

宇宙における元素合成過程

- Feまでの元素

恒星内部での熱核反応により生成

- Feよりも重い元素

明らかになっていないことが多い

⇒いくつかの過程によって生成され则认为られている

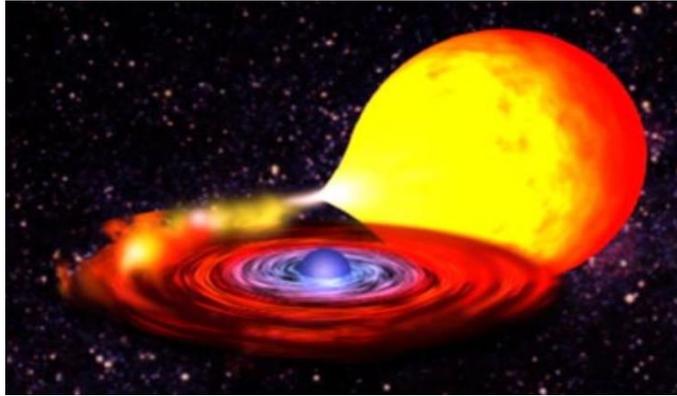
1. 中性子捕獲 (r-process、s-process) によるもの

2. 陽子捕獲 (rp-process) によるもの

今回は、rp-processに注目

rp-process

- 片方が中性子星の連星系において発生

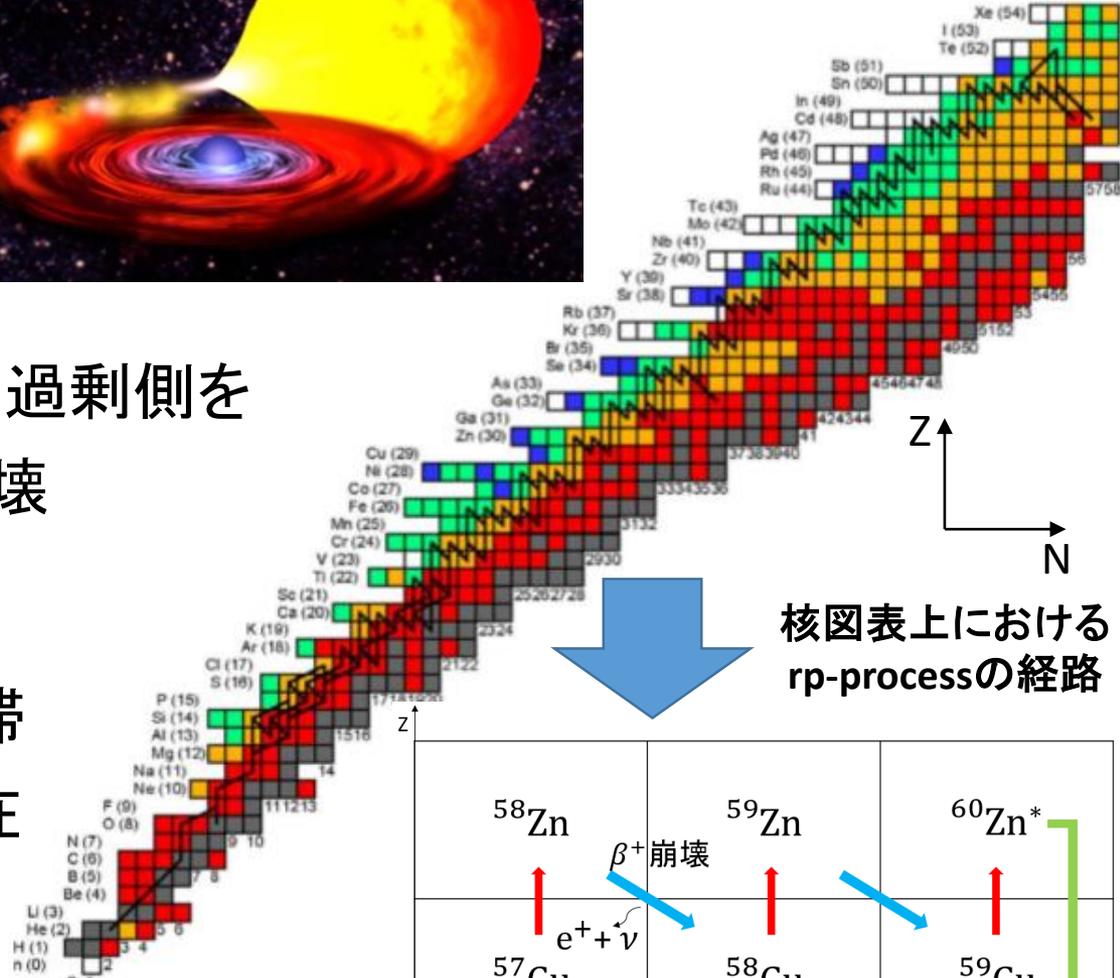
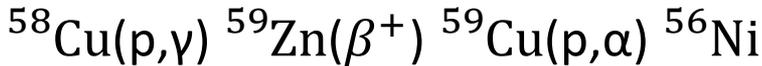


提供: NASA

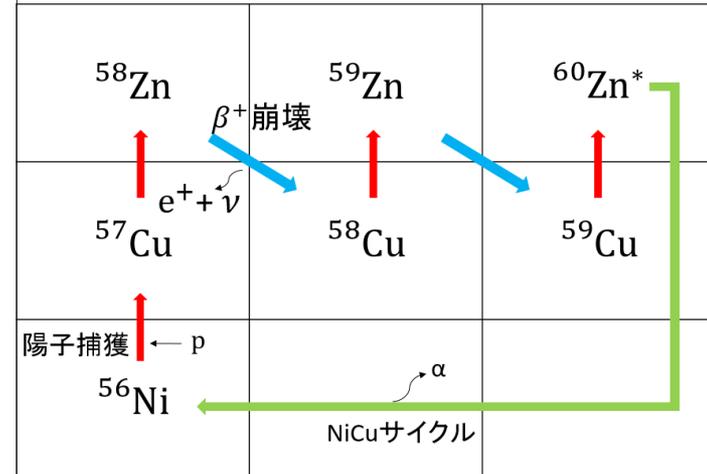
- 原子核の安定領域の陽子過剰側を経由し、陽子捕獲と β^+ 崩壊により進行

- ^{56}Ni 近傍に rp-process が停滞する最初の bottleneck が存在

⇒ NiCu サイクル



核図表上における rp-process の経路



このサイクルを越えないと重い元素になれない



^{59}Cu のp捕獲 \rightarrow $^{60}\text{Zn}^*$ の共鳴状態

1: α 粒子を放出し、 ^{56}Ni に戻る (NiCuサイクル)

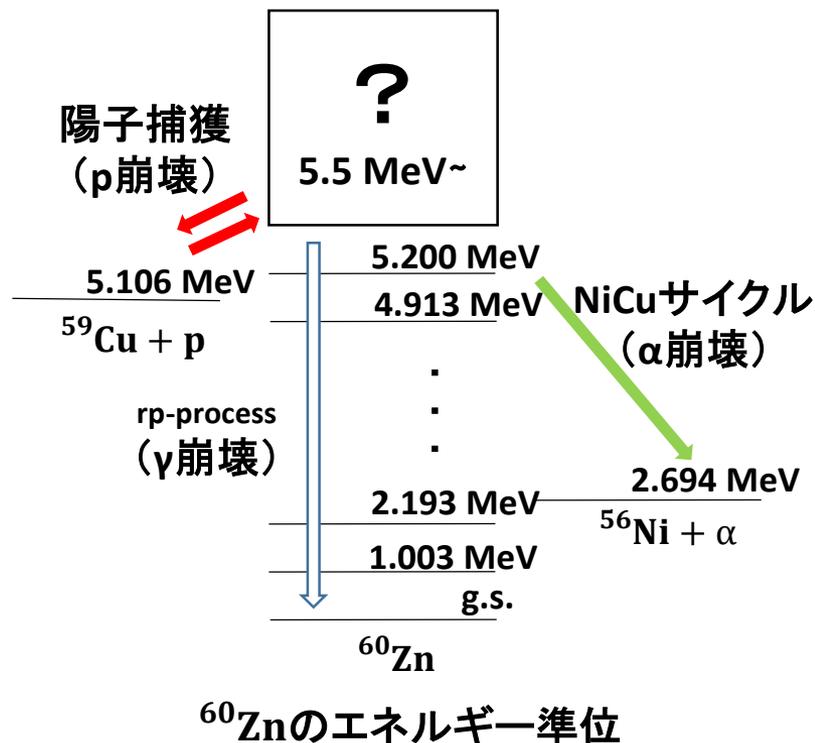
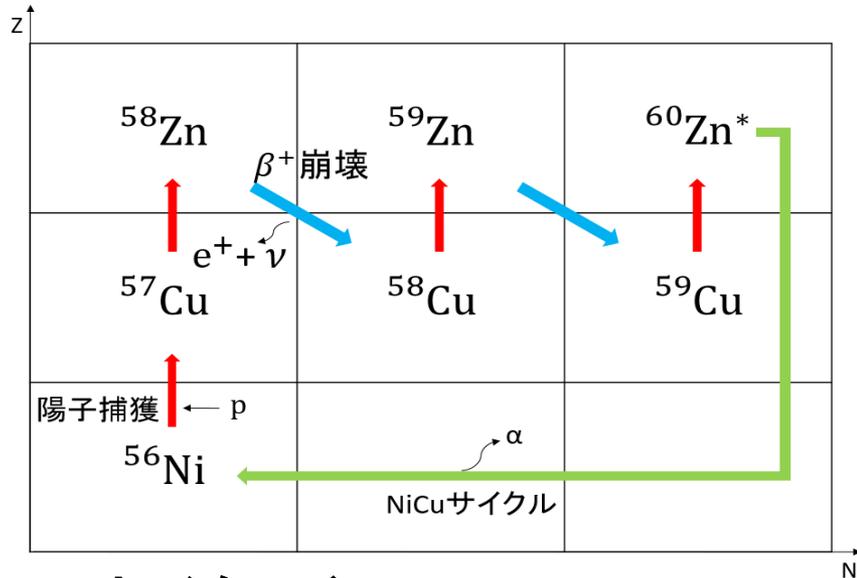
2: pを放出し ^{59}Cu に戻る

3: γ 崩壊し ^{60}Zn の基底状態となる

\Rightarrow rp-processが進行!

rp-processの進行は、 $^{60}\text{Zn}^*$ の励起状態 E_x 、スピンパリティ J^π 、 α, γ, p 崩壊への分岐比に依存

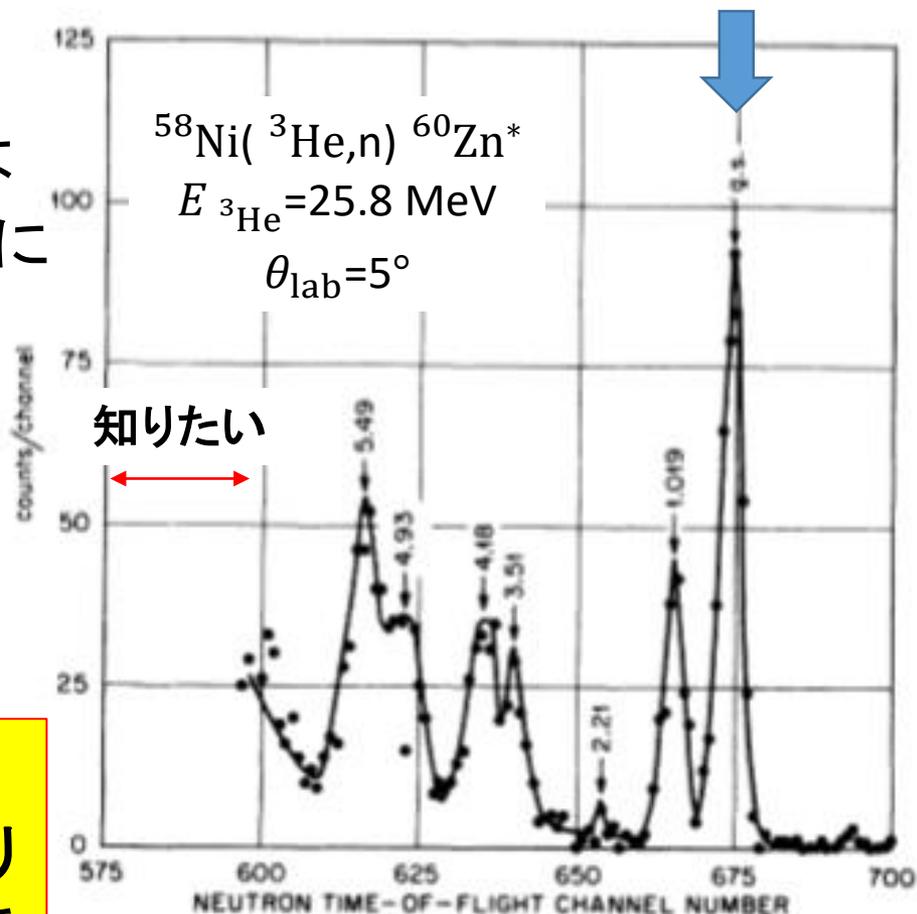
\Rightarrow これらを実験で決めたい



今回の目的

分解能: 約340keV
(FWHM)

rp-processの反応率を知るためには
陽子崩壊閾値近傍(5.5~7.5MeV)に
注目する必要があるが、調査が
不十分(E_x 、 J^π がわかっていない)



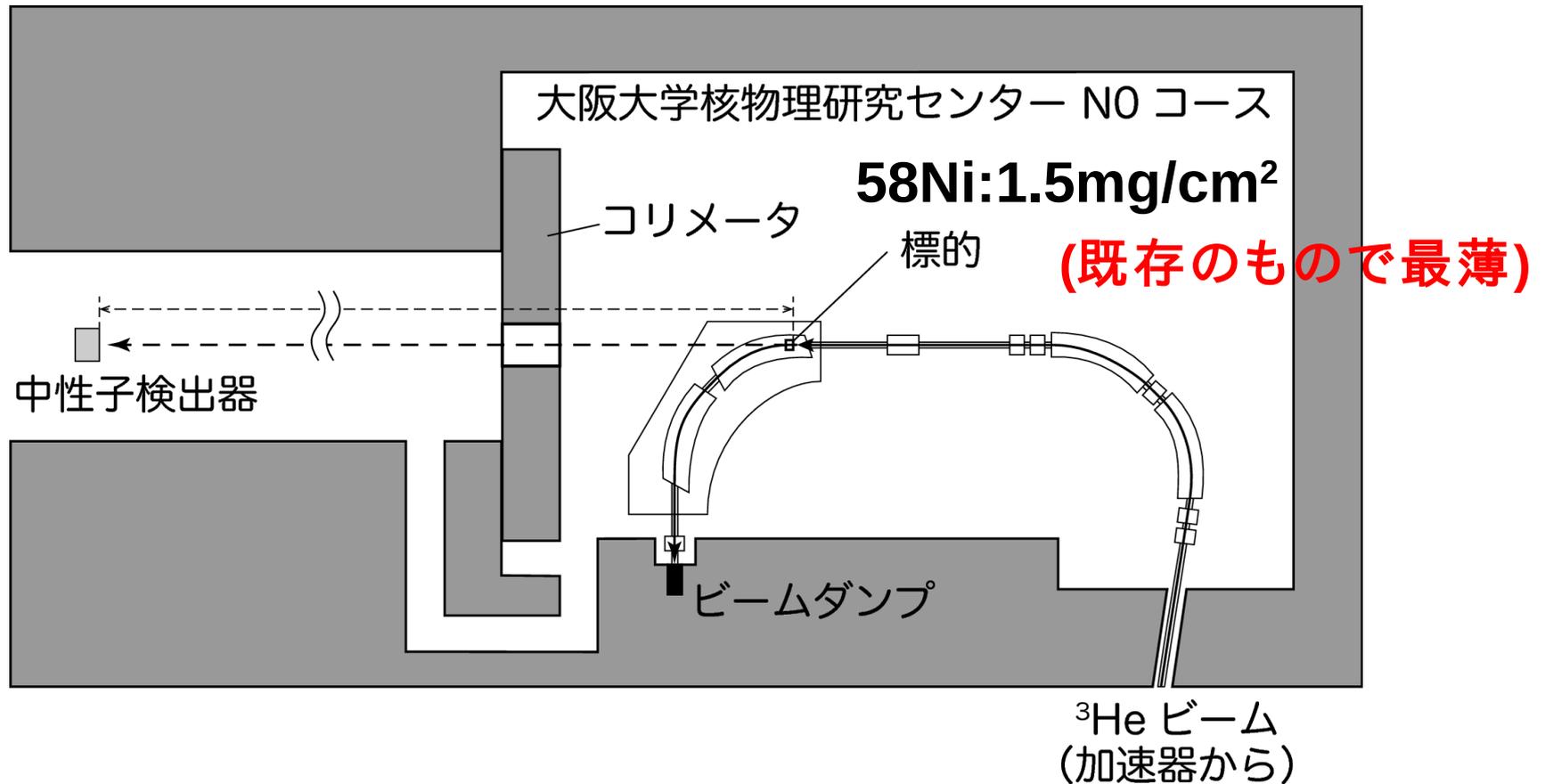
↓ $^{60}\text{Zn}^*$ を作る必要

$^{58}\text{Ni}(^3\text{He},n)^{60}\text{Zn}^*$ 反応を利用し
5.5~7.5MeVにおいて先行研究より
(FWHM: 340keV)より良い分解能で
励起状態 E_x の同定と J^π の決定する

M. B. Greenfield による測定
0~5.5MeVまでの励起状態のスペクトル

Setup

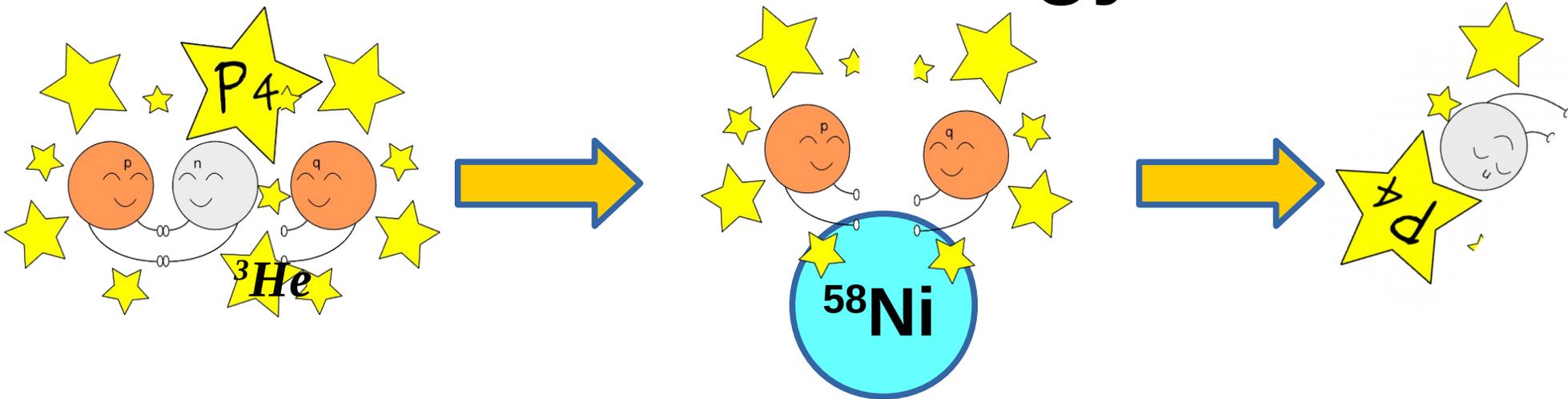
RCNPのN0コースを使って $^{58}\text{Ni}(^3\text{He},n)^{60}\text{Zn}^*$ の反応を測定する



目標: 5.5~7.5MeVの励起状態と
J π を良い分解能で測定

- Beam Energy
- 測定する角度分布
- 飛行距離

Beam Energy



Beam Energyが高すぎると核子移行反応が起こりにくい
せいぜい核子あたり10 MeV程度まで(${}^3\text{He}$ なので30 MeV程度)

➡ RCNPで加速実績があるのは14, 25 MeV

これに50 MeVも加えて、3種類のBeam Energyを検討

1. J^π を決められるかという観点と

2. 励起スペクトルの分解能の観点

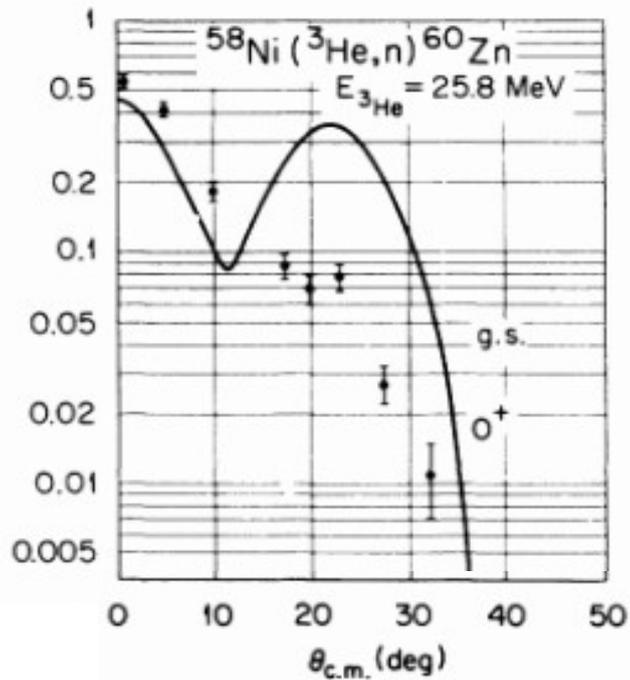
からBeam Energyを決めていく

J π の決め方

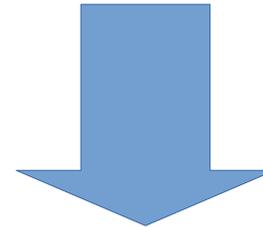
生成核のJ π によって微分断面積の
角度分布に特徴が出る



微分断面積の角度分布から
生成核のJ π がわかる



M. B. Greenfield et. al. は実験値の角度分布と
理論計算 (JULIE)の角度分布を
比較することによってJ π を決定した

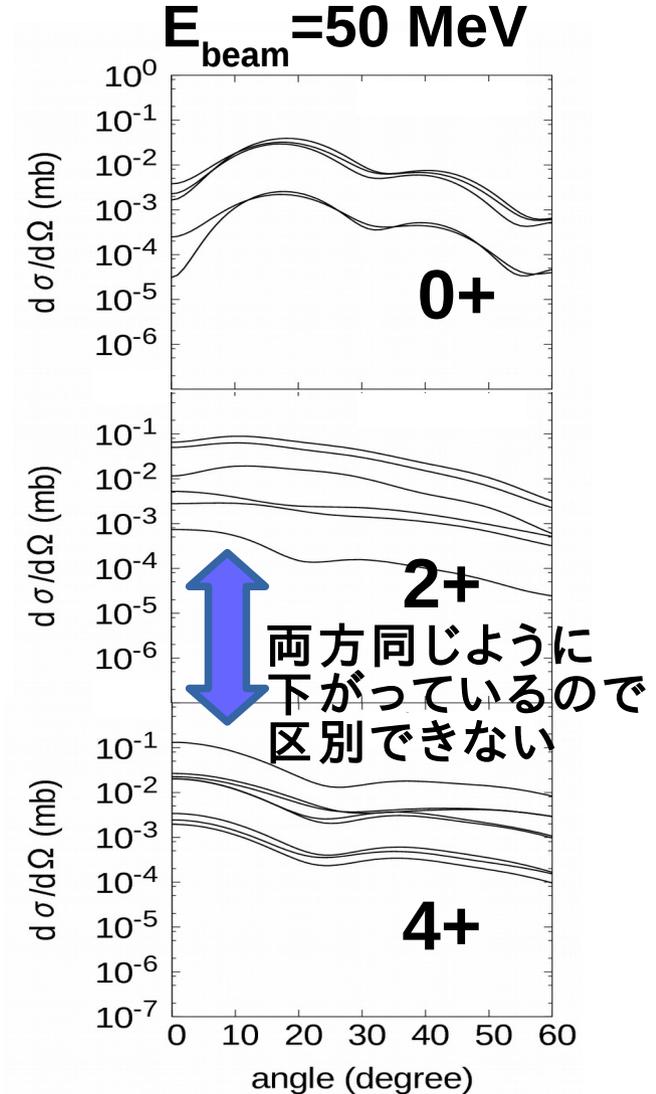
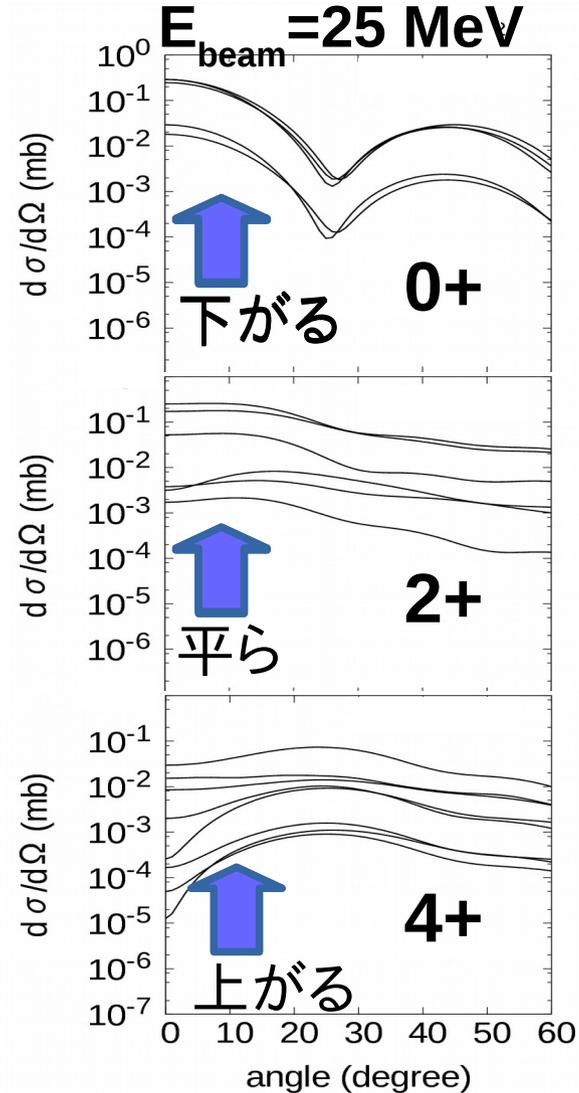
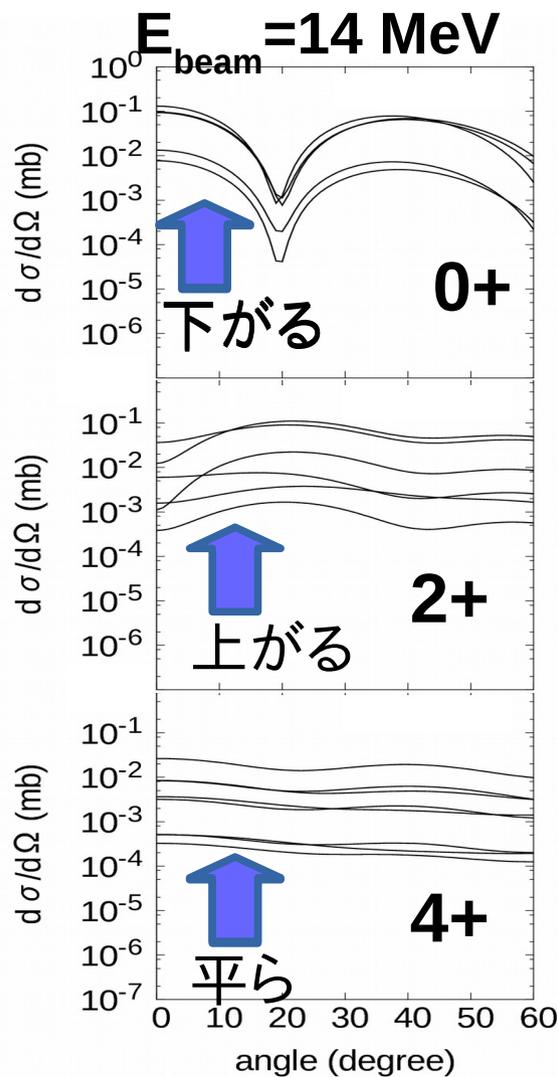


我々は比較するための理論計算コードとして
NuShellX (William D. N. Rae)、
Fr2in、Fresco (Ian J. Thompson)を用いる
計算コードの詳細は後述

各励起状態について微分断面積の角度分布を測定する

J π を決められるか

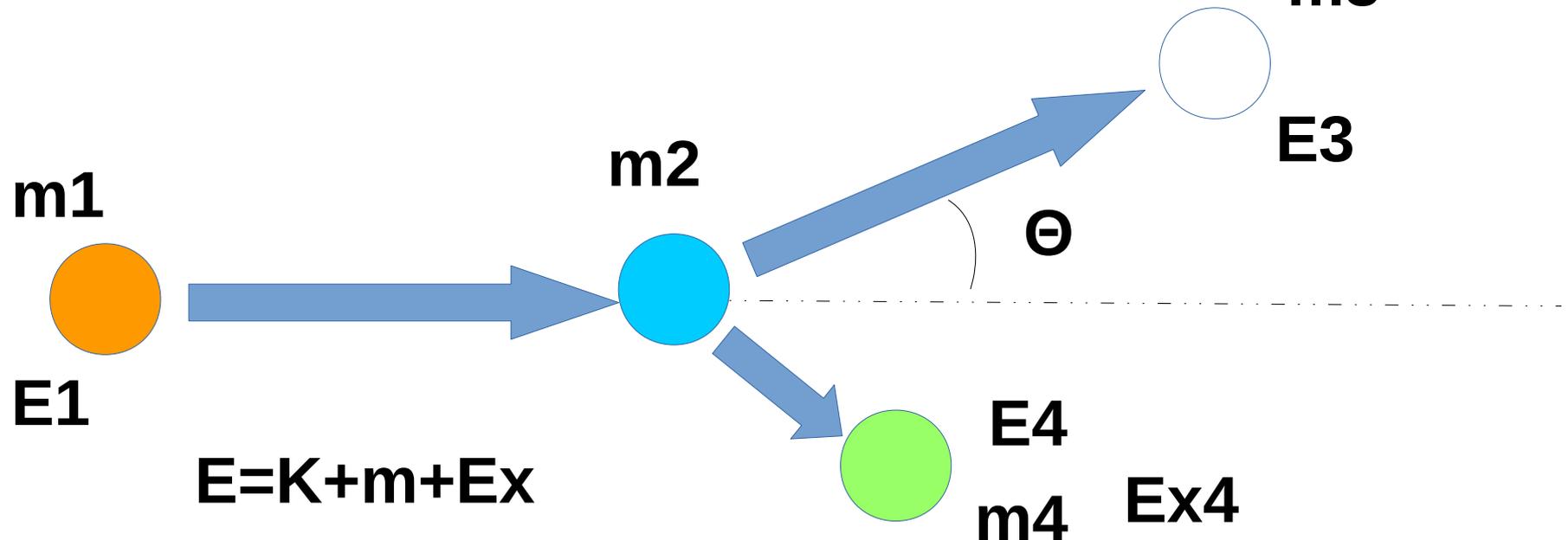
Beam Energyの条件を変えて角度分布を理論計算



14 or 25 MeVなら特定できる

50 MeVは難しい

励起エネルギーの測定



運動学より Ex_4 は E_1 、 E_3 、 Θ から求めることができる

$$Ex_4 = f(E_1, E_3, \Theta)$$

励起スペクトルの分解能

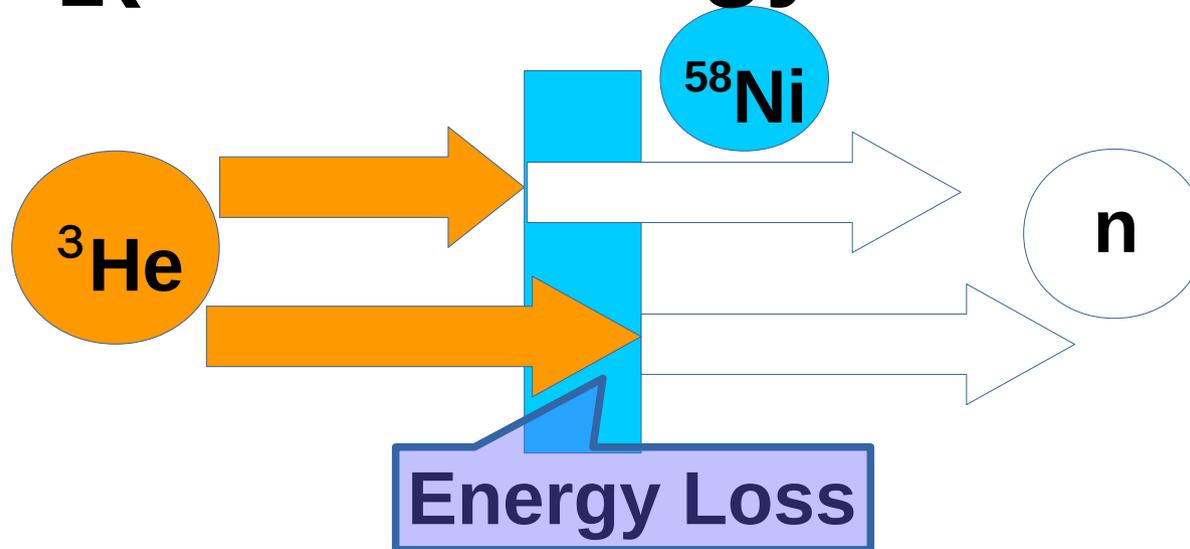
$$\Delta Ex_4 = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial E_1} \Delta E_1\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial E_3} \Delta E_3\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \Theta} \Delta \Theta\right)^2}$$

- ΔE_1
- ΔE_3

$\Delta \Theta$ は十分小さいので分解能に関わるのは ΔE_1 と ΔE_3

(※今回の実験では $\Delta \Theta \approx 0.013 \text{ rad}$)

ΔE_1 (Beam Energyの拡がり)



- ΔE_1
- ΔE_3

標的には厚さ(1.5 mg/cm²)があるため
反応する場所によって入射Energyの差が生まれる

Beam Energy	14 MeV	25 MeV	50 MeV
厚さによる Beam Energy拡がり	300 keV	200 keV	120 keV

14 MeVだと分解能が悪い
(50 MeVだとJ π が決まらない)

Beam Energyは25 MeV

- **Beam Energy**
- 測定する角度分布
- 飛行距離

ΔE_3 (neutronのEnergy拡がり)

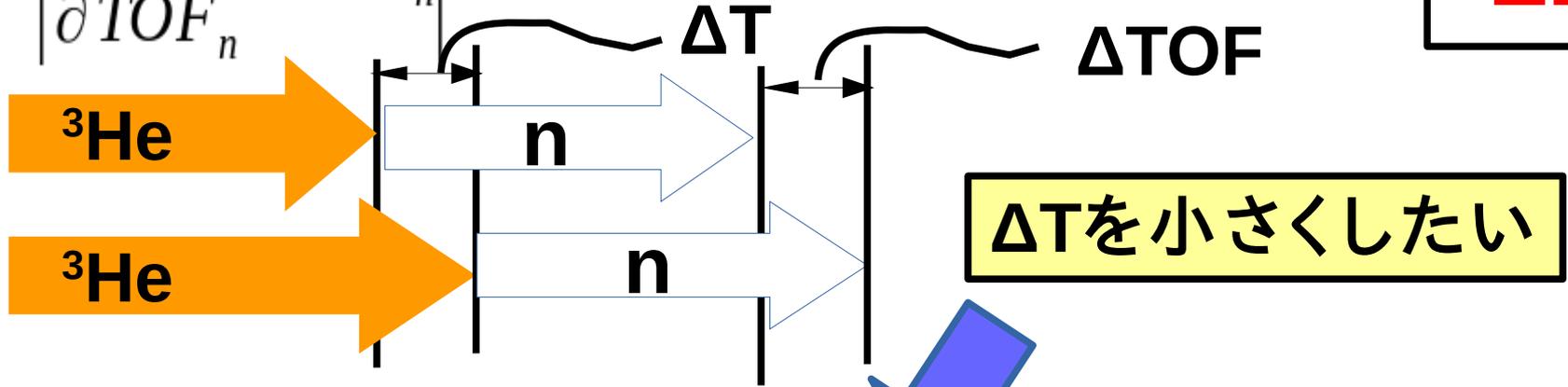
中性子のEnergyは中性子の飛行時間から測定する

$$E_3 = m_3 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - (L / TOF_n c)^2}} \right) \quad L: \text{飛行距離} \quad TOF_n: \text{中性子の飛行時間}$$

$$\Delta E_3 = \left| \frac{\partial E_3}{\partial TOF_n} \Delta TOF_n \right|$$

ΔTOF_n はBeamの標的での時間拡がりに起因する

- ΔE_1
- ΔE_3



Beam

電圧

バンチャー

バンチャーによって遅いBeamは加速され速いBeamは減速される

AVFサイクロトロン

ΔT を1.2ns(FWHM)を目指して小さくする

$\Delta T = 1.2 \text{ ns} \approx \Delta TOF$ と仮定して飛行距離ごとの ΔE_3 を計算する

励起スペクトルの分解能と飛行距離

飛行距離と励起スペクトル分解能

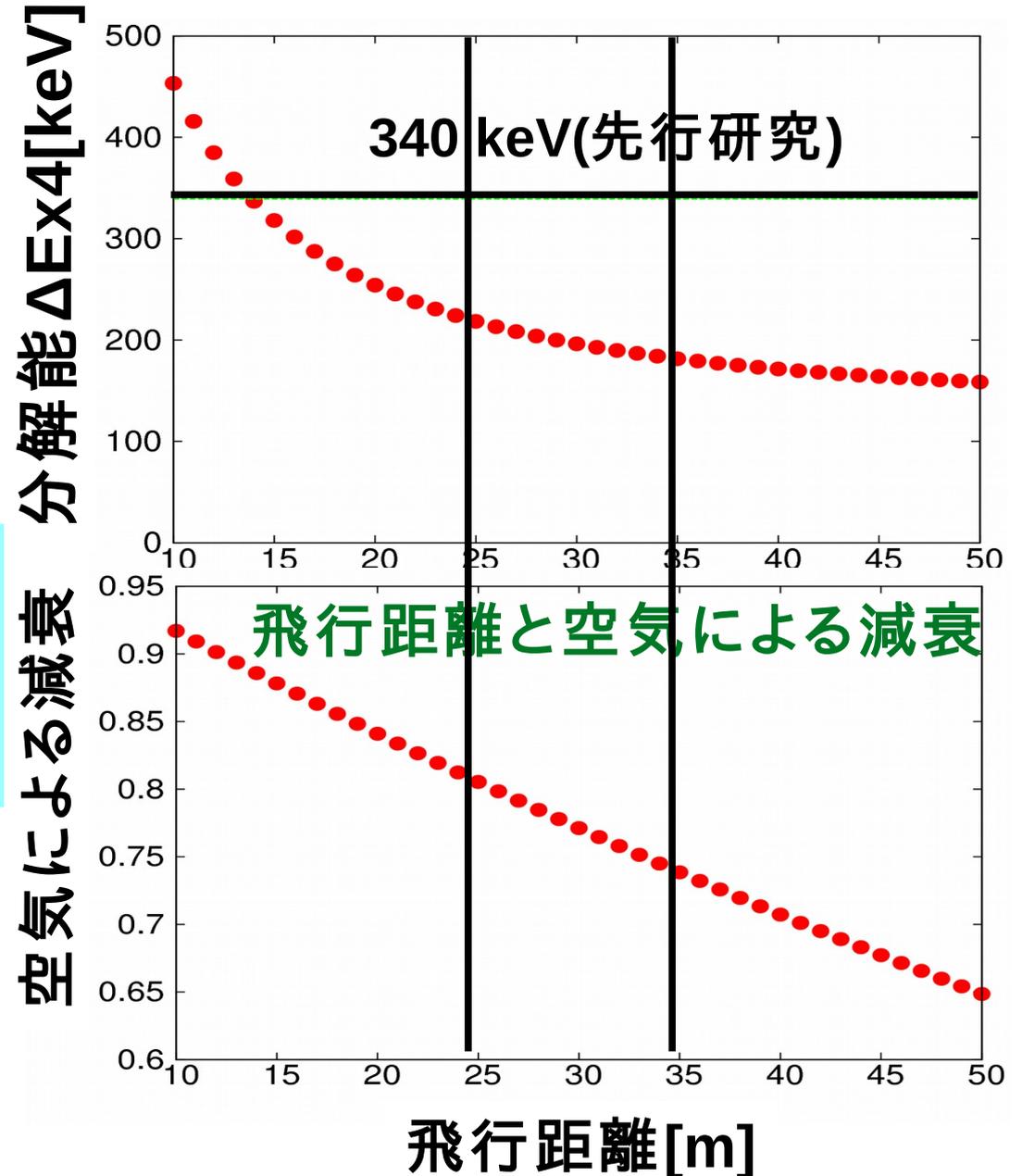
$$Ex_4 = f(E_1, E_3, \Theta)$$

$$\Delta Ex_4 = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial E_1} \Delta E_1\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial E_3} \Delta E_3\right)^2}$$

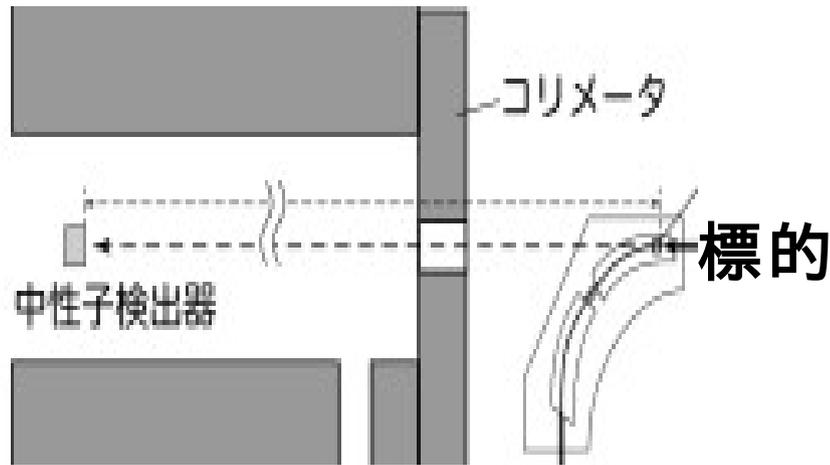
飛行距離を伸ばせば分解能は良くなるが
中性子が空気と散乱され
検出できる量が減る



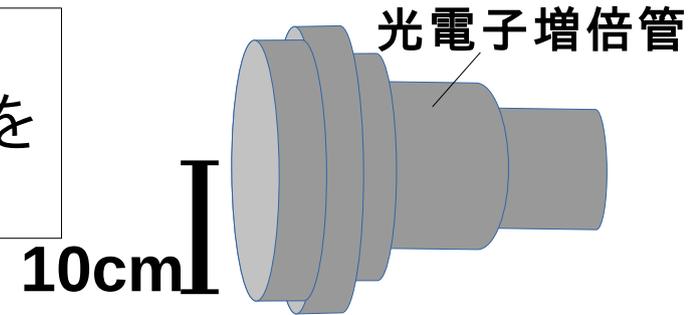
25~35 mくらいがいい
分解能 200 keV 程度
減衰率 0.76 程度



検出器と飛行距離

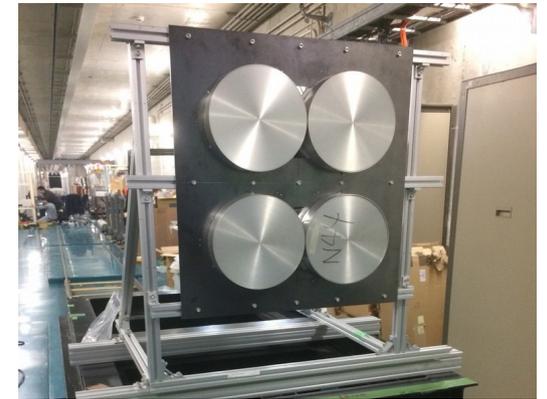
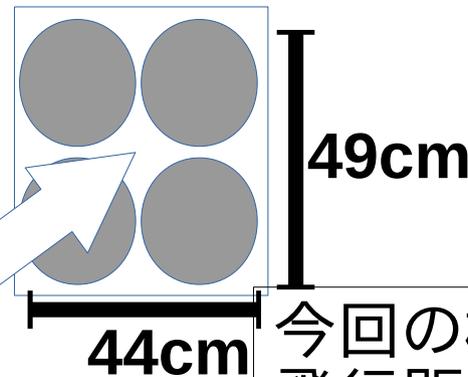


半径10 cmの
中性子検出器を
4つ並べる



ノイズを減らすために
コリメータを設置した

scintillator



今回の検出器がちょうど入る
飛行距離は27.3 m

collimator

target

12.5cm

10cm

6.2m

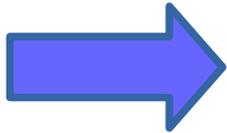
^3He _Beam

飛行距離**29 m**に決定

- **Beam Energy**
- 測定する角度分布
- **飛行距離**

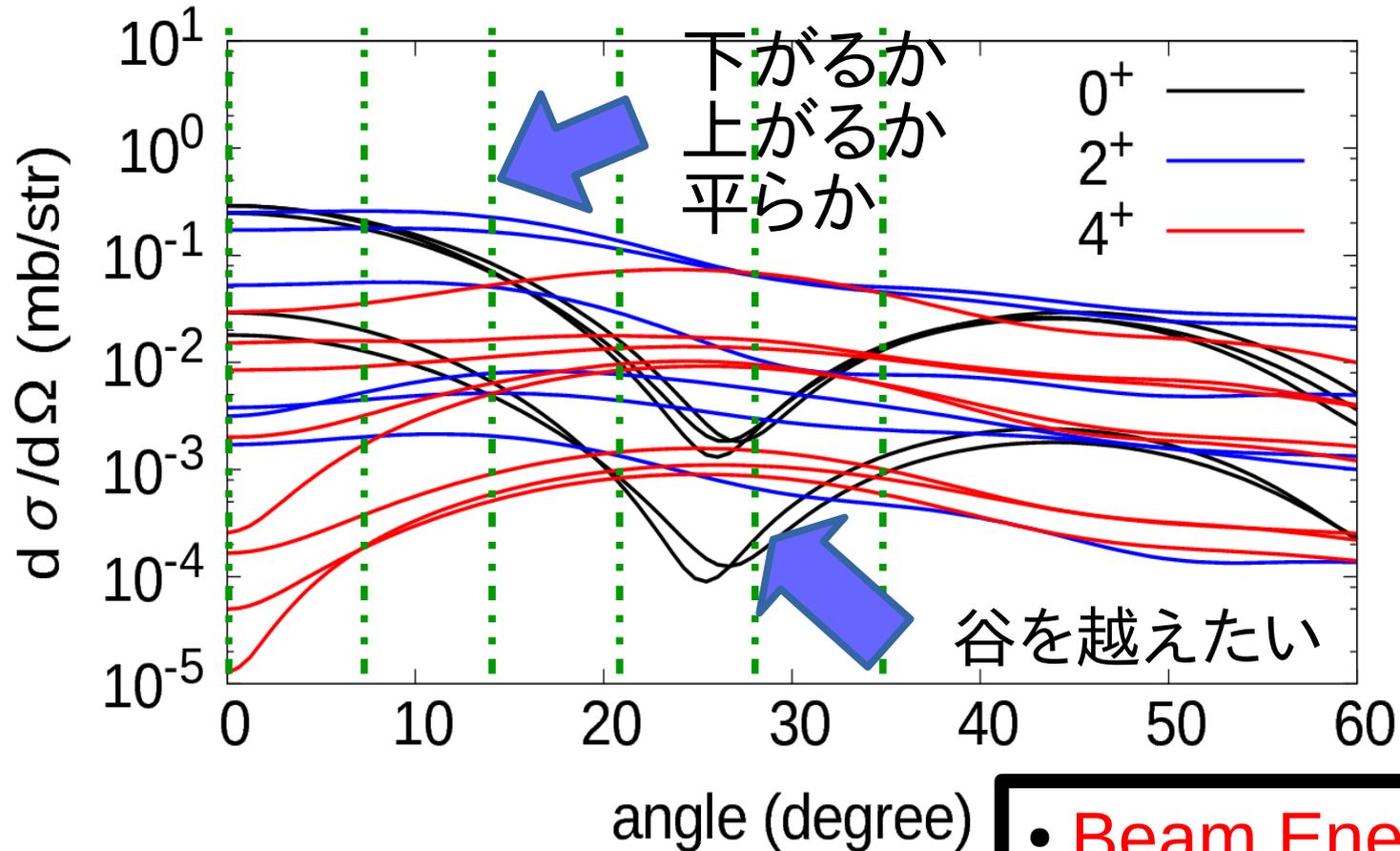
測定角度の決定

J^π を特定できるように測定する角度を決める



後方角度ほど断面積が小さいので測定に時間がかかる

$^{58}\text{Ni}(^3\text{He},n)^{60}\text{Zn}$, $E_{\text{lab}}=25\text{MeV}$



0°, 7°, 14°, 21°, 28°, 35°の
6点を測定する

- Beam Energy
- 測定する角度分布
- 飛行距離

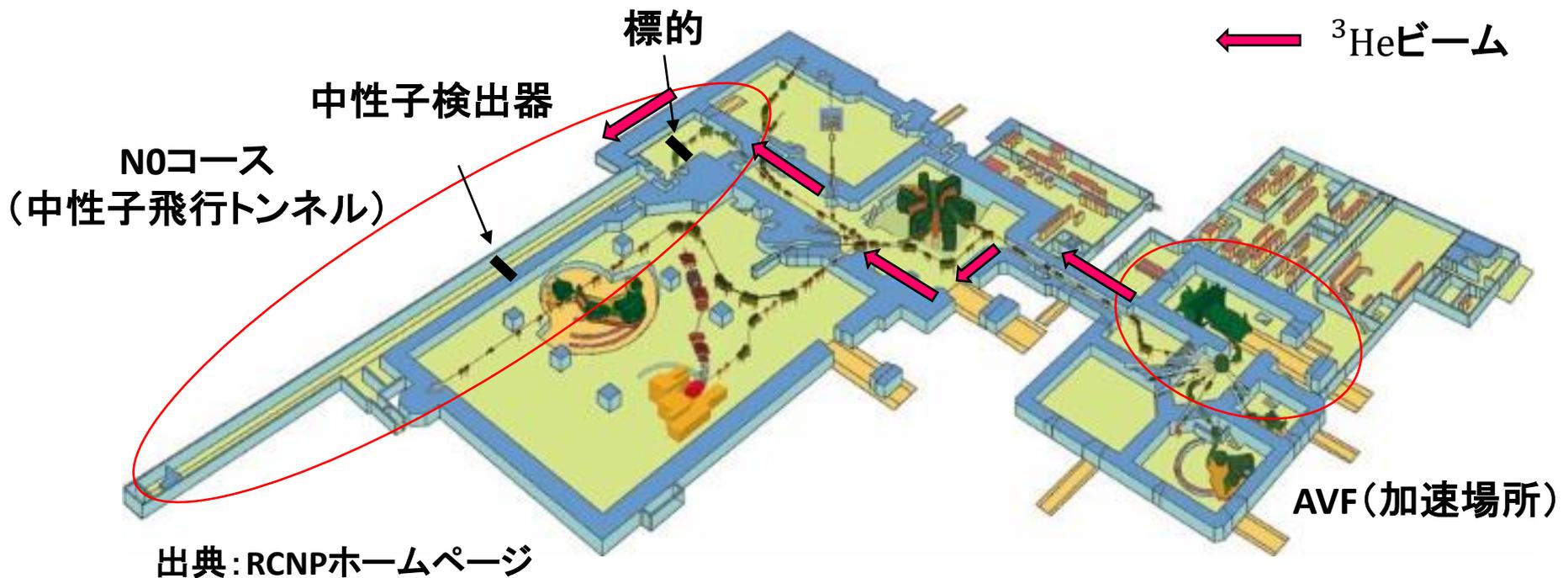
Experimental Condition

反応	$^{58}\text{Ni}(^3\text{He},n)^{60}\text{Zn}^*$
Beam Energy	25 MeV
飛行距離	29 m
測定角度	0°, 7°, 14°, 21°, 28°, 35°

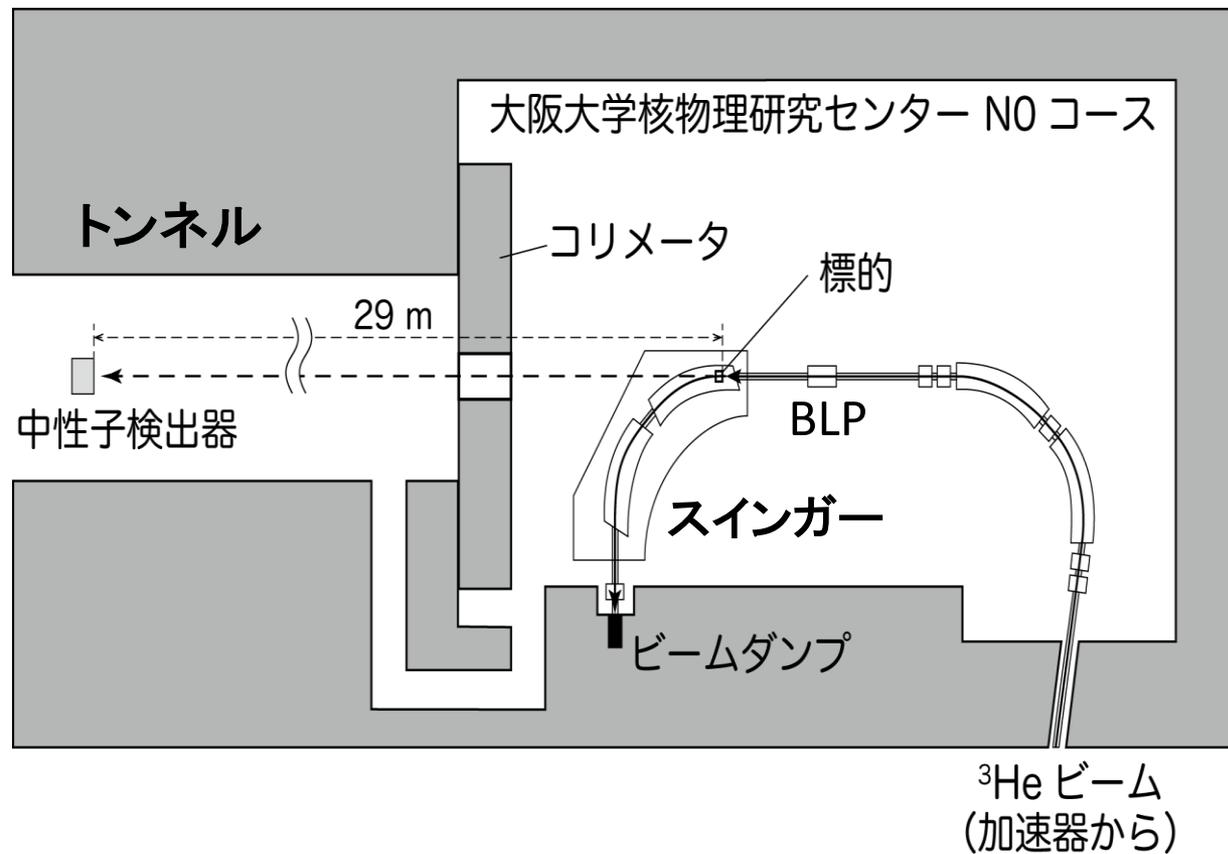
期待される分解能は**200 keV(FWHM)**
(先行研究は340 keV)

セットアップ

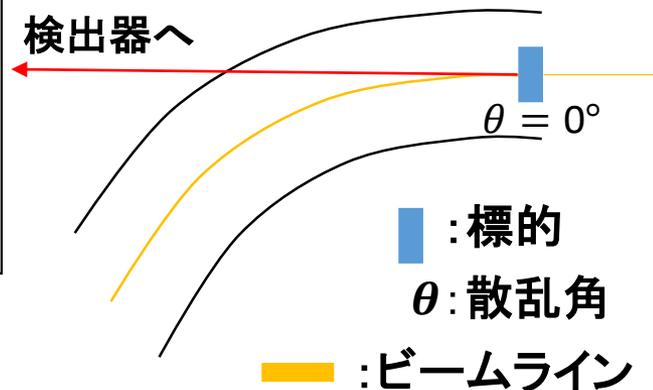
今回の実験は、大阪大学核物理研究センター (RCNP) のN0コースで行った。



N0コース拡大図

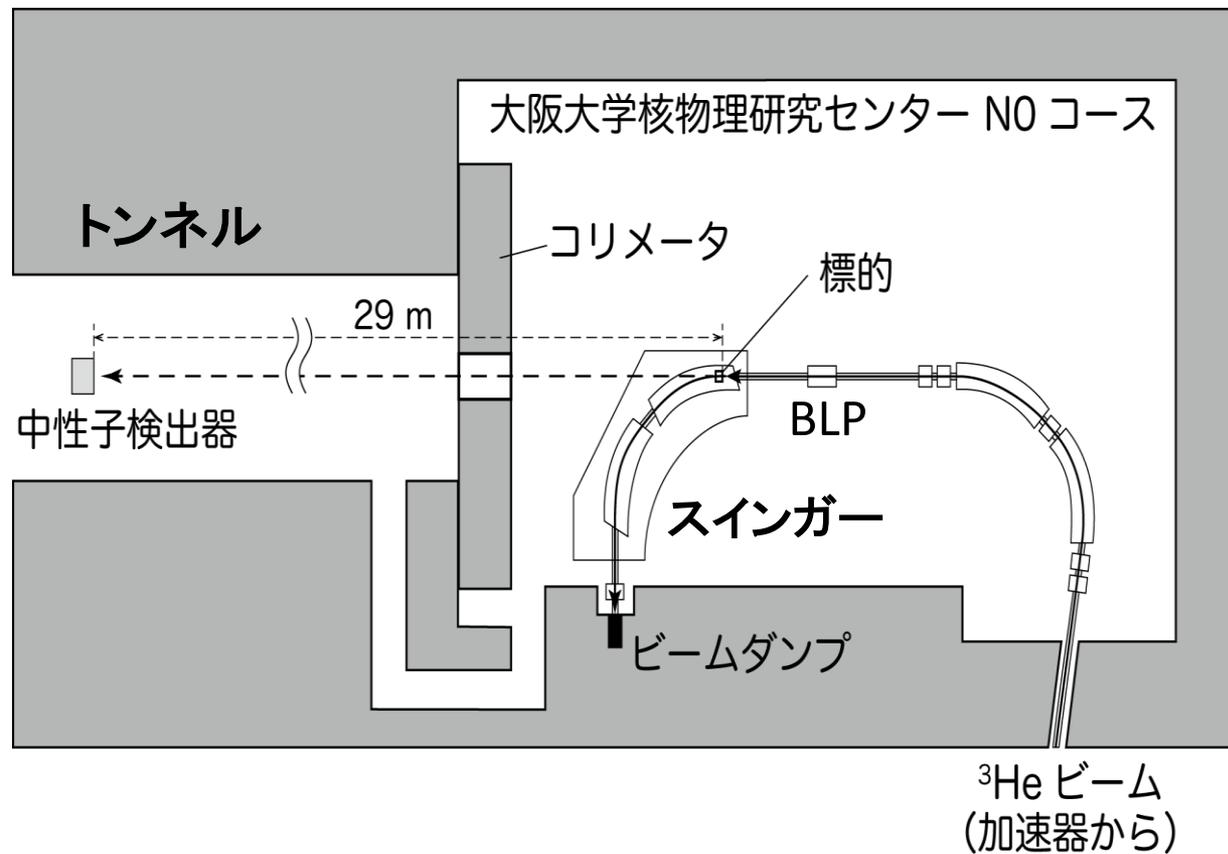


・散乱角は標的をスインガー内で動かすことにより調節 ($0^\circ, 7^\circ, 14^\circ, 21^\circ, 28^\circ, 35^\circ$ の6点)

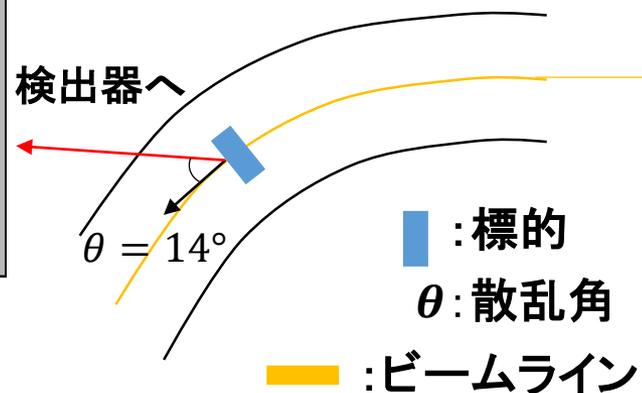


・各散乱角でビームダンプに向かうビームが標的の中心に当たるために、 0° において標的の位置を決定 (スインガーの回転とビームの曲がりが一致していると仮定)

N0コース拡大図



・散乱角は標的をスインガー内で動かすことにより調節 ($0^\circ, 7^\circ, 14^\circ, 21^\circ, 28^\circ, 35^\circ$ の6点)

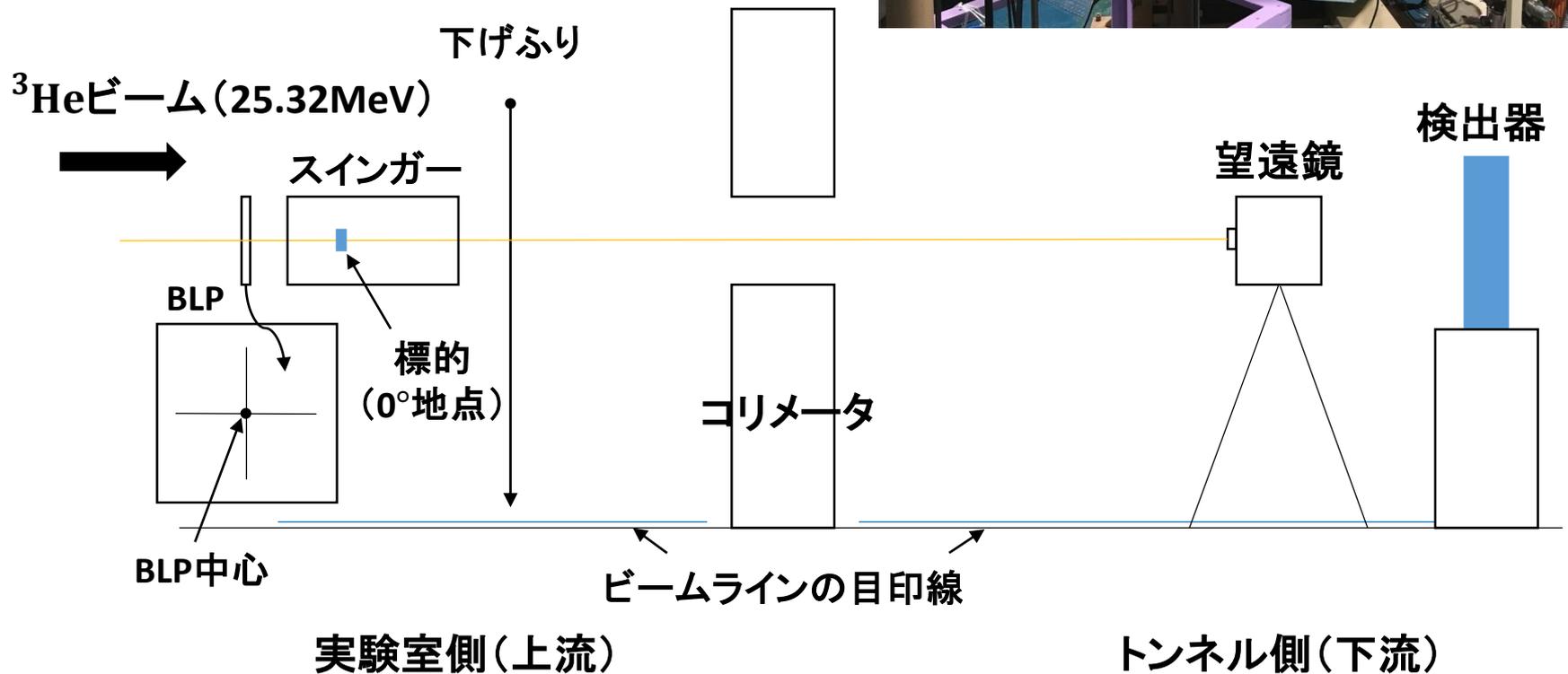


・各散乱角でビームダンプに向かうビームが標的の中心に当たるために、 0° において標的の位置を決定 (スインガーの回転とビームの曲がりが一致していると仮定)

Alignment

・ビームライン

実験室側のBLP中心と下げふりを通るように決定し、標的を置いた

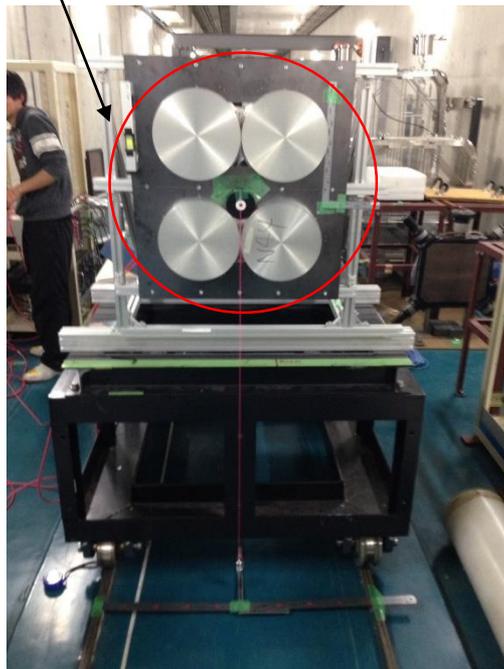


・検出器（液体シンチレータ）

検出器の高さはコリメータの
罫書き線に合わせ、横は
トンネルの中心に合わせた

・飛行距離

レーザー距離計を用いて
検出器から標的までの
距離を各散乱角度で計測

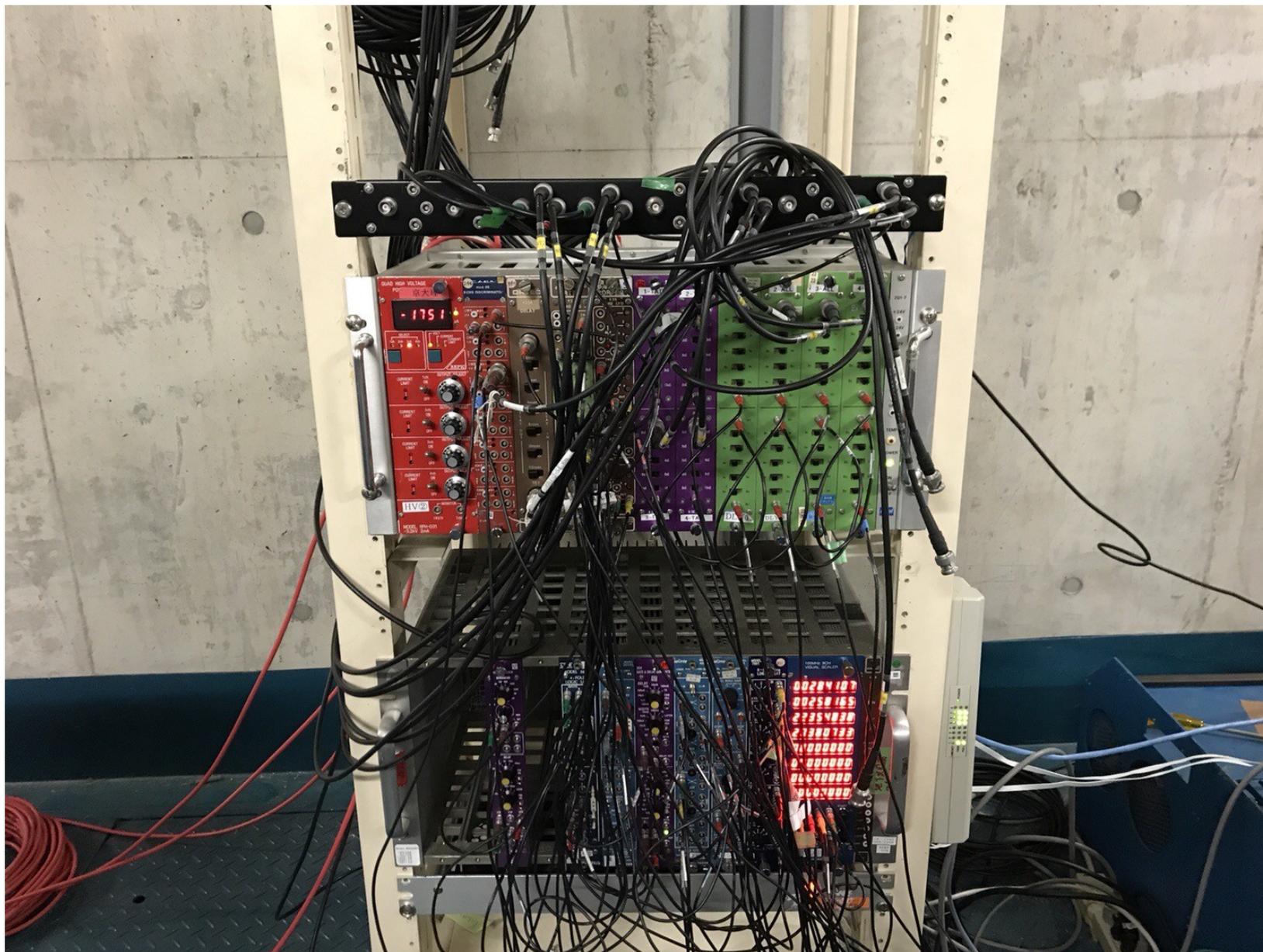


コリメータ

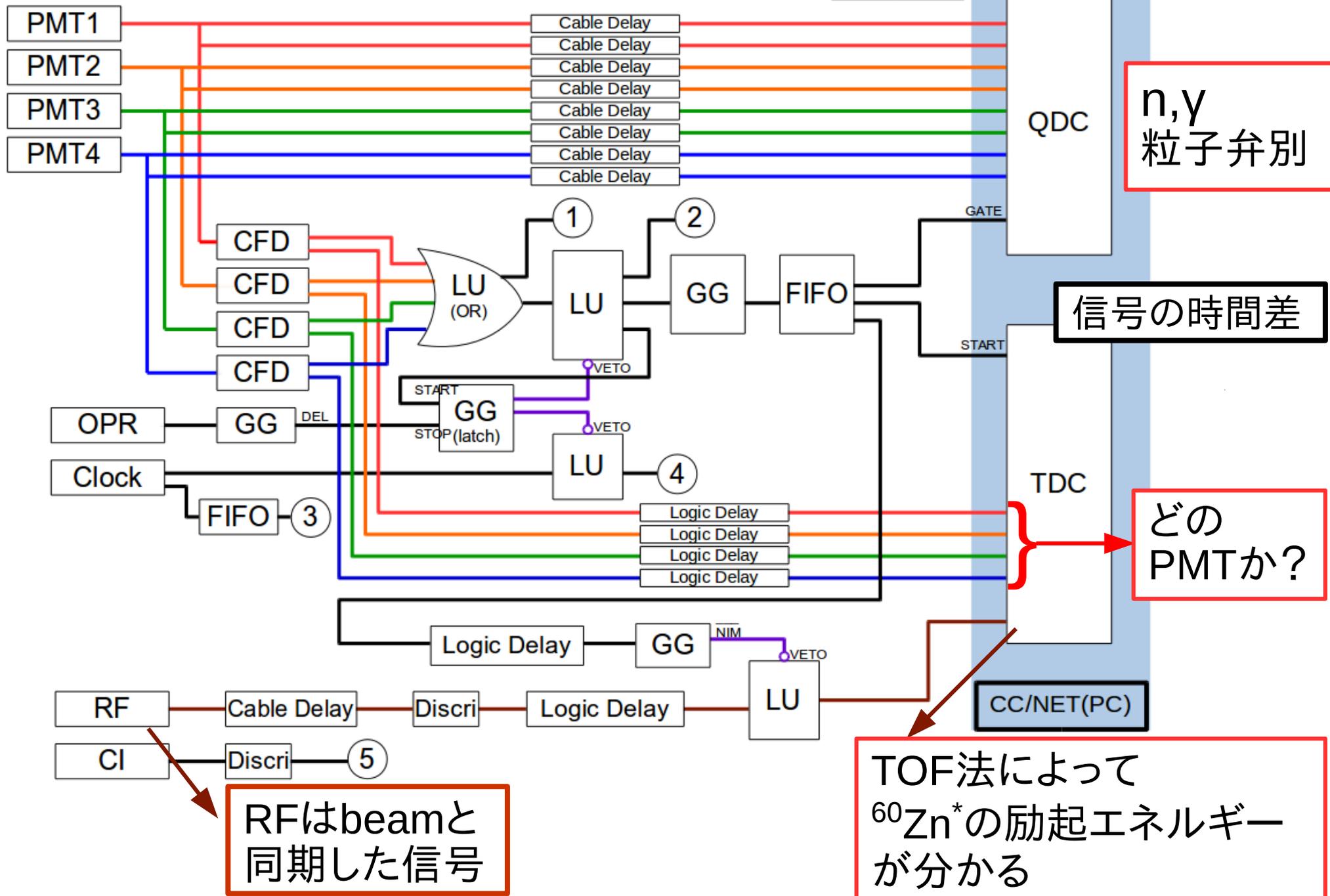


角度	0°	7°	14°	21°	28°	35°
距離(cm)	2938.4	2909.7	2886.1	2863.1	2840.7	2820.9

データ収集回路



データ収集回路



解析

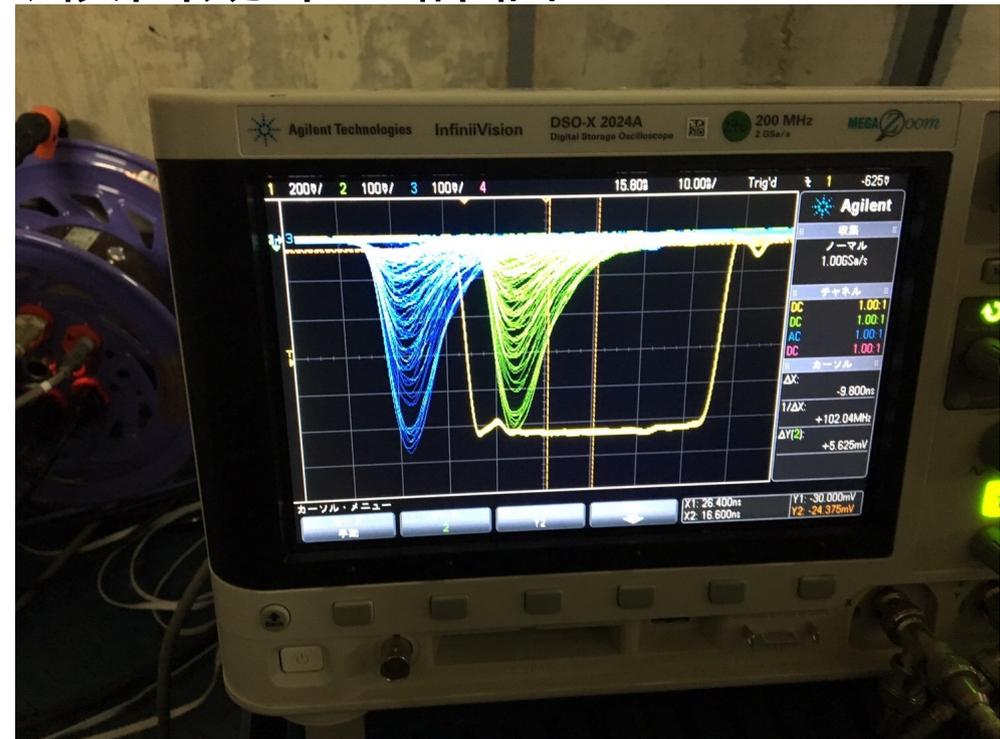
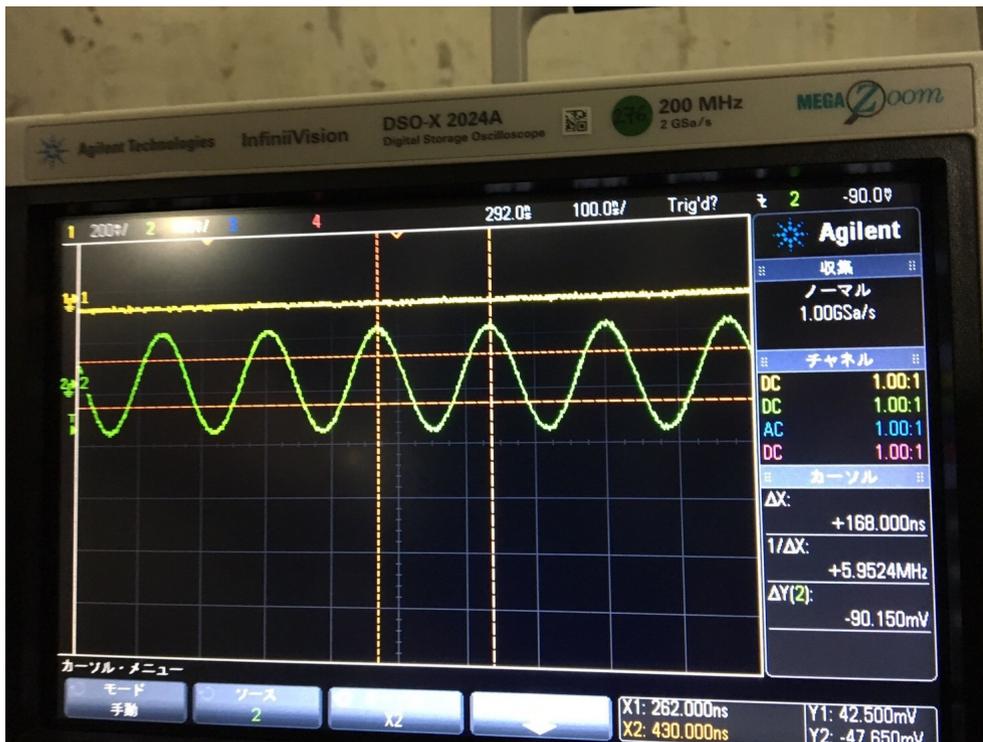
トマト缶: 2 kg

パスタ: 5 kg

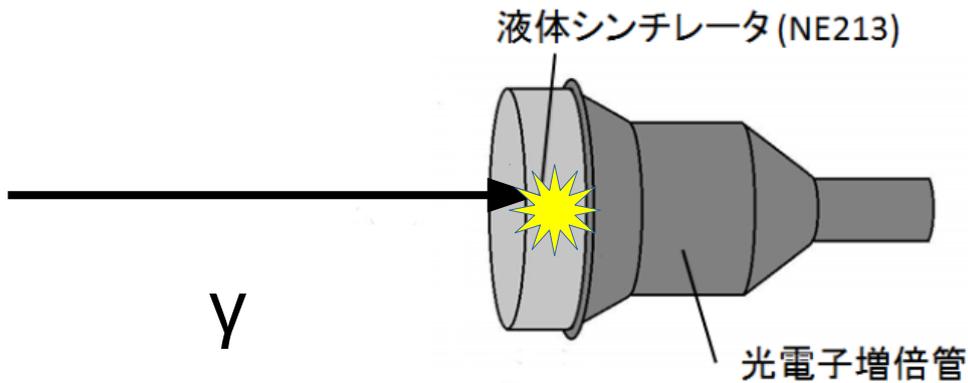


解析

- 較正(QDC,TDC)
- n, γ -Pulse Shape Discrimination
- TOF法 (発光量のThreshold設定)
- ピークフィッティング
- 中性子エネルギーKnに対する、検出効率の評価



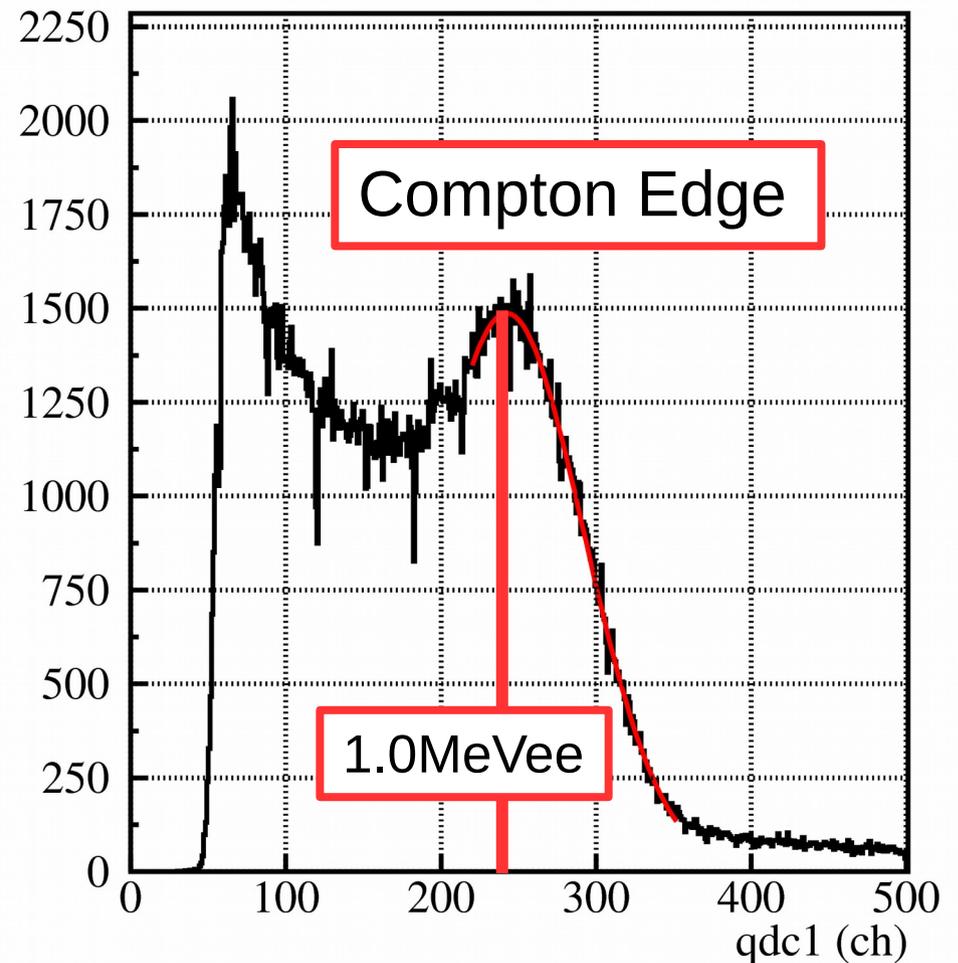
QDC校正



n,γが液体シンチレータ中で
コンプトン散乱して、発光する

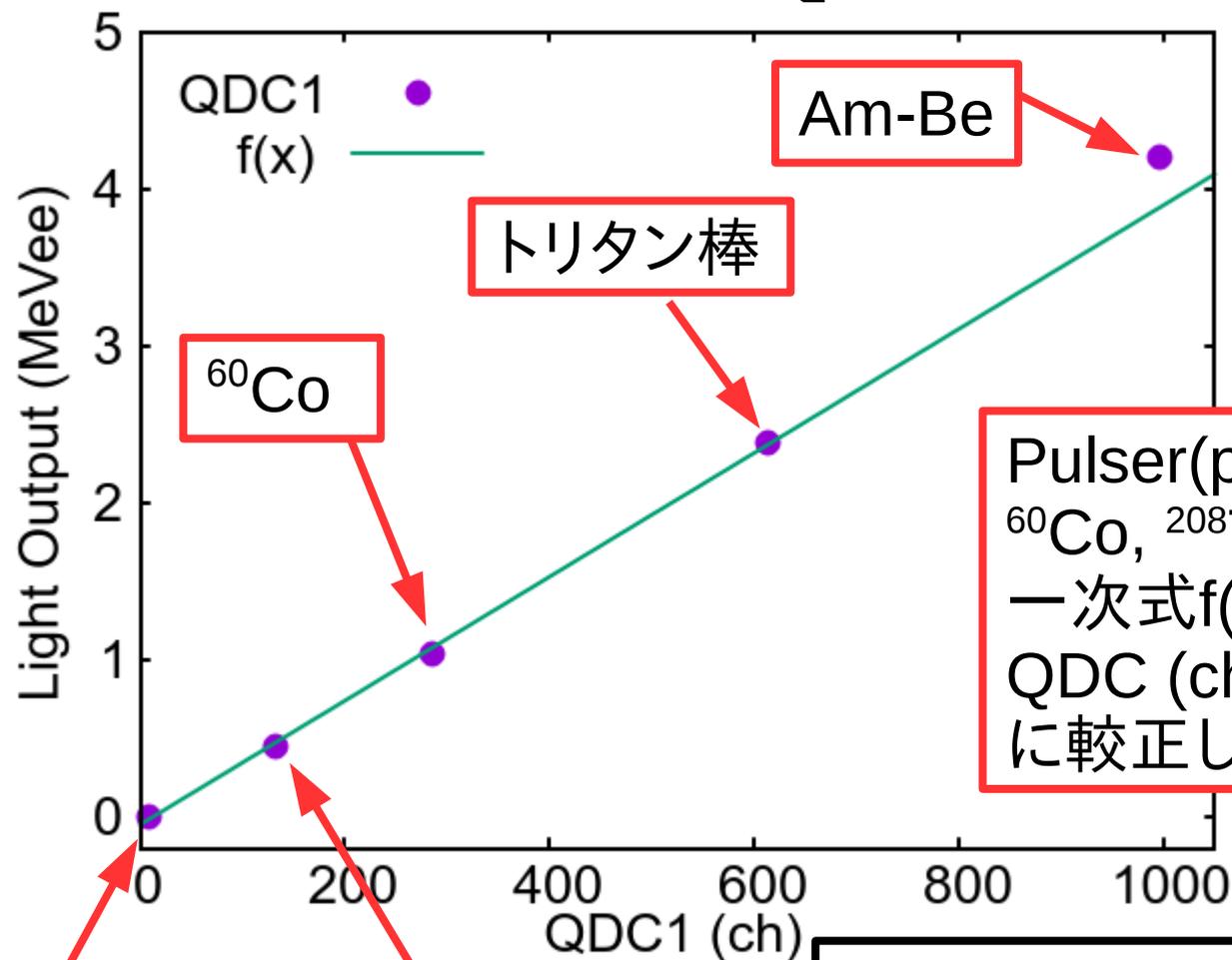
発光量をQDCで数値化

Compton Edgeにおける発光量が
分かっているので、その
QDC(ch)を発光量で校正する



^{60}Co からの γ 線のQDCの値と
そのgaussian fitting(赤線)

QDC較正



Pulser(pedestal用), ^{137}Cs ,
 ^{60}Co , ^{208}Tl , (Am-Be)を用いて、
一次式 $f(x)$ でfittingをして、
QDC (ch)を発光量(MeVee)
に較正した

Pedestal
(発光量0)

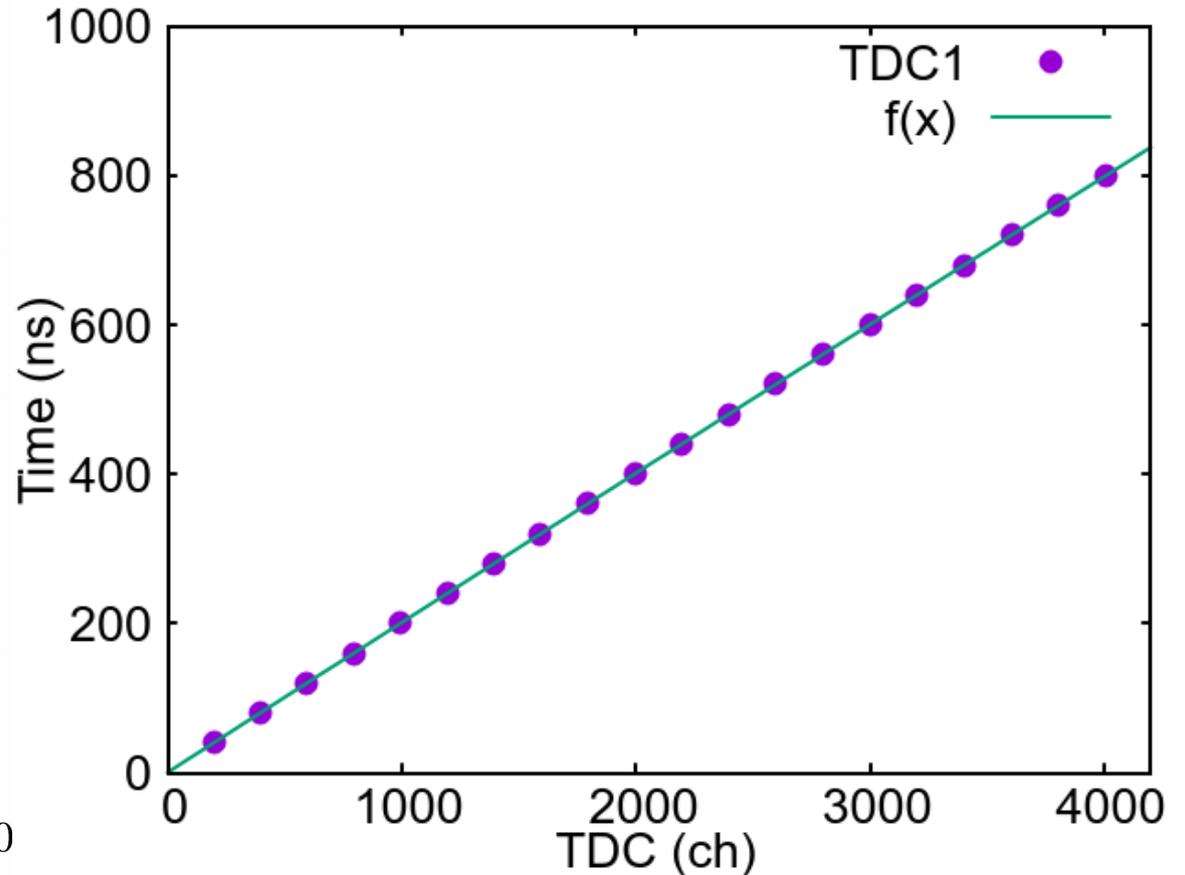
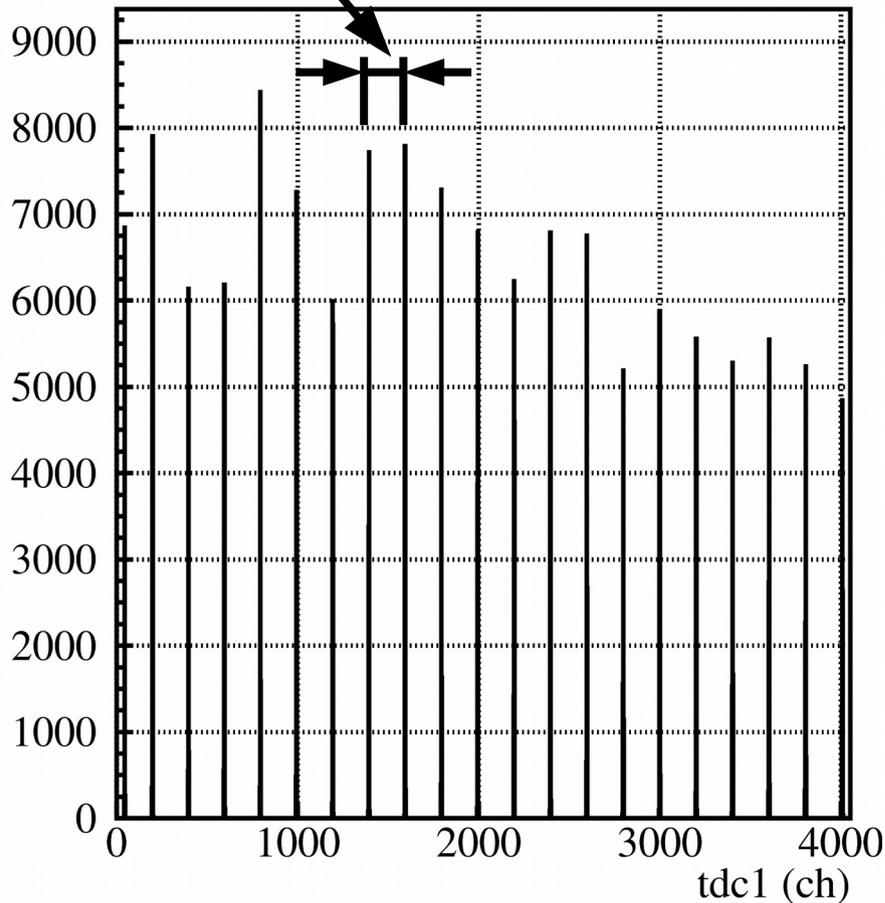
^{137}Cs

※ ^{60}Co からは二つの γ 線が放射されるが、
今回の分解能では分離できなかったため、
二つの平均を用いた
※Am-Beは統計が少なかつたため、
fittingから除外した

TDC較正

40 ns

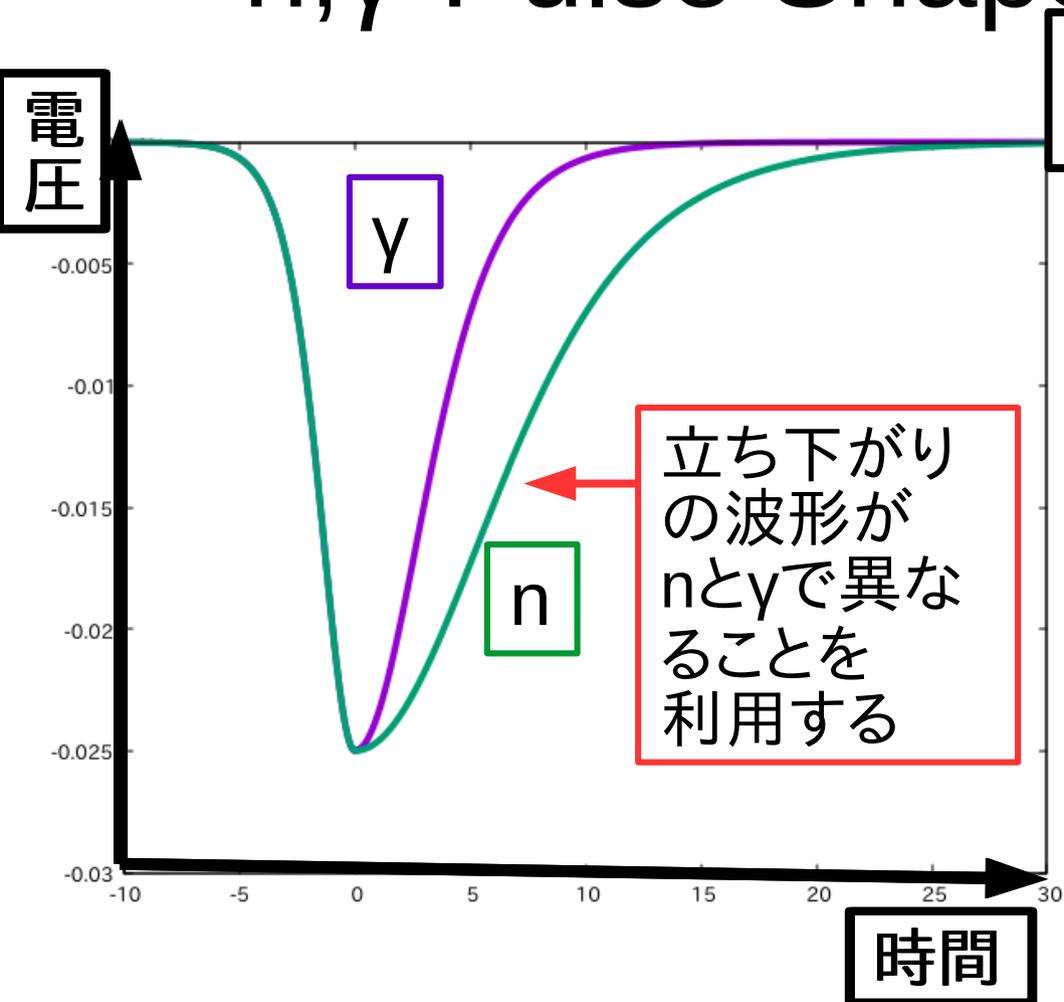
TDCのそれぞれのchを実時間(ns)に較正した



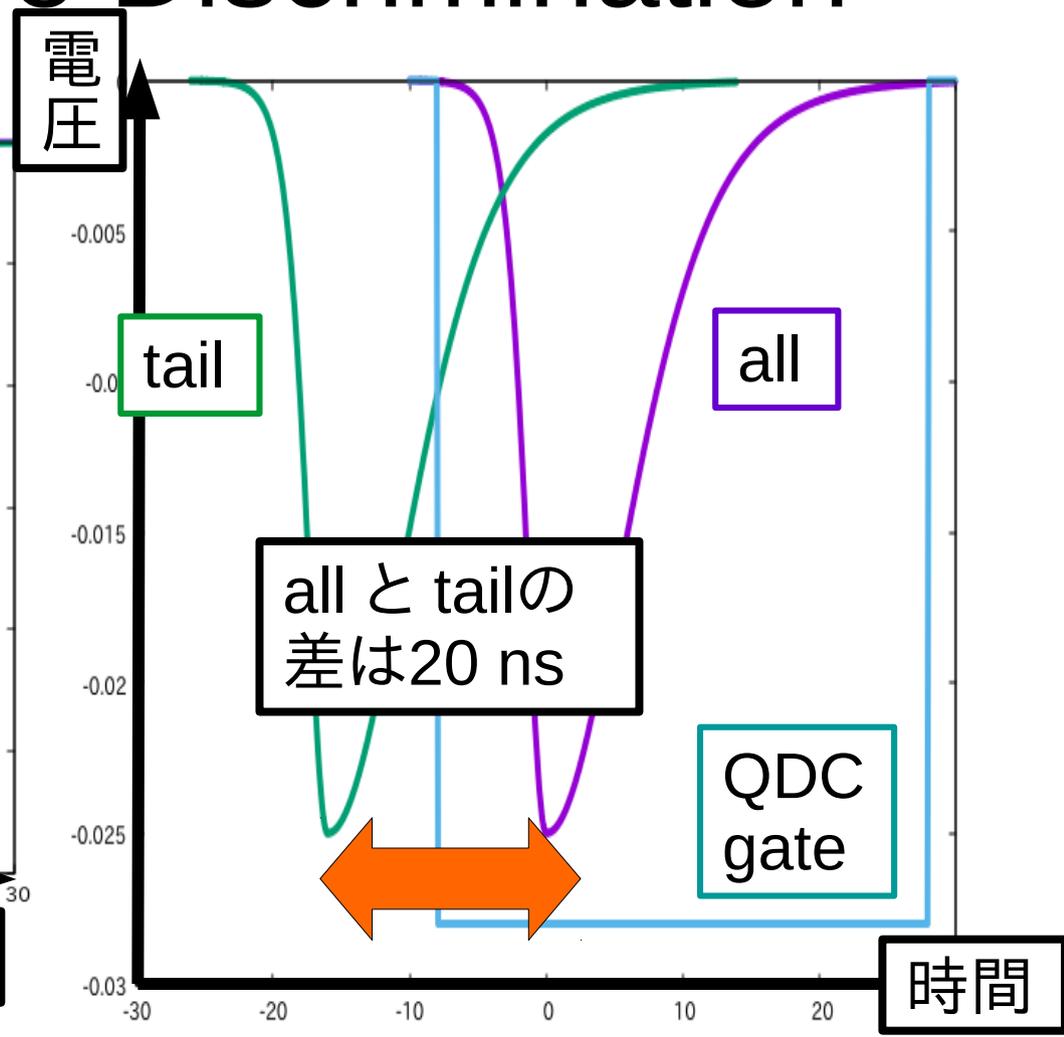
二次式 $f(x)$ によるfitting

Time Calibrator
(Period: 40 ns, Range: 1280 ns)
を用いた

n, γ -Pulse Shape Discrimination

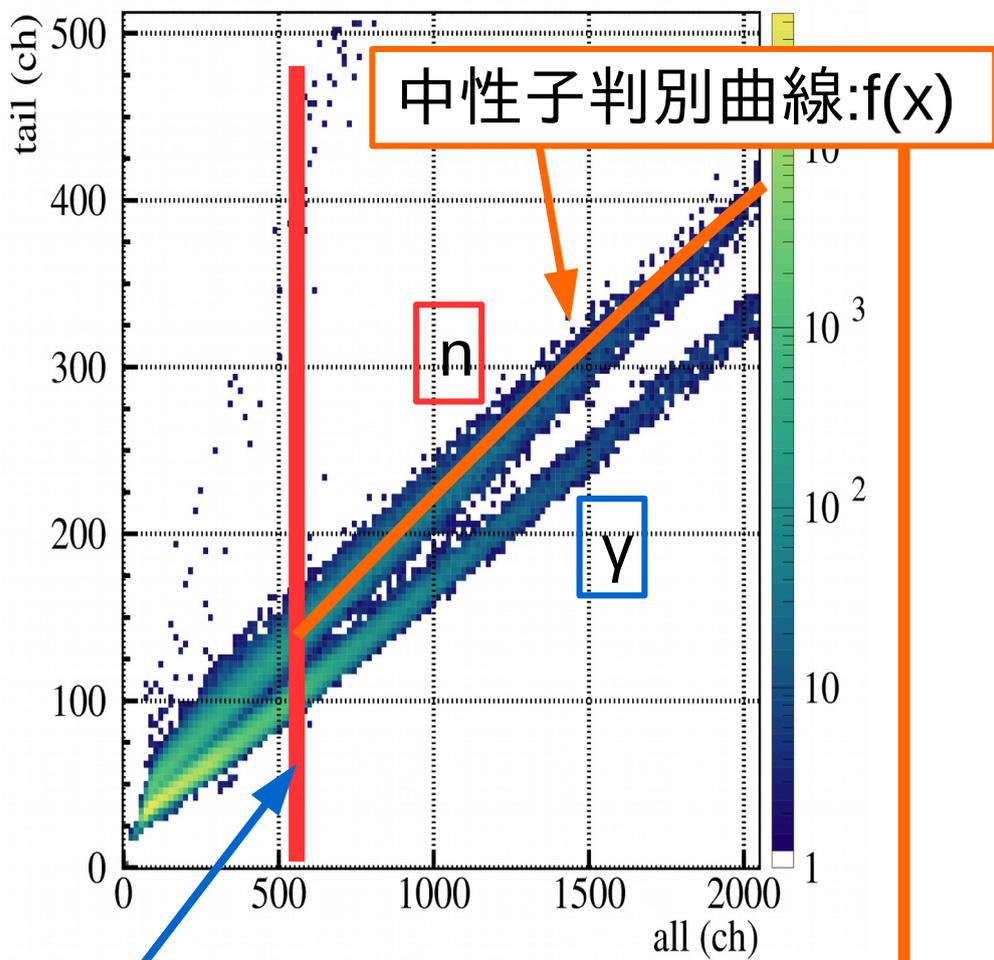


n, γ の波形をオシロで見たイメージ図



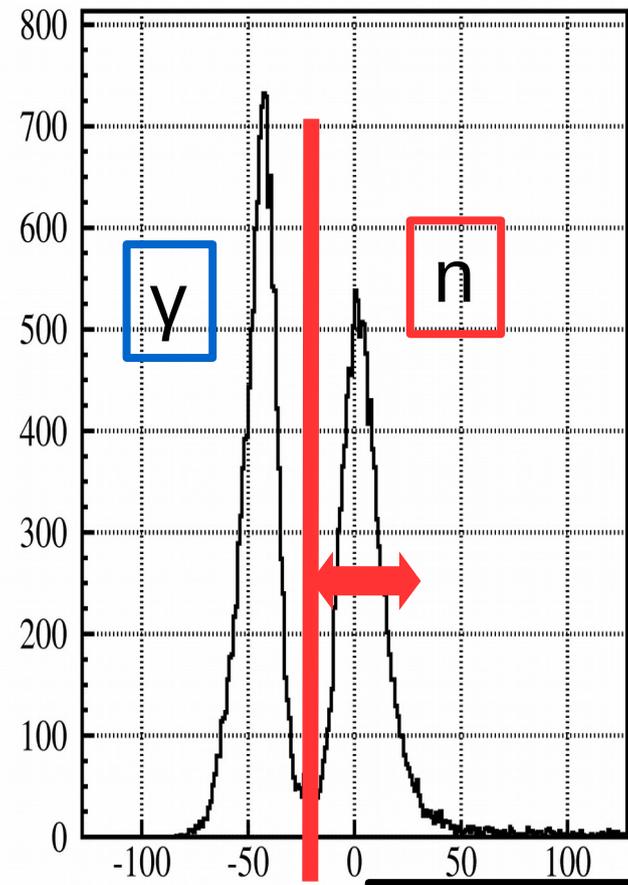
PMTからの信号を二つ用意して、gateにすべて入るものをall、一部のみ入るものをtailとした

n, γ -Pulse Shape Discrimination



PMT1: all vs tail

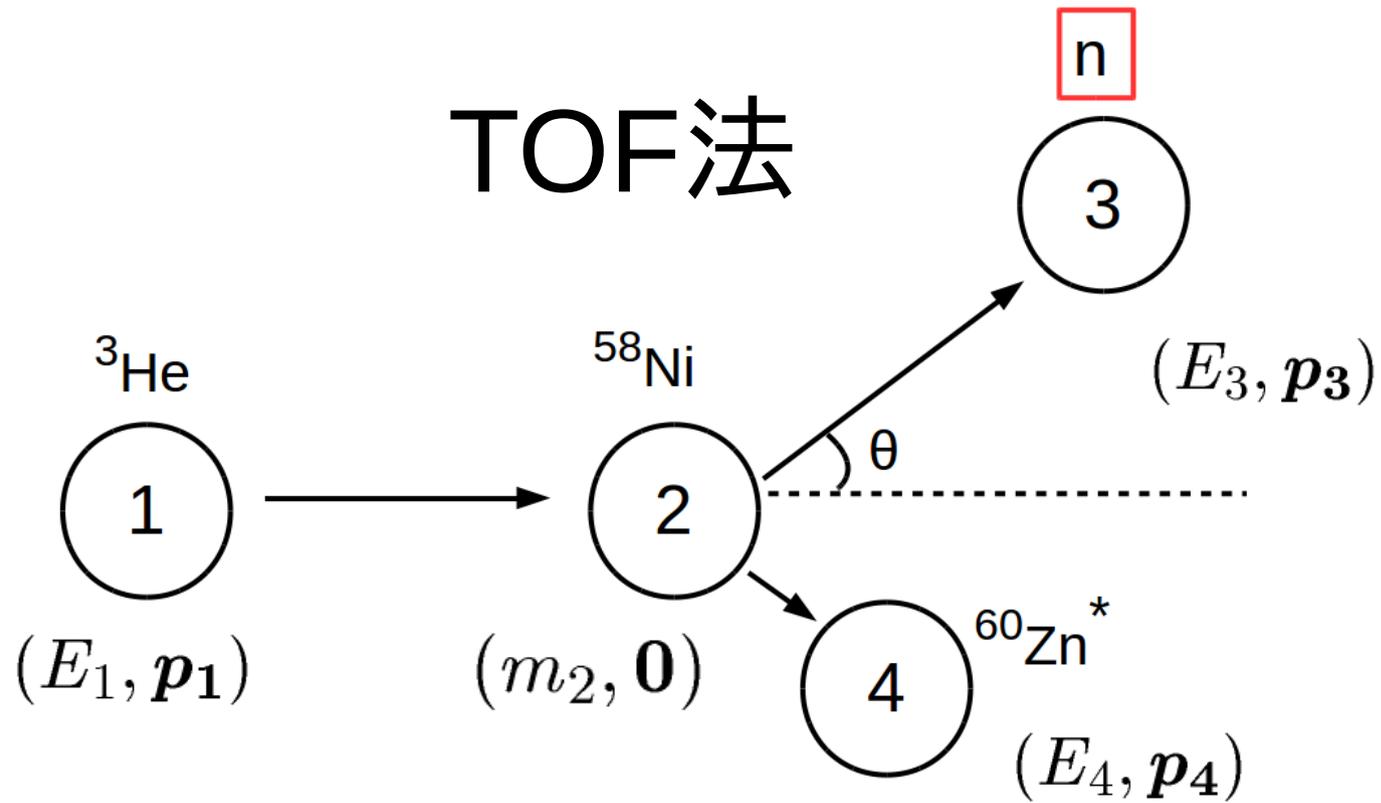
n, γ を判別するために thresholdを決める



$g(x) = \text{tail} - f(x)$

nと γ を弁別できた

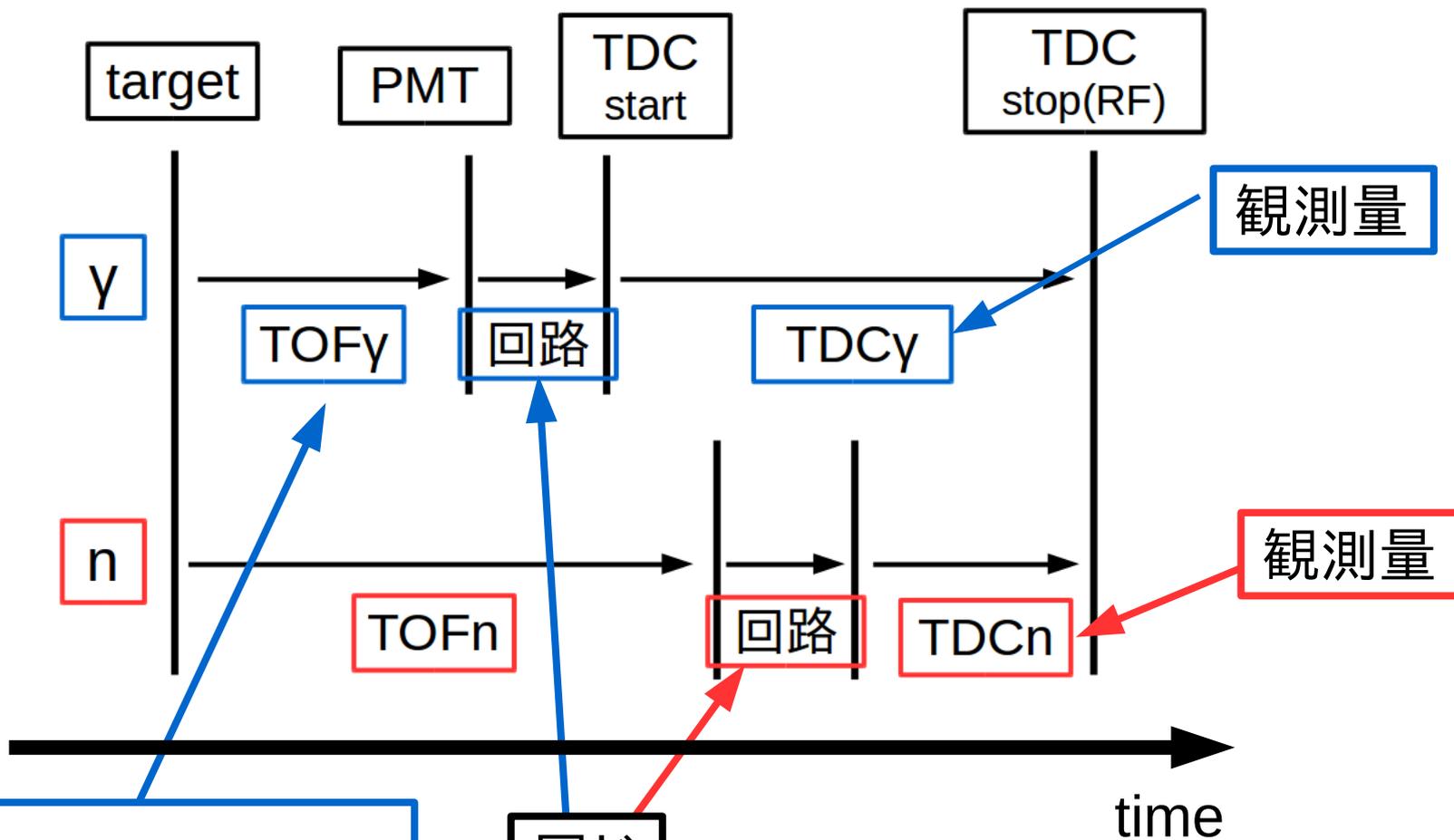
TOF法



TOFn(targetとシンチレータ間の中性子の飛行時間)が分かれば、中性子のエネルギー E_3 が分かる。
これに加えて、入射エネルギー E_1 を用いて運動学を解くと、
下式から残留核 ${}^{60}\text{Zn}^*$ の励起エネルギー E_x が求まる

$$E_x = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + 2(m_2 E_1 - m_2 E_3 - E_1 E_3 + p_1 p_3 \cos \theta_{\text{lab}})} - m_4$$

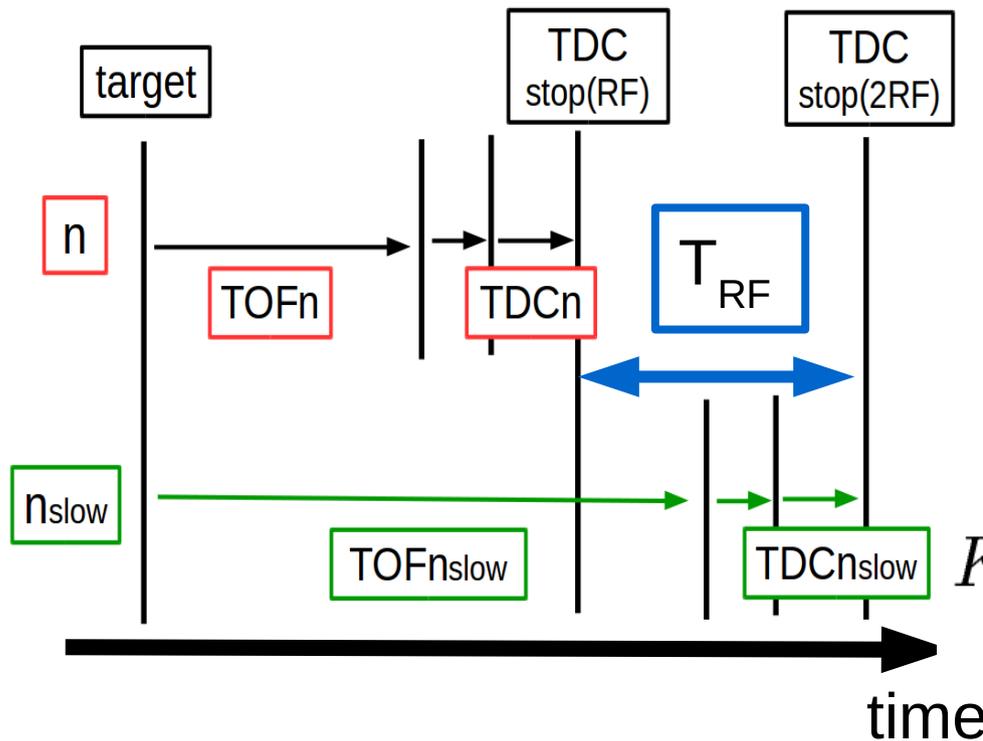
TOF法



TOF γ
= 飛行距離 / c (光速)
 \doteq 100 ns
(角度ごとに一定)

以上から
 $TOFn = TOF\gamma + TDC\gamma - TDCn$

Threshold



$$K_n = m(\gamma - 1)$$

$$= m \left(\sqrt{\frac{1}{1 - (L/c \cdot \text{TOF}_n)^2}} - 1 \right)$$

$$= f(\text{TOF}_n; L)$$

$$K_n = f(\text{TOF}_n(\text{g.s.}) = 429 \text{ ns}; L)$$

$$= 25.5 \text{ MeV}$$

$$K_{nslow} = f(\text{TOF}_n(\text{g.s.}) + T_{RF}; L)$$

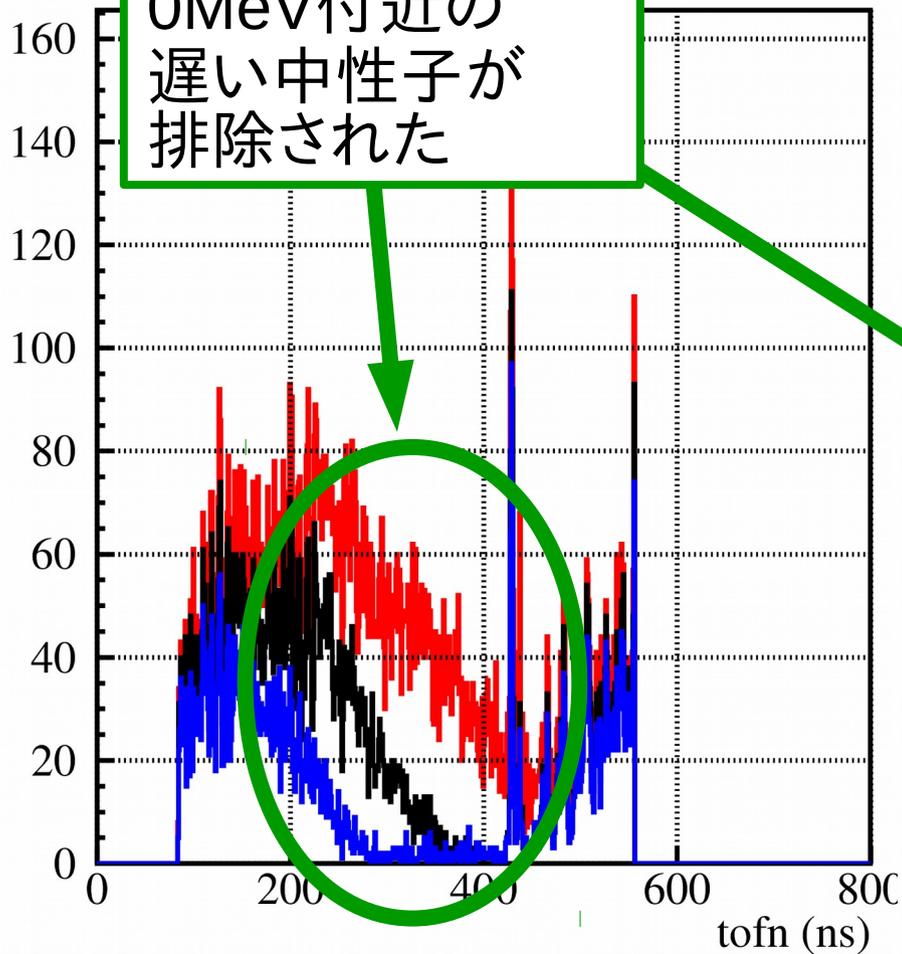
$$= 5.61 \text{ MeV}$$

TDC_nとTDC_{nslow}が等しいとき、TOF法では二つを分離できない

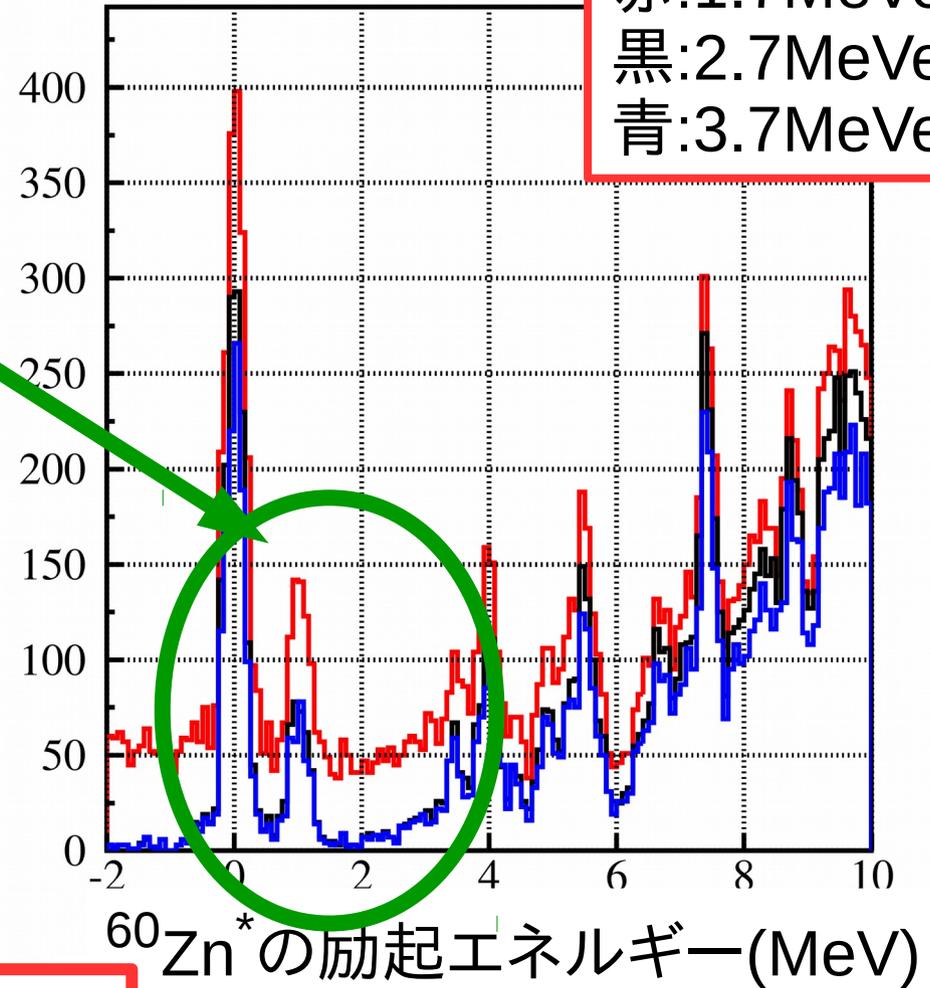
n_{slow} はエネルギーが小さいので、thresholdを上げることで解決できる

Threshold

thresholdを
1.7 → 2.7 MeVee
としたところ、
0 MeV付近の
遅い中性子が
排除された



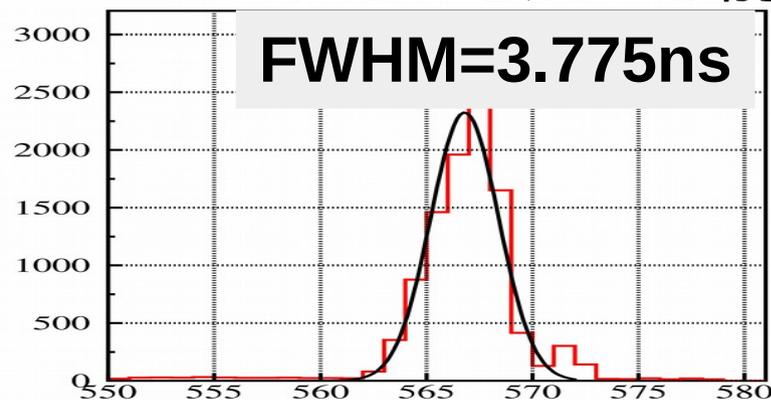
赤: 1.7 MeVee
黒: 2.7 MeVee
青: 3.7 MeVee



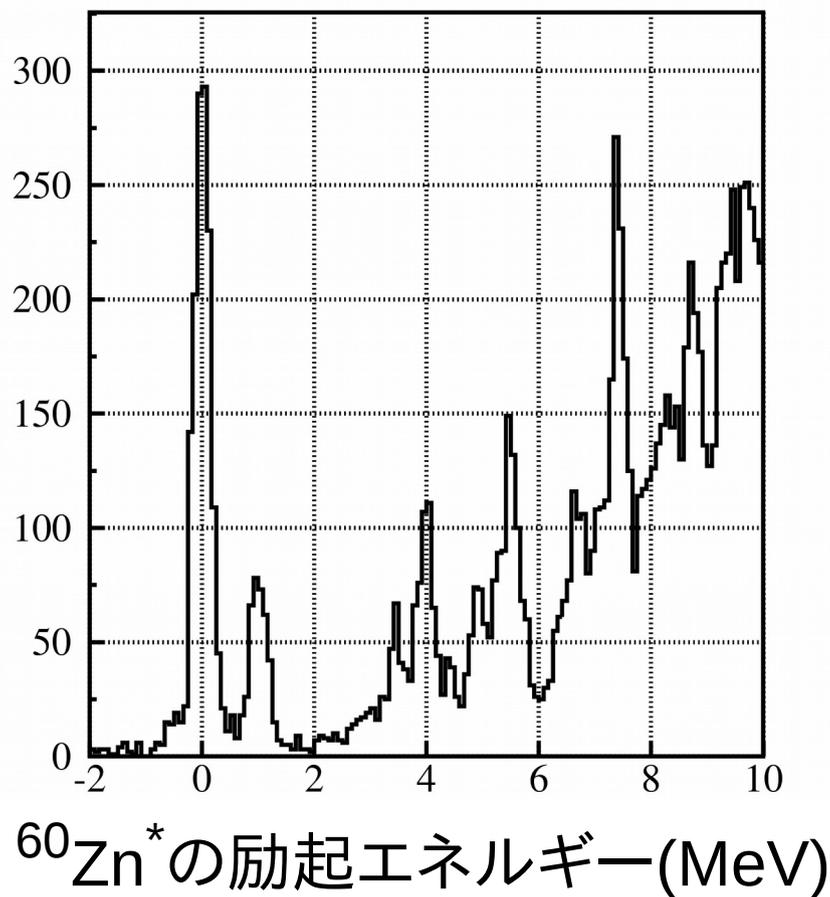
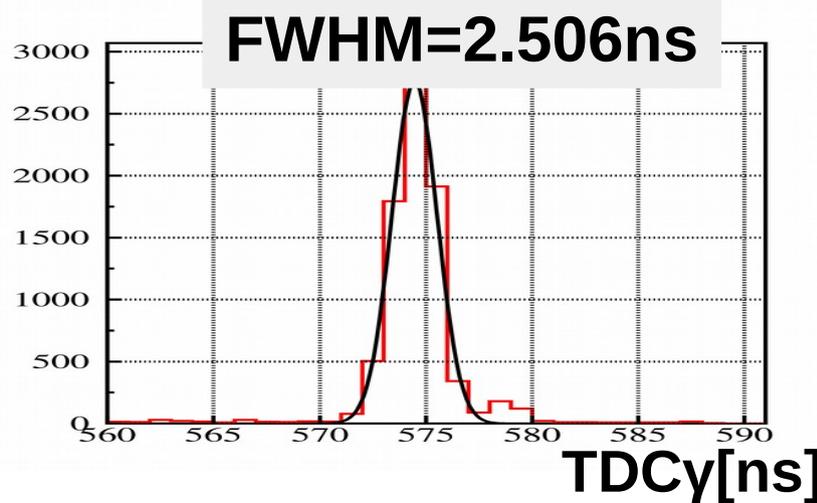
今回の実験の
thresholdは
2.7 MeVeeとした

$^{60}\text{Zn}^*$ の励起スペクトル

バンチャーを入れる前



バンチャーを入れた後

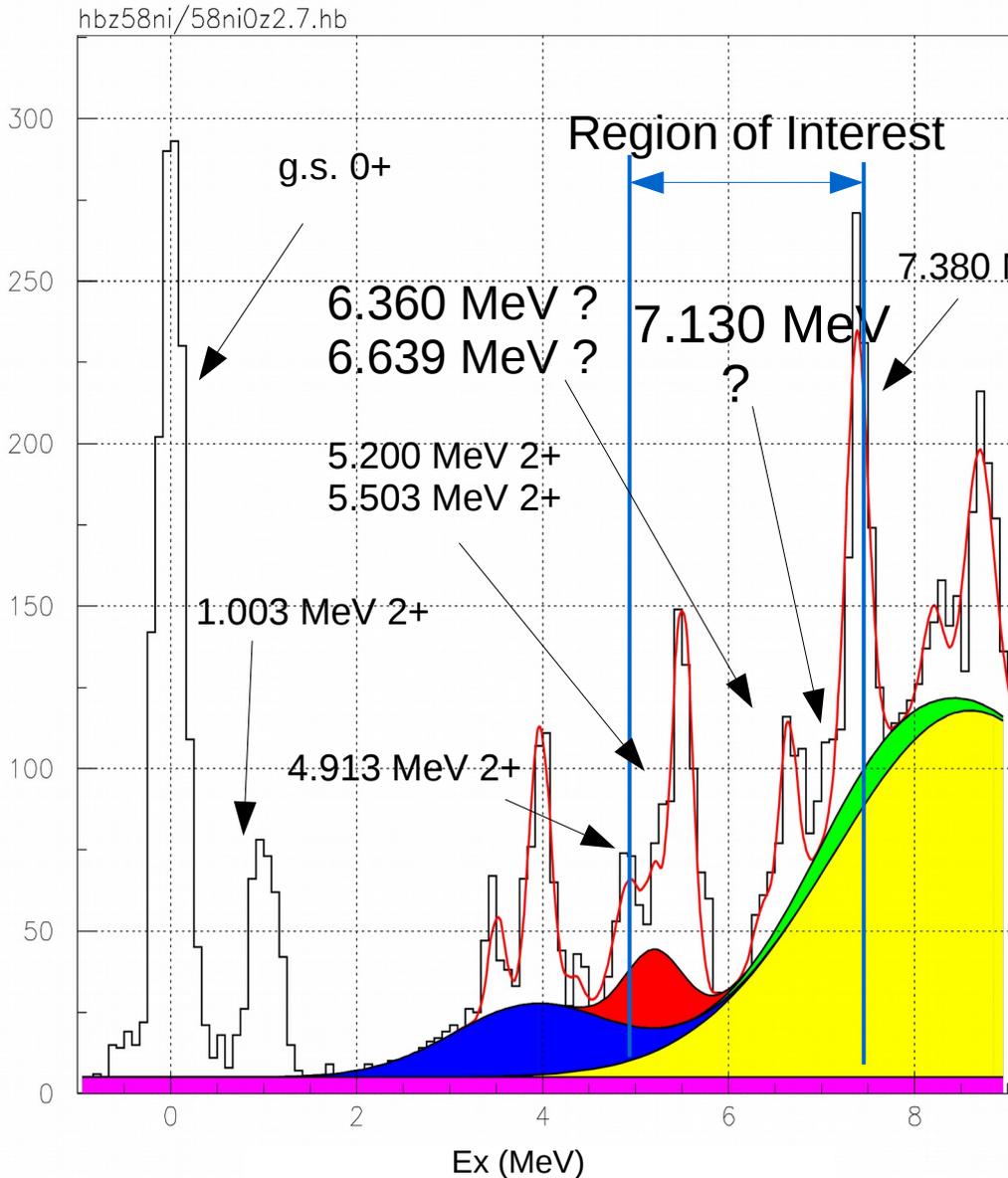


以上の手法から
 $^{60}\text{Zn}^*$ の励起エネルギー:Ex
が求まる

バンチャーを入れたことによって
ビームの時間拡がり小さくなったが
目標であったFWHM=1.2 nsまでは
小さくできなかった

ピークフィット

2018/03/18 20.08



・バックグラウンドとして
Gaussian $\times 4$ + 定数 を仮定し、
その上でスペクトルのフィットを行った。



・いずれのピークもNNDCで既知の準位で
フィットできた (新しい準位は見つからなかった)

・g.s., 1.003, 4.913, 5.200, 5.503, 7.380 MeV
は J^π がわかっている

・ROI (Region of Interest) にある
6.360, 6.639, 7.130 MeVの J^π はわかっていない

・このヒストグラムを用いて断面積を求める
(誤差としては $\sqrt{\text{count}}$ の統計誤差を考える)



・中性子検出器の検出効率を求める必要がある

中性子検出手法と原理

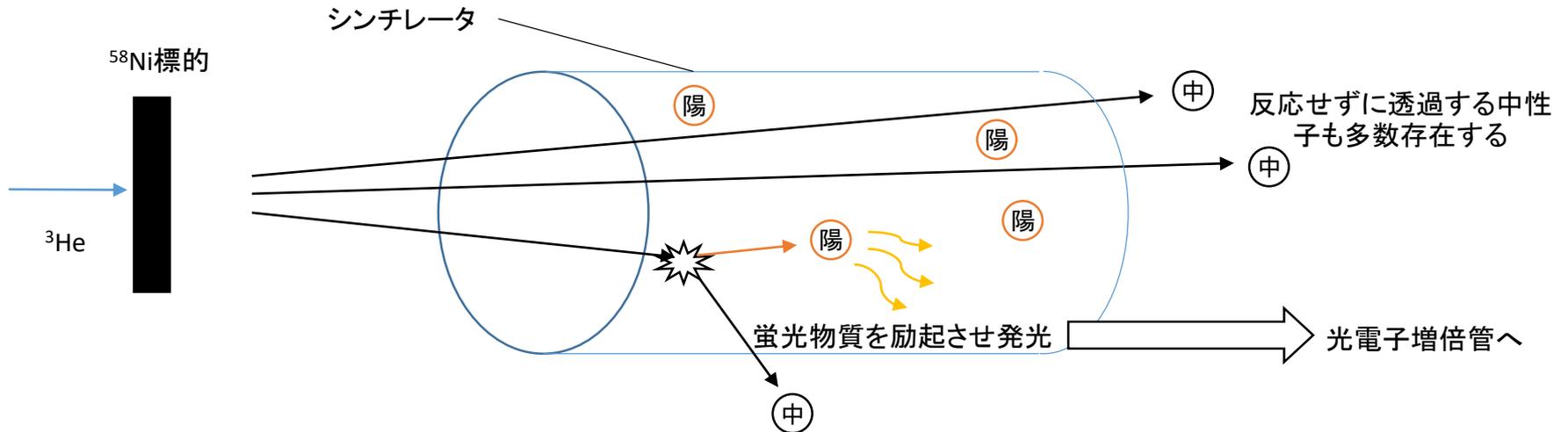
今回の測定では、高速中性子の検出に広く用いられる液体シンチレータを用いた



シンチレータに入射した全ての中性子が検出できるというわけではない(下図)



使用する検出器の中性子検出効率を評価し、 ^{60}Zn の角度分布を決定する際に考慮する必要がある



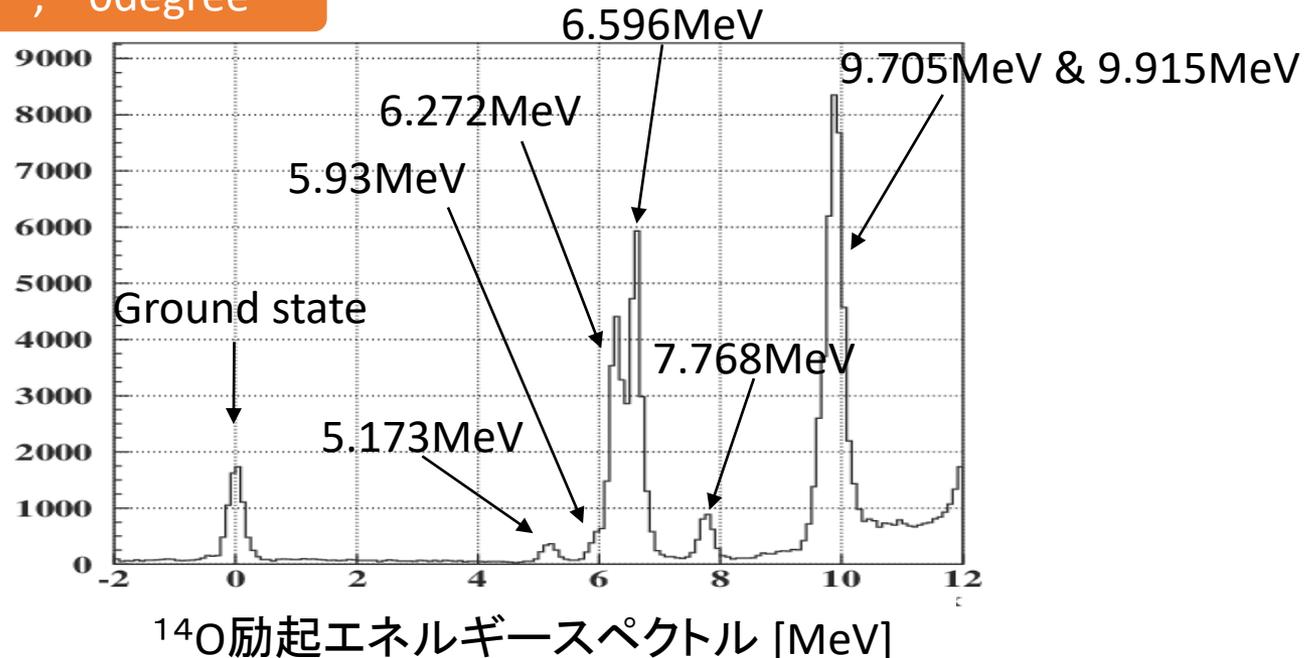
液体シンチレータの検出効率の評価

- シミュレーションコードscinful-cgによる計算
- 断面積が既知である $^{12}\text{C}(^3\text{He},n)^{14}\text{O}$ 反応を用いた。中性子の検出中性子数を、得られたすべての状態について下図に示した励起スペクトルから求め、次の式により検出効率を算出

$$\text{検出効率} = \frac{\text{検出中性子数}}{\text{入射中性子数}}$$

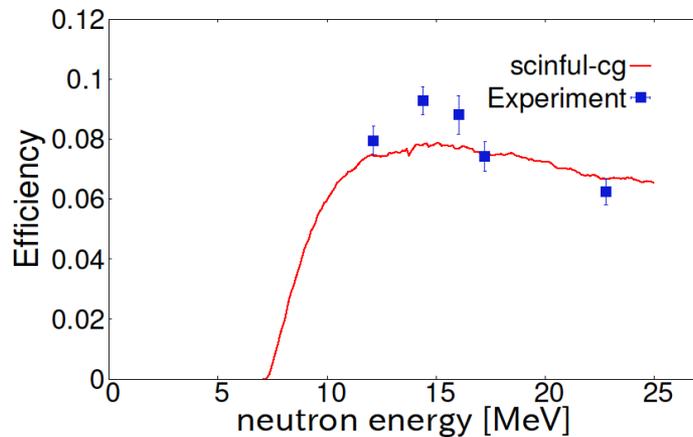
既知の断面積
から算出

$^{12}\text{C}(^3\text{He},n)^{14}\text{O}$, 0degree

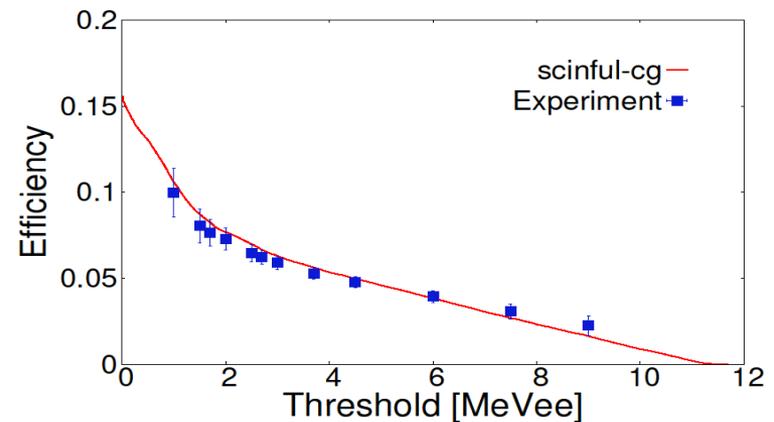


液体シンチレータの検出効率の評価

検出効率は、**中性子の入射エネルギー**と**発光量の閾値**の2つのパラメータで決まる量である。実験値とシミュレーションコードscinful-cgによる計算結果を示す。



発光量閾値2.7MeVeeに固定したときの
Efficiencyと中性子エネルギーの関係

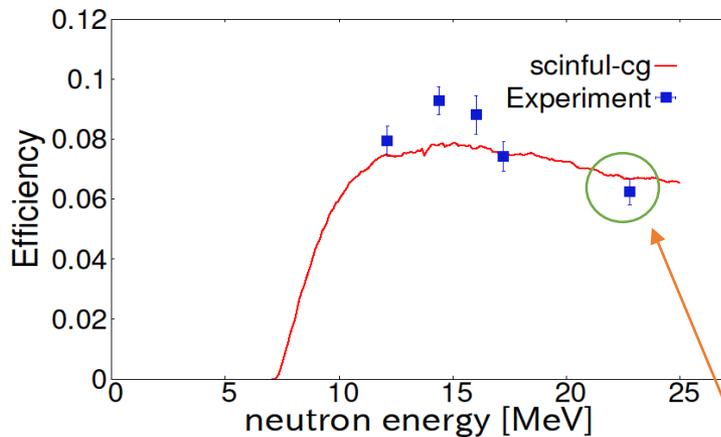


中性子エネルギー22.78MeV(0° 散乱、¹⁴O
基底状態に対応)に固定したときのEfficiency
と発光量閾値の関係

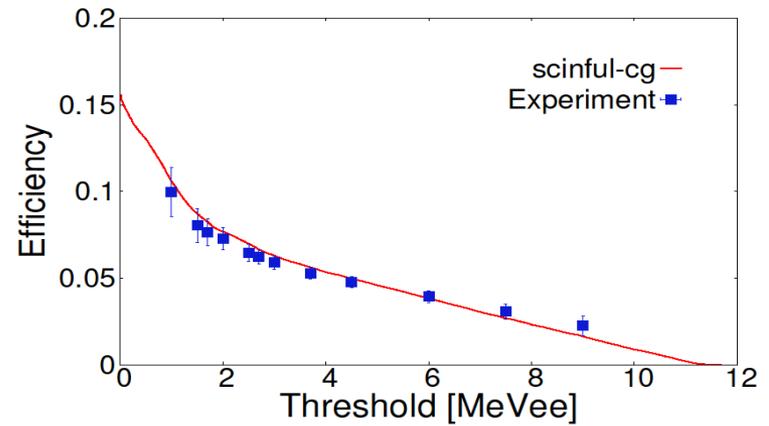
本実験における解析時の条件

液体シンチレータの検出効率の評価

検出効率は、**中性子の入射エネルギー**と**発光量の閾値**の2つのパラメータで決まる量である。実験値とシミュレーションコードscinful-cgによる計算結果を示す。



発光量閾値2.7MeVeeに固定したときの
Efficiencyと中性子エネルギーの関係



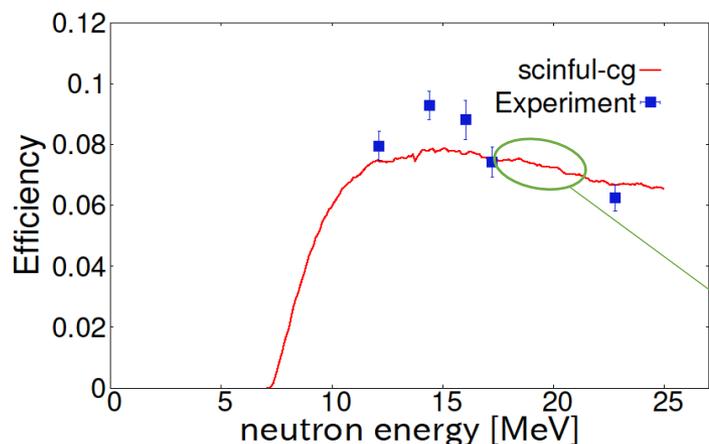
中性子エネルギーを22.78MeV(0° 散乱、 ^{14}O 基底状態に対応)に固定したときのEfficiencyと発光量閾値の関係

本実験における解析時の条件

この点で発光量閾値を変えて解析ないしシミュレーションにより得た点や曲線が右の図

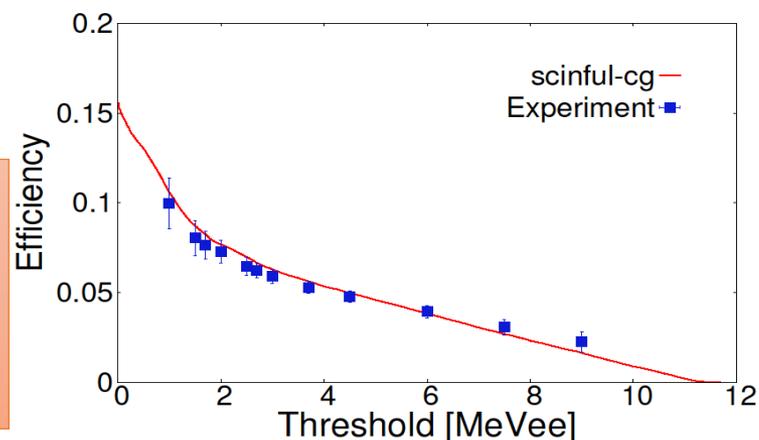
液体シンチレータの検出効率の評価

検出効率は、**中性子の入射エネルギー**と**発光量の閾値**の2つのパラメータで決まる量である。実験値とシミュレーションコードscinful-cgによる計算結果を示す。



^{60}Zn の5.5-7.5MeVの励起状態に対応する領域

発光量閾値2.7MeVeeに固定したときのEfficiencyと中性子エネルギーの関係



中性子エネルギー22.78MeV(0° 散乱、 ^{14}O 基底状態に対応)に固定したときのEfficiencyと発光量閾値の関係

本実験における解析時の条件

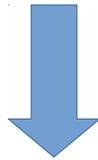
Scinful-cgによる結果は信用できるものであると判断し、 ^{60}Zn の断面積測定にこれを用いた。

断面積の理論計算

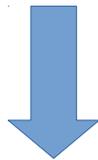
求めた準位の J^π を決定するために
 $^{58}\text{Ni}(^3\text{He},n)^{60}\text{Zn}$ の断面積の角度分布を
 J^π ごとに分類して特徴を調べる

理論計算の流れ

NuShellX 反応の前後の ^{58}Ni と ^{60}Zn の波動関数を殻模型計算で求める



Fr2in NuShellXで求めた波動関数をもとにFrescoの入力ファイルを作成



Fresco 断面積の角度分布をDWBA, Coupled Channel 計算で求める

NuShellXによる陽子配位の決定

目的 : ^{58}Ni , ^{60}Zn の波動関数のオーバーラップを
計算したい



理論計算コードNuShellXを用いて ^{58}Ni , ^{60}Zn の
波動関数を計算する

1 : Shell Modelとは

2 : ^{58}Ni , ^{60}Zn の波動関数を得るために

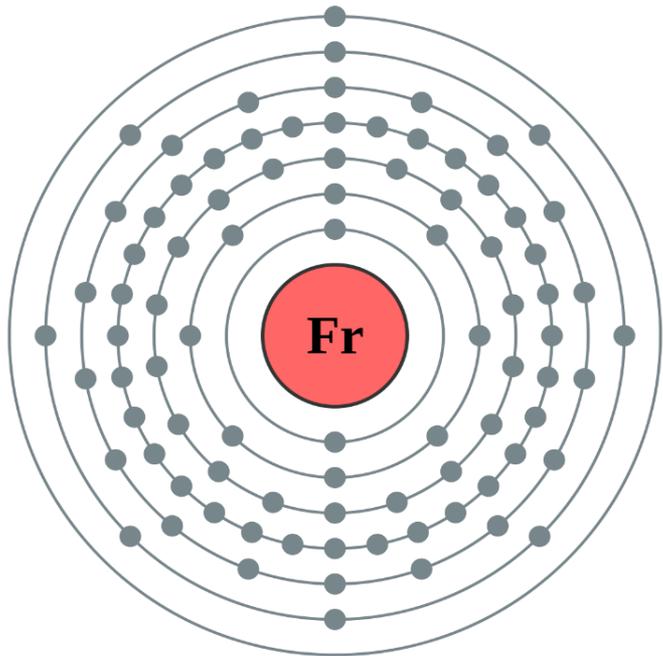
3 : 実験との比較

1 : Shell Modelとは

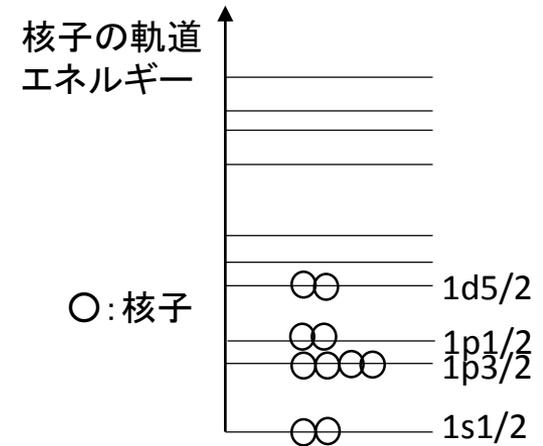
「原子核内の核子の運動は、原子の中の電子運動と同じように、
個々の核子が固有の軌道の上を他の核子と無関係に運動している」

87: Francio

2,8,18,32,18,8,1



原子の場合



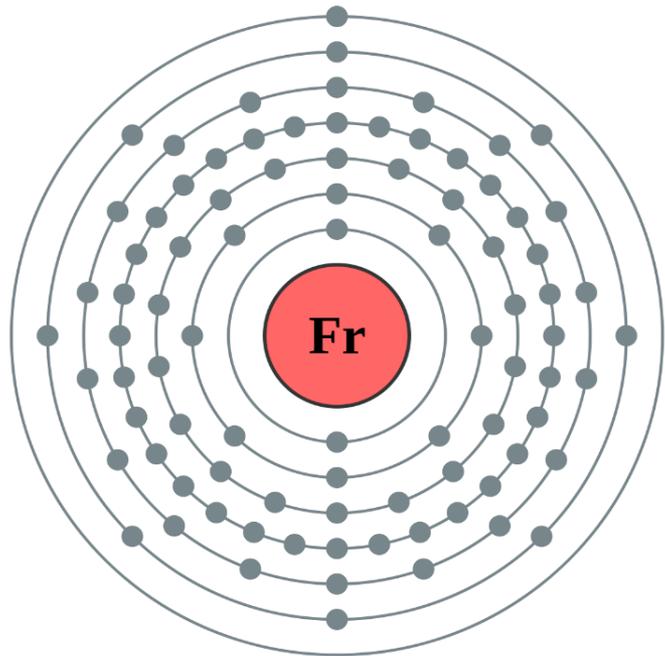
原子核の場合

1 : Shell Modelとは

「原子核内の核子の運動は、原子の中の電子運動と同じように、
個々の核子が固有の軌道の上を他の核子と無関係に運動している」

87: Francio

2,8,18,32,18,8,1

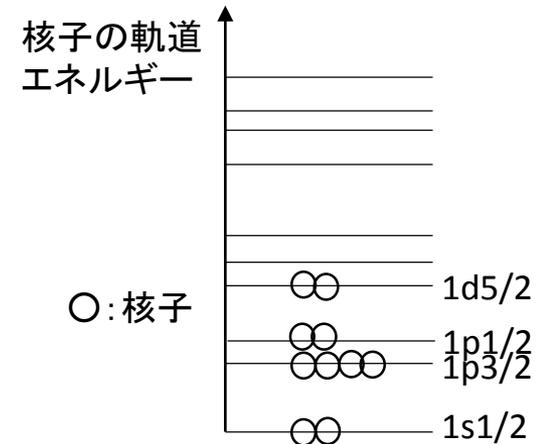


原子の場合

軌道ごとに占有数が
決まっている

軌道は内側から順に
詰まっていく

閉殻軌道の粒子は
相互作用に関与しない



原子核の場合

Magic Number

実験事実

陽子または中性子の数が
2,8,20,28,50,82,126,の原子核は
結合エネルギーが極めて大きい

Magic Number

Magic number

実験事実

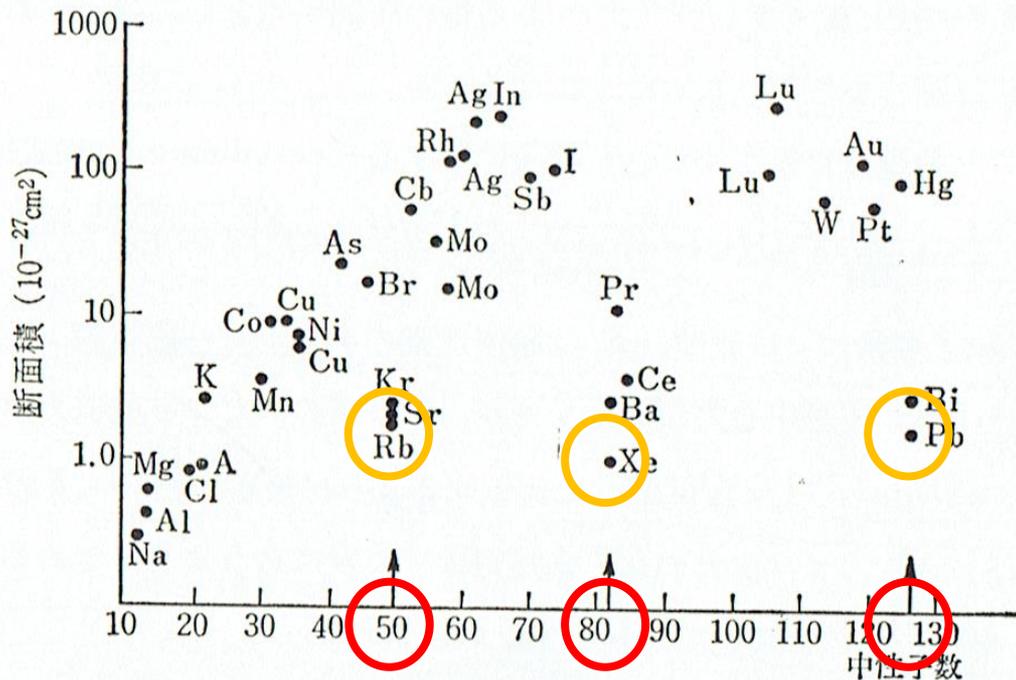
陽子または中性子の数が
2,8,20,28,50,82,126の原子核は
結合エネルギーが極めて大きい

Magic Number

Magic number

実験事実

陽子または中性子の数が
2,8,20,28,50,82,126の原子核は
結合エネルギーが極めて大きい



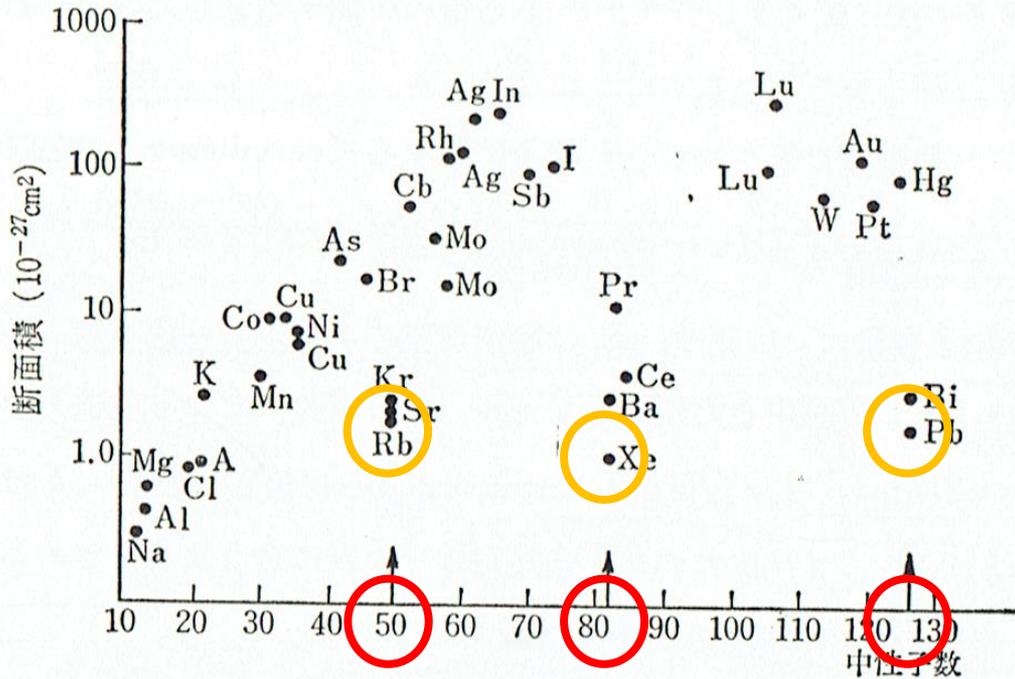
中性子捕獲断面積と標的核の中性子数

Magic Number

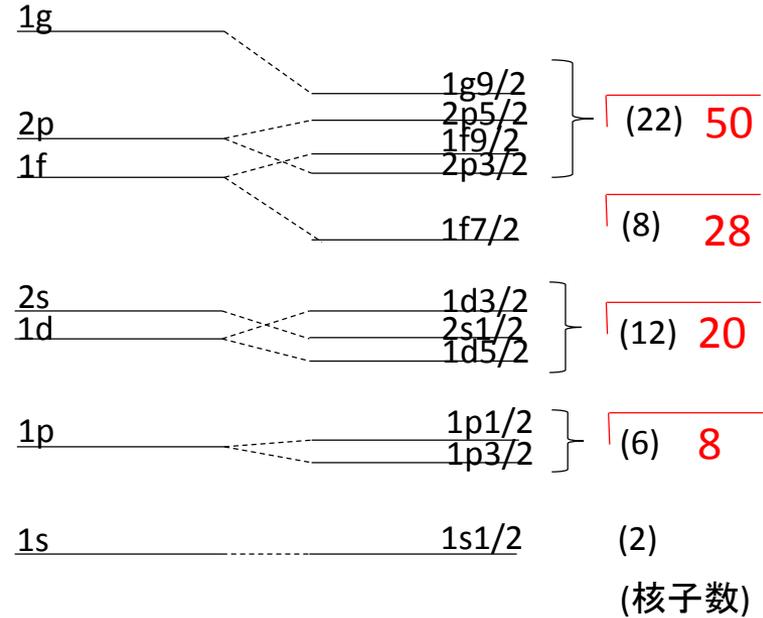
Magic number

実験事実

陽子または中性子の数が
2, 8, 20, 28, 50, 82, 126 の原子核は
 結合エネルギーが極めて大きい



中性子捕獲断面積と標的核の中性子数

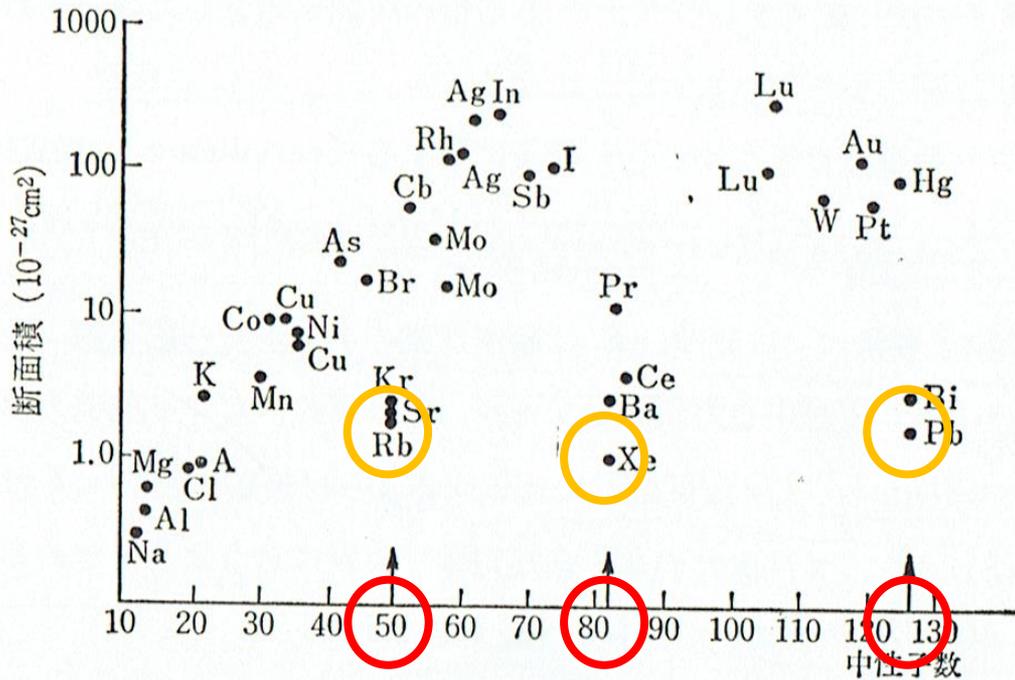


Magic Number

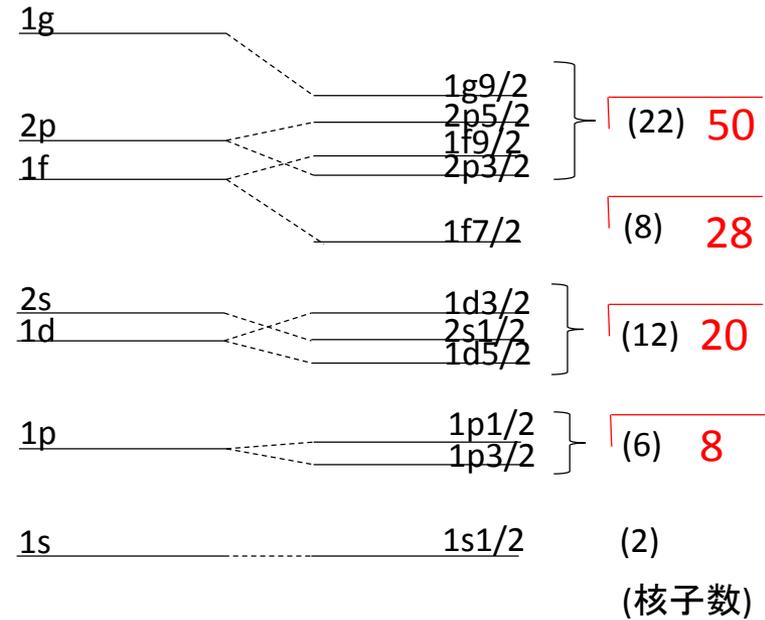
Magic number

実験事実

陽子または中性子の数が
2, 8, 20, 28, 50, 82, 126, の原子核は
 結合エネルギーが極めて大きい



中性子捕獲断面積と標的核の中性子数



核子の軌道への配置が
 閉殻構造になったとき
 magic numberが現れる

2 : 58Ni, 60Znの波動関数を得るために

Model space : jj44を仮定

・コアは56Ni

{ 陽子28 (magic number) 個
中性子28 (magic number) 個

・価核子軌道は

1f_{7/2}, 2p_{3/2}, 2p_{5/2}, 1g_{9/2}

価核子の数は2個 (58Ni)

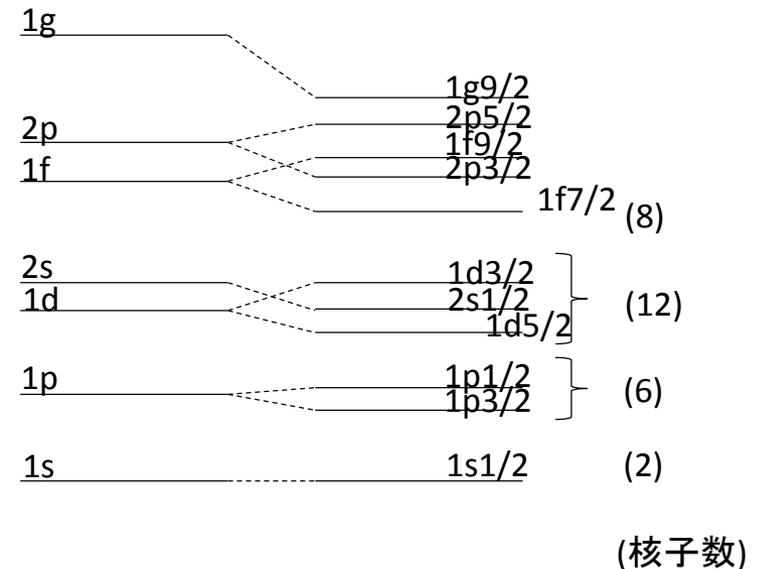
または4個 (60Zn)

Interaction : jj44bを仮定

経験的に質量数56から100の

原子核をよく近似する

相互作用



2 : 58Ni, 60Znの波動関数を得るために

Model space : jj44を仮定

- ・コアは56Ni

{ 陽子28 (magic number) 個
中性子28 (magic number) 個

- ・価核子軌道は

1f_{7/2}, 2p_{3/2}, 2p_{5/2}, 1g_{9/2}

価核子の数は2個 (58Ni)

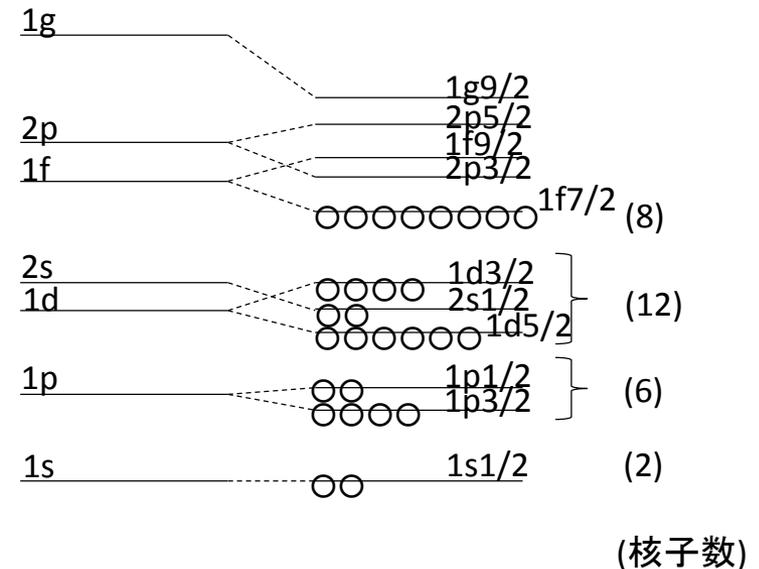
または4個 (60Zn)

Interaction : jj44bを仮定

経験的に質量数56から100の

原子核をよく近似する

相互作用



2 : 58Ni, 60Znの波動関数を得るために

Model space : jj44を仮定

- ・コアは56Ni

- 陽子28 (magic number) 個
- 中性子28 (magic number) 個

- ・価核子軌道は

1f_{7/2}, 2p_{3/2}, 2p_{5/2}, 1g_{9/2}

価核子の数は2個 (58Ni)

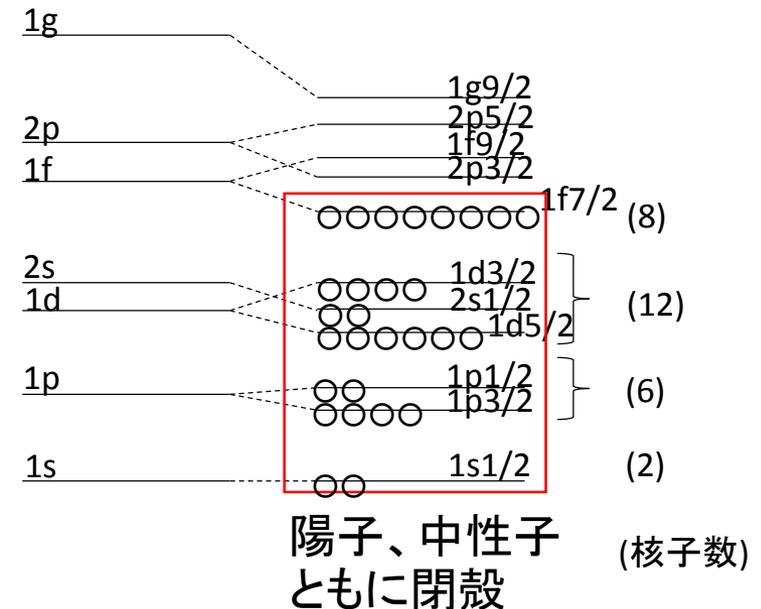
または4個 (60Zn)

Interaction : jj44bを仮定

経験的に質量数56から100の

原子核をよく近似する

相互作用



2 : 58Ni, 60Znの波動関数を得るために

Model space : jj44を仮定

・コアは56Ni

{ 陽子28 (magic number) 個
中性子28 (magic number) 個

・価核子軌道は

1f_{7/2}, 2p_{3/2}, 2p_{5/2}, 1g_{9/2}

価核子の数は2個 (58Ni)

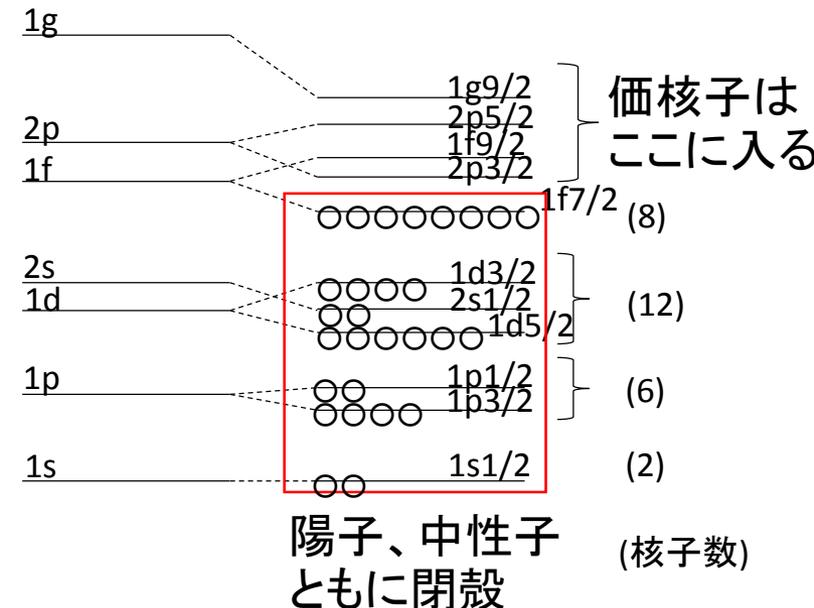
または4個 (60Zn)

Interaction : jj44bを仮定

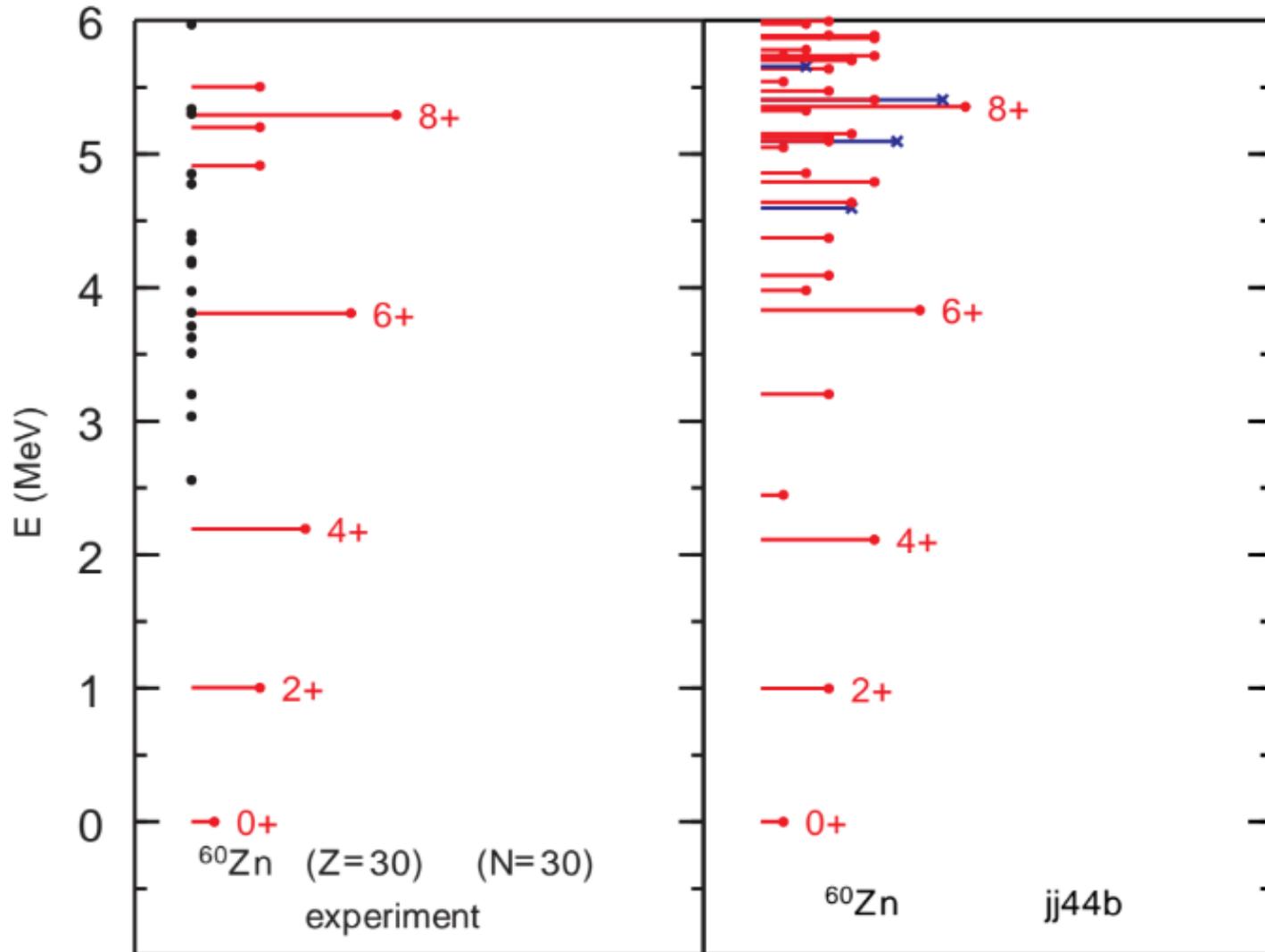
経験的に質量数56から100の

原子核をよく近似する

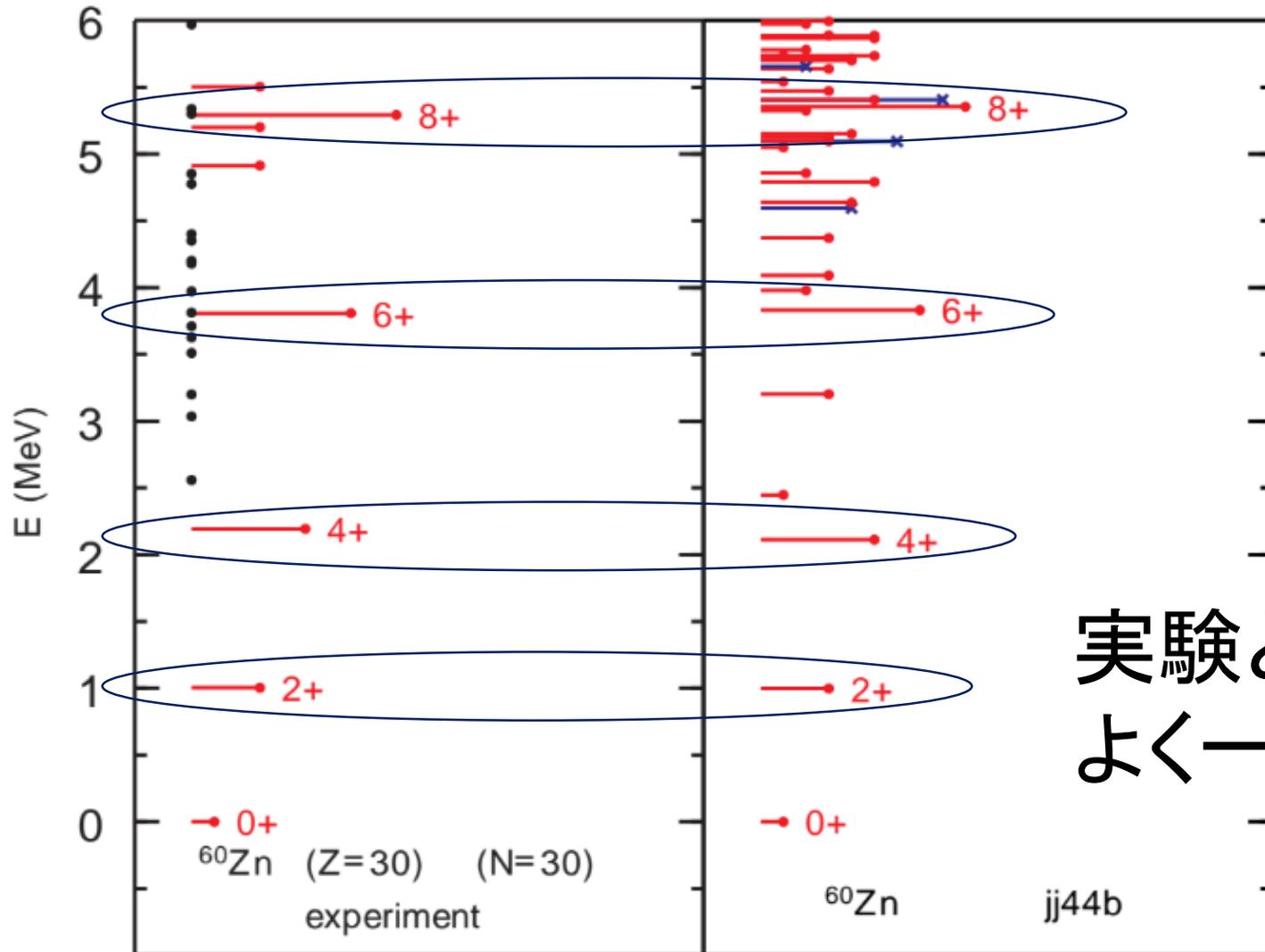
相互作用



3: 実験との比較

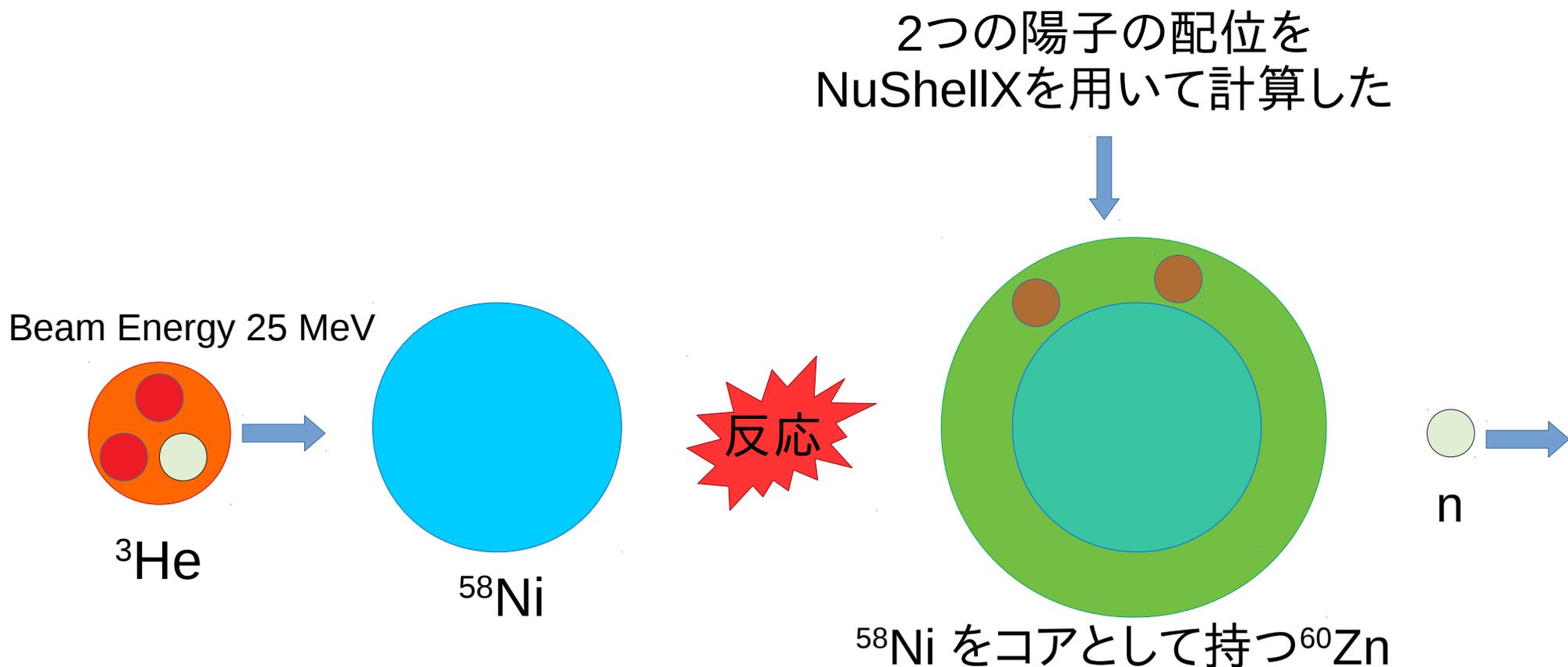


3: 実験との比較



実験と
よく一致

理論計算で行った反応のモデル



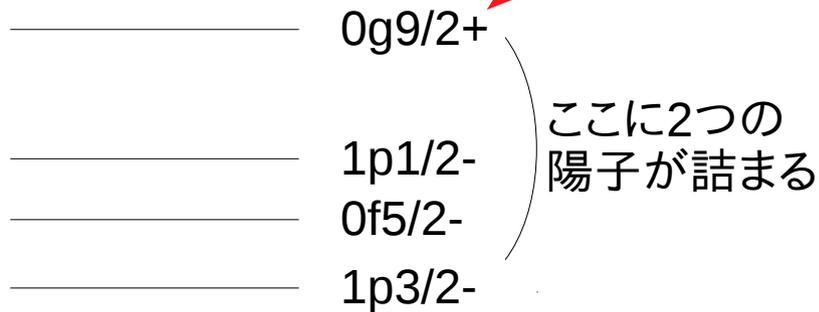
反応後の ${}^{60}\text{Zn}$ として様々な準位が計算される

→ 今回いくつかの状態を抜粋してFrescoを実行する

Frescoで計算する状態

この軌道のみ正パリティ
エネルギーが大きいので今回の
実験では入らないと予想

50



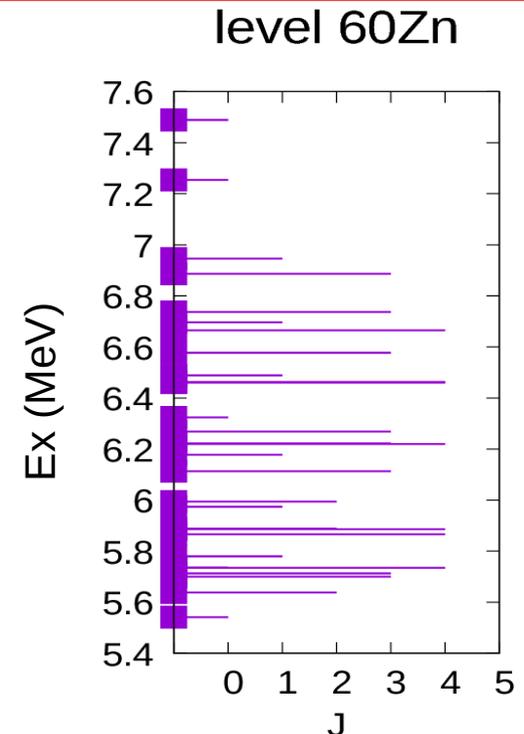
NuShellXで計算された状態のうち
正パリティの状態のみFrescoを用いて
断面積を計算した

28

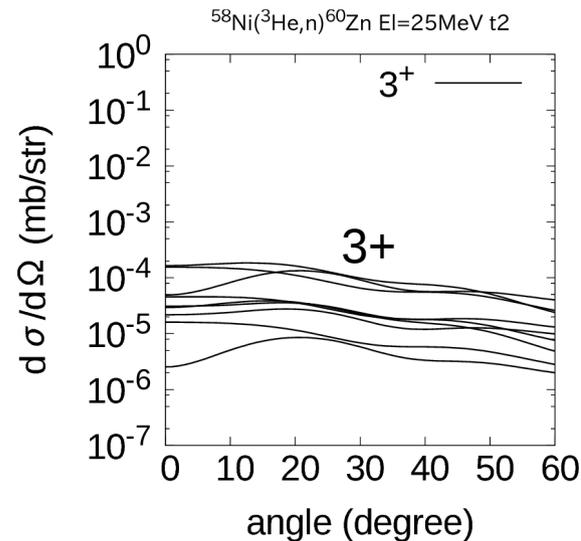
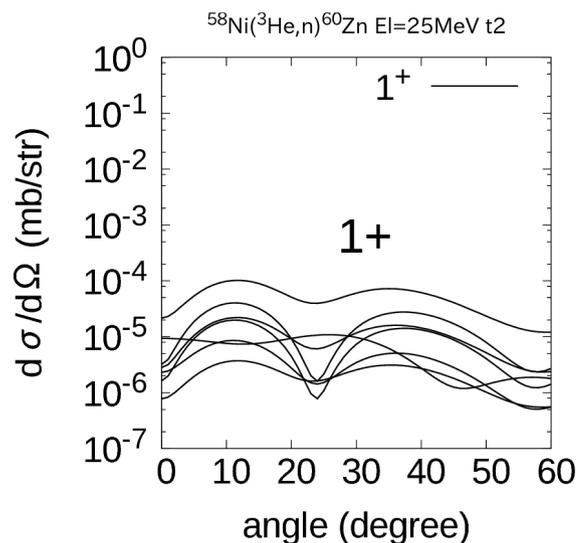
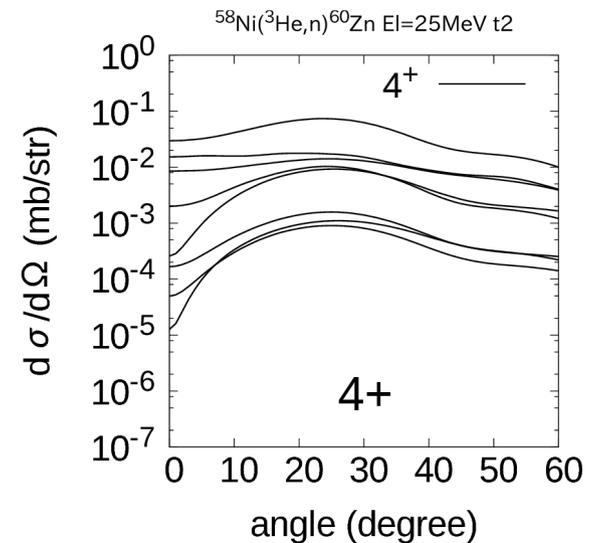
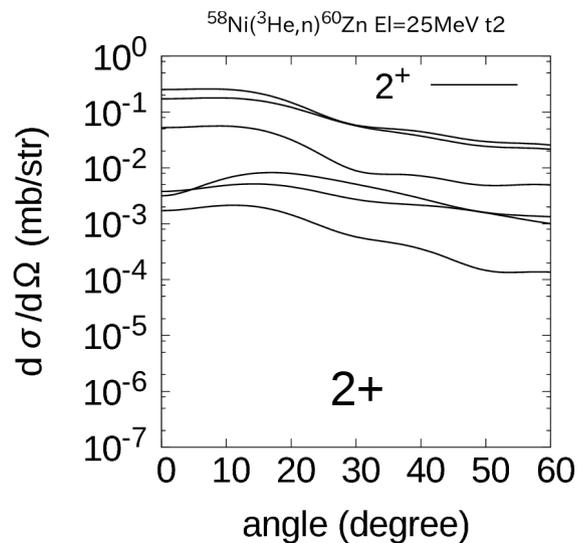
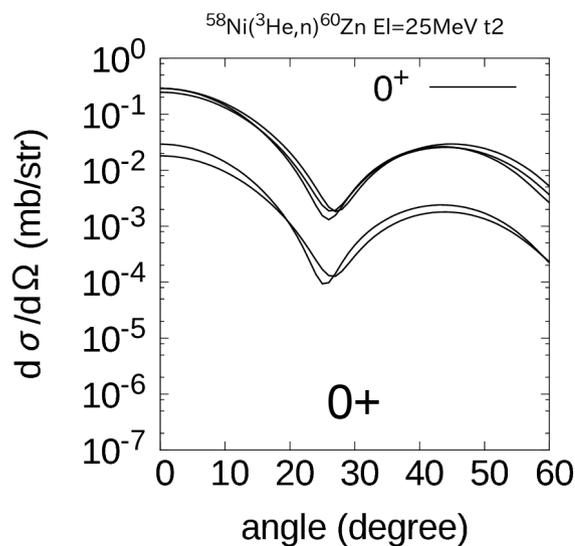
^{58}Ni はここまで
詰まっている

jj44b のモデル空間
(NuShellX)

5.5-7.5 MeVの
0+,1+,2+,3+,4+
について計算した



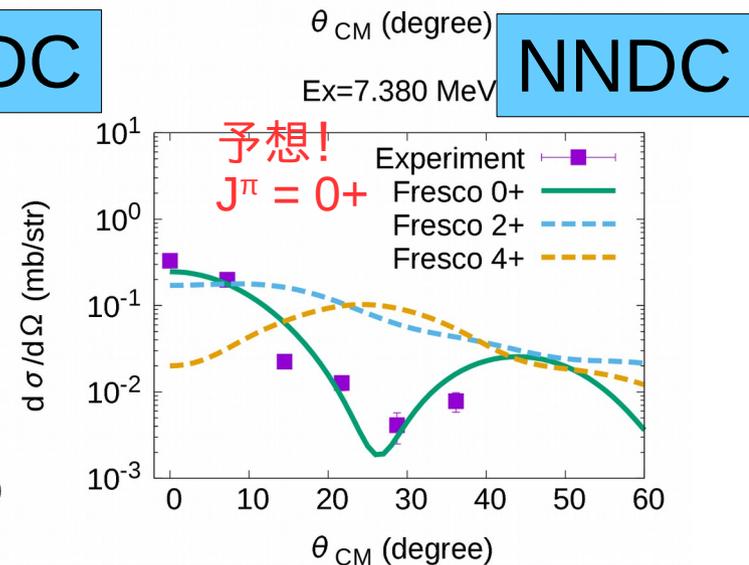
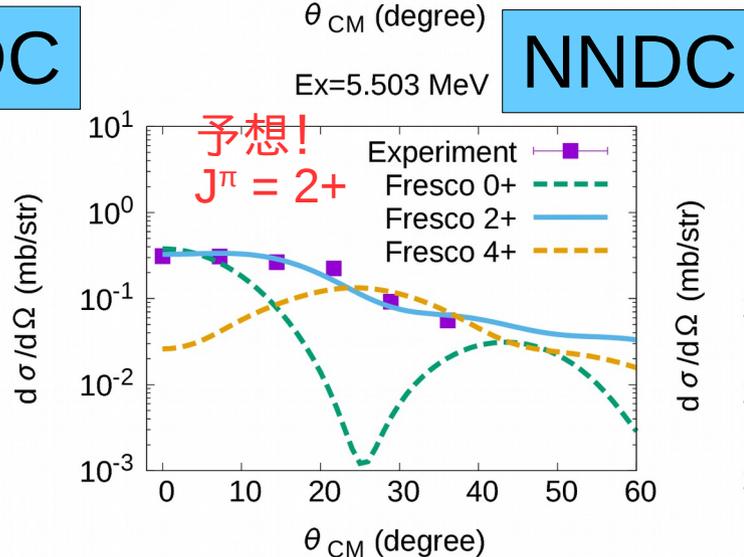
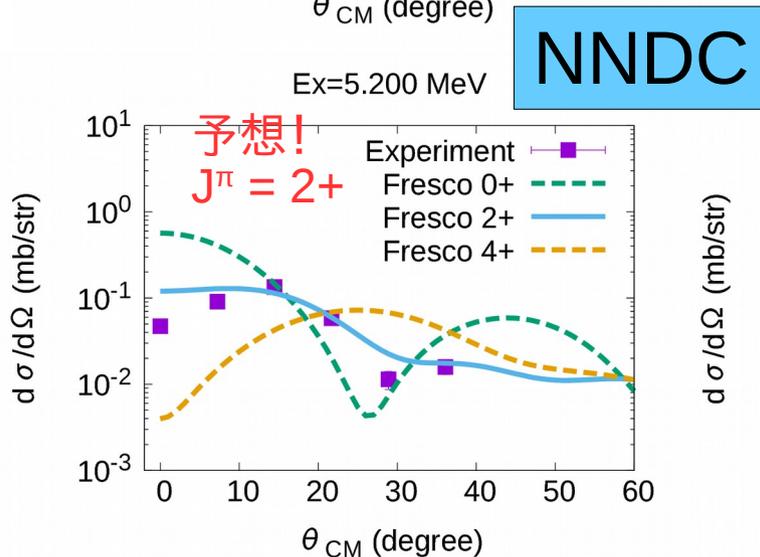
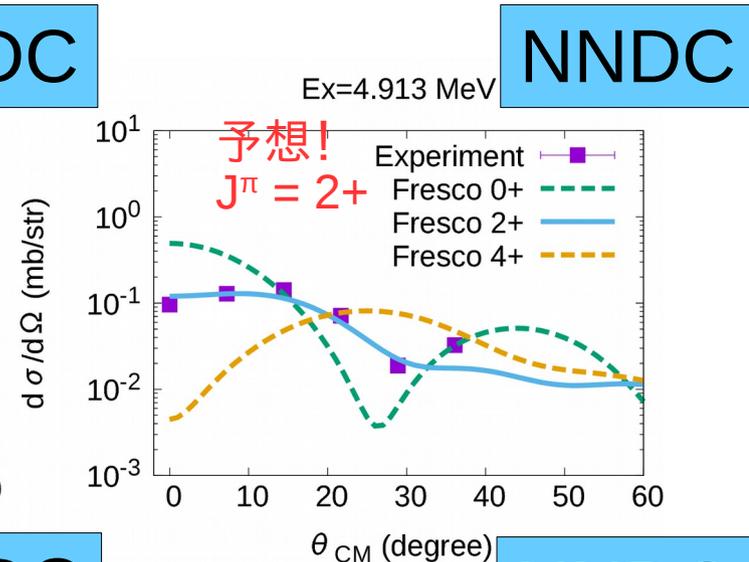
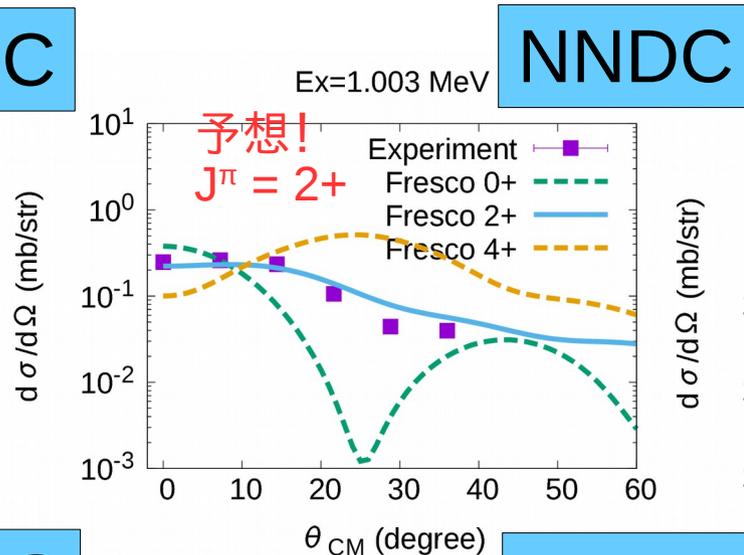
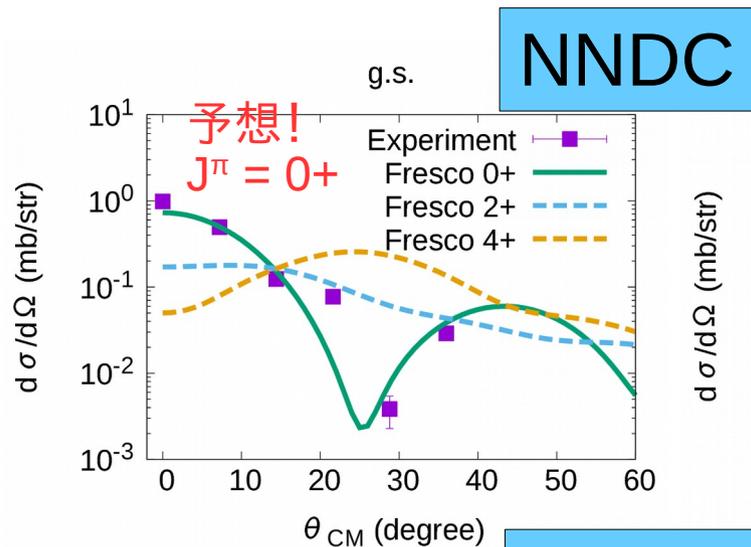
J π ごとの角度分布



1+と3+の理論計算の結果が0+, 2+, 4+の結果と比較してとても小さい

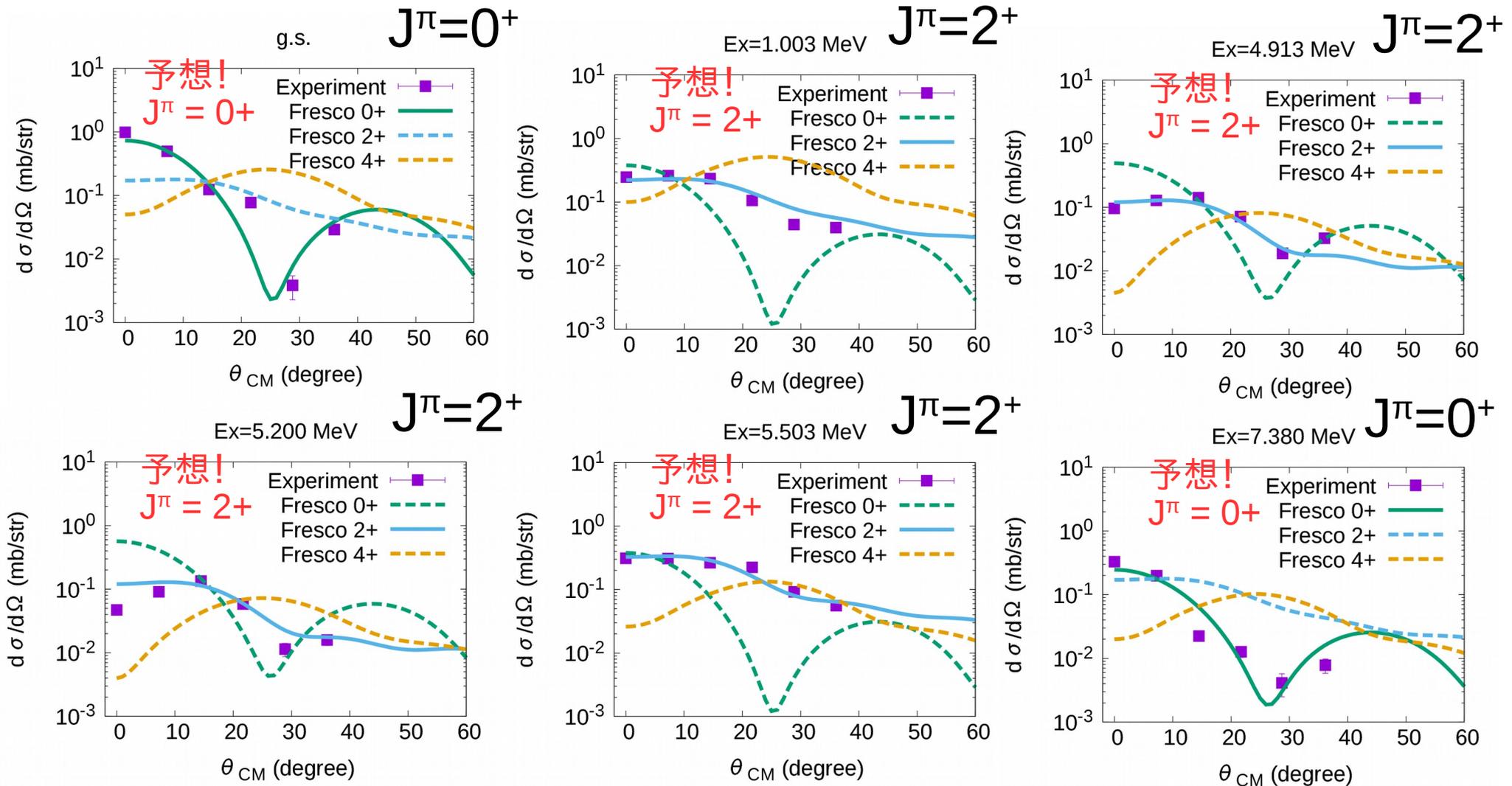
→ 見えているピークは0+, 2+, 4+だと判断できる
0+, 2+, 4+は断面積の特徴が異なる

J π が既知の準位



理論曲線と実験値の比較により決められる J^π とNNDCの J^π が一致している
→この方法でROIの J^π を決定することができる

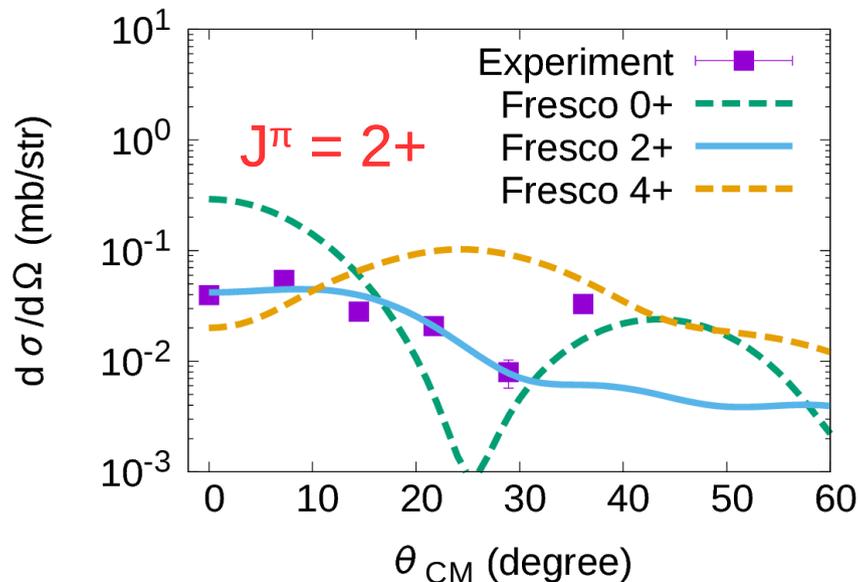
J^π が既知の準位



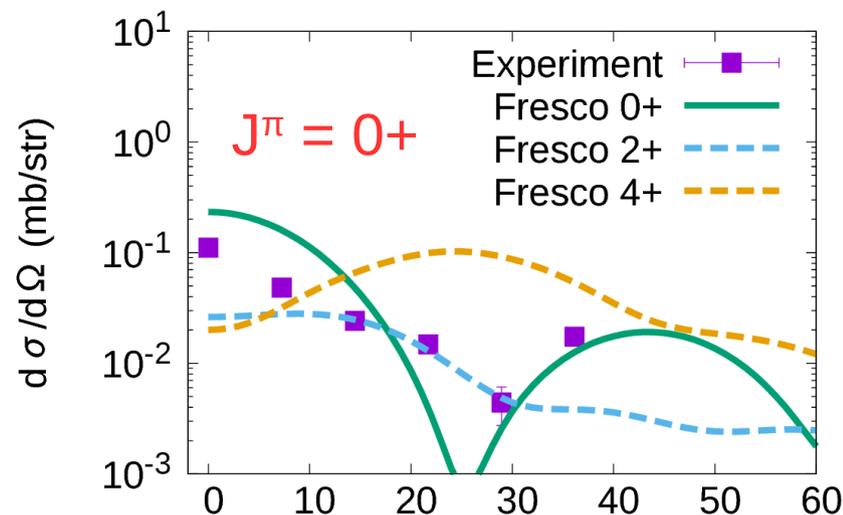
理論曲線と実験値の比較により決められる J^π とNNDCの J^π が一致している
 →この方法でROIの J^π を決定することができる

J^π が未知の準位

Ex=6.360 MeV

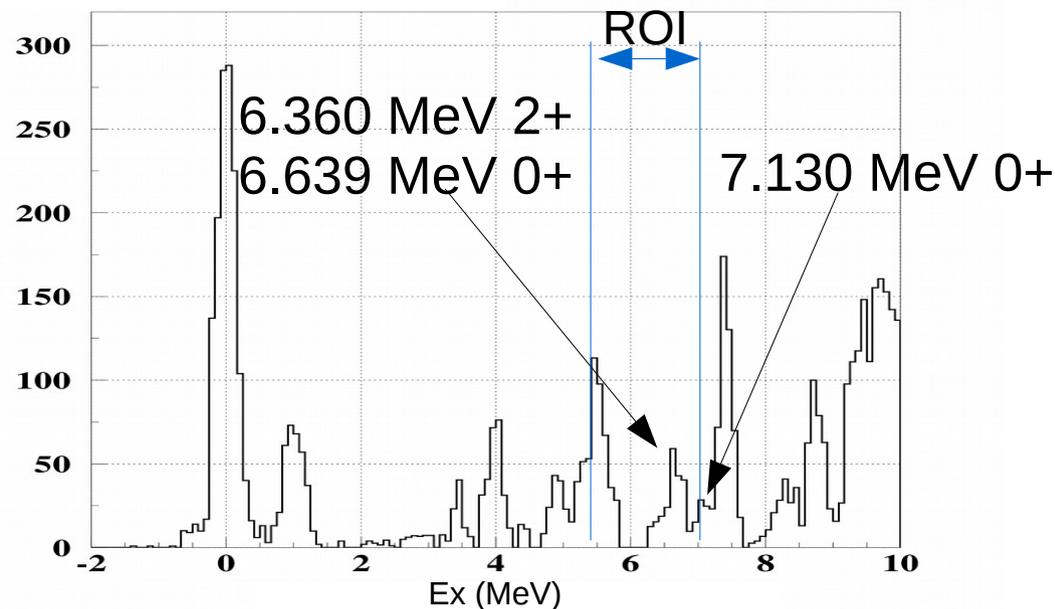
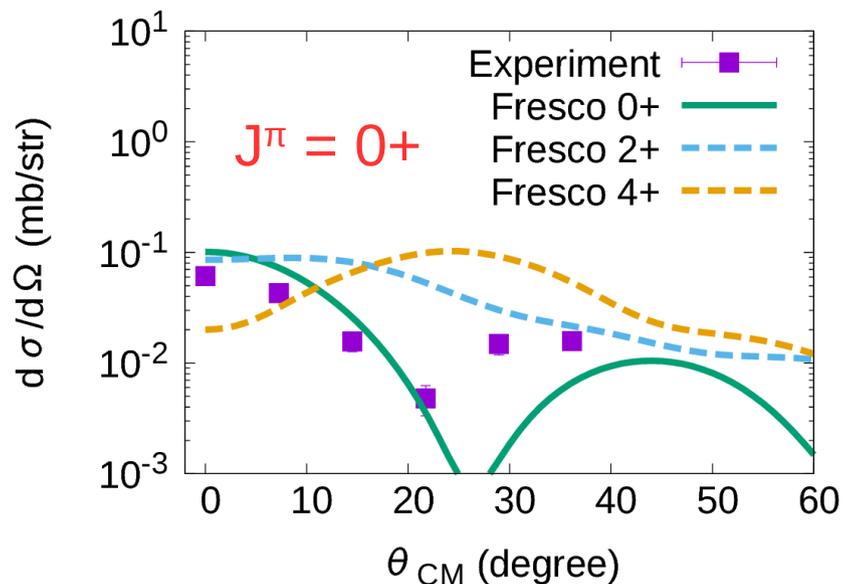


Ex=6.639 MeV



2018/03/19 02.36

Ex=7.130 MeV

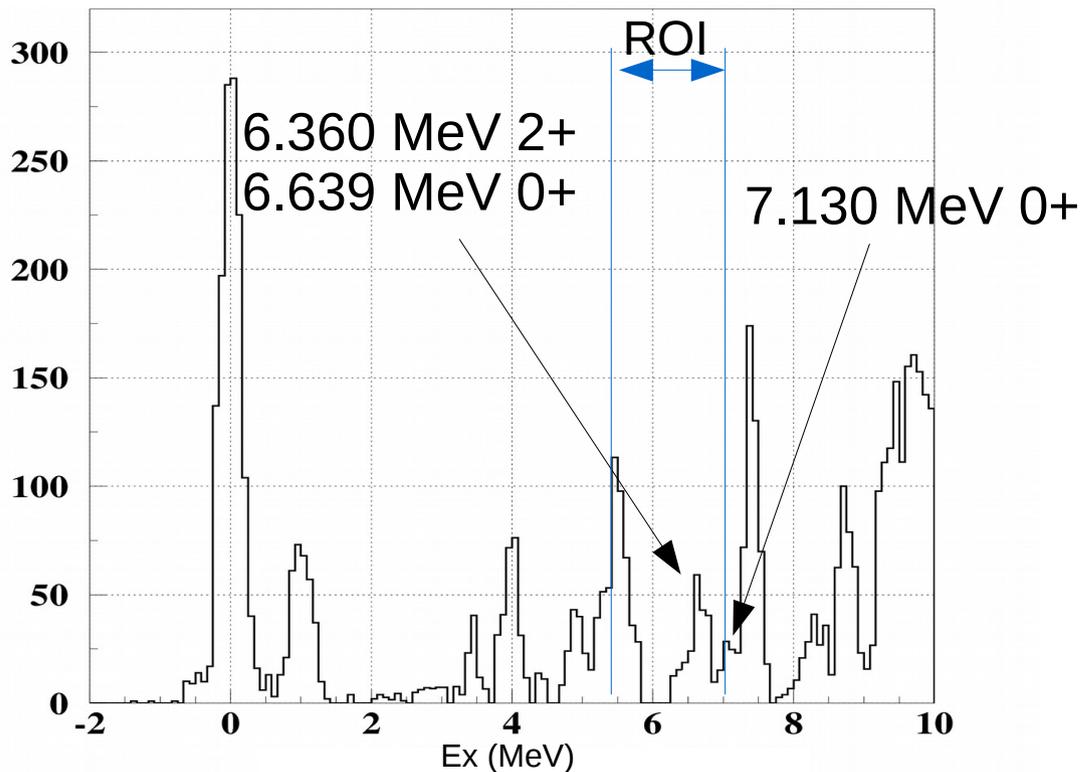


NNDCで決まっていなかった J^π を決定できた

まとめ

- ・rp-processの進行の鍵となる $^{60}\text{Zn}^*$ の陽子崩壊閾値近傍 (5.5~7.5MeV) の励起状態の同定と J^π の決定を行った
- ・ 先行研究より良い分解能で測定した
- ・ ROIにある励起状態
 - { 準位はNNDCと一致
 - { J^π を決定した

2018/03/19 02.36



Ex (MeV)	J^π (NNDC)	J^π (Experiment)
g.s.	0+	0+
1.003	2+	2+
4.913	2+	2+
5.200	2+	2+
5.503	2+	2+
6.360	?	2+
6.639	?	0+
7.130	?	0+
7.380	0+	0+

A blue bracket on the right side of the table groups the first five rows (g.s. to 5.503 MeV) with the label 'NNDCと一致'.

今後の展望

- ・ より良い分解能で測定する
→ {
 - ・ 本実験では見つからなかった新しい状態の発見
 - ・ 詳しい ^{60}Zn の励起状態の情報を得る。
- ・ p, α を検出できる装置も用いて、
本来の目的である p, α, γ 崩壊の分岐比を求める。
- ・ rp-processと同じ ^{59}Cu に直接 p を捕獲させて ^{60}Zn を生成する反応を用いて測定する。
ex) $^{59}\text{Cu}(^3\text{He}, d)^{60}\text{Zn}$
(不安定核を含むので難しい……)