

和田辰也, 岩井沙彩, 岩本哲平, 橘刀生, 立花万梨子, 中田智也, 牧田藍瑠

京都大学理学部4回生





- 1. 目的
- 2. 理論計算
- 3. 実験概要
  - 1. 実験セットアップ
  - 2. 実験見積もり
- 4. 【速報】実験結果とデータ解析
  - 1. 実施日: 2023年3月21~23日
- 5. まとめと展望











→理論計算のベースとなるモデルとして

Horowitz, Murdock及びHhillhouseらのRIA(Relativistic Impulse Approximation)を選択

メリット: 散乱断面積、偏極分解能を説明できている

D.P.Murdock and C.J,Hoeowitz PRC,Vol 35, pp1442, 1987より

Z.P.Li, G.C. Hillhouse, et al PRC, Vol 77, p.014001,2008より Z.P.Li, G.C. Hillhouse, et al PRC, Vol 78, p.014603,2008より

#### 理論計算 -Neutron-RIAの開発

RIAでは陽子弾性散乱をよく説明できる

- → 荷電対称性を課せば中性子弾性散乱にも適用できる
  - → 自分たちでNeutron-RIAを新たに開発



## 理論計算 -Neutron-RIAの計算結果

<sup>208</sup>Pb,<sup>40</sup>Ca

中性子の弾性散乱(65MeV)

実験データは

E.L. Hjort, et al, PRC, Vol.50, pp.275, 1994 より引用

実験と合っている!

→超前方角度(1~7°)での

実験がしたい!!!

1e+01 condition Neutron-RIA



#### MMN-RIAから実験へ

データをどれくらいの精度でとれば良いのか?
 相対論的に計算した密度分布で
 平均二乗半径を約1%(0.5%)変える
 →散乱断面積では何%変化するか
 縦軸は平均化した比率(%)

 $\frac{2(\sigma(522 \text{MeV}) - \sigma(520 \text{MeV}))}{\sigma(522 \text{MeV}) + \sigma(520 \text{MeV})}$ 

グレーの部分は0.1°で約3%(1000個)の データをとった時に、同じ時間で 取れる統計誤差 実験において

1~7°の前方で3%の統計精度が必要





二次標的周りの作業の様子

# 実験:<sup>208</sup>Pbの中性子弾性散乱



RCNPで夜ご飯を作る様子 ルーを使わずスパイスから作るチキンカレーは絶品





# 実験実施:<u>2023年3月21~23日</u> 主にオンライン解析の速報

測れたデータ:散乱角度4,7度で標的ありとなし

#### 【速報】2次中性子ビーム: Odeg <sup>7</sup>Li(p,n)散乱のスペクトル



#### 【速報】実験結果:n-g PSD(4deg 2nd target Pb)



#### 【速報】実験結果:S/N比を上げる



→ BGは単純に遮蔽で確率的に透過する中性子で決まってそう

#### まとめ

赤字:達成項目

- 目的:核物質の状態方程式(EOS)を知りたい
  - <sup>208</sup>Pb中性子スキン厚から対称エネルギーのスロープパラメータを制限する。
- 手段:中性子密度分布、平均二乗半径を決定するために**中性子弾性散乱**の手法を選択
  - 理論計算モデルとしてrelativistic folding modelのRIAを選択
  - 荷電対称性を仮定した、新しい中性子弾性散乱コード:①N-RIAを開発した!
- 実現可能性検証: TOF法による測定見積もり
  - 励起エネルギー分解能:約700keV → 基底状態の識別OK
  - 液体シンチレータを使った波形弁別(n,γ-PSD): FOM = ~3.2 → 弁別OK
  - Scinful-cgでの発光量分布と検出効率の見積もり:<40MeVee, ~3%
  - ・収量を見積もり: 10<sup>-1</sup> ~ 10<sup>-2</sup>(cps)程度 → ②1日の測定で統計精度3%達成可能!!
- 超前方の中性子弾性散乱を測るための実験Setupの構築@RCNP, N0コース
  - <sup>7</sup>Li(p,n)@Ep=65MeVで中性子ビームを生成<sup>40</sup>Ca,<sup>208</sup>Pbに照射
  - 複数回の加速器故障を乗り越え、③2023年<u>3月21~23日</u>についに実験実施できた!!!
    - 中性子2次ビーム由来のBGについての詳細データが得られた(ここ重要!!)
    - → 【速報】散乱角度4度での測定から弾性散乱について確認できたかも!?

⇒ 中性子スキン厚決定のために、より詳細な解析を鋭意すすめている!!!

#### 展望と課題

#### ● 理論計算

有効相互作用を<sup>40</sup>Caを用いた計算でパラメータを決める必要がある しかし、中性子だけでfittingすると、複数の収束先 が見つかってしまう

荷電対称性から同じパラメータでp-40Caを計算すれば精度良く決まるはず

→実際にやると、陽子の結果合っていない

陽子散乱と中性子散乱両方でfittingする方法を模索→計算コードの改良が必要

#### ● 実験

さらに前方の1°~3°の中性子弾性散乱の測定を行いたい

→遮蔽効果を高めることによるS/N比の向上が必要



ここまで大掛かりな実験は初めてで、頭で考えたことを実際に やってみるときのギャップにとても苦戦しました。測定回路や 解析ソフトも初めて触れるものが多く、始めは右も左も分から ないような状態でしたが、1年を通して大きく成長できたと感じ ています。

実験本番でも相次ぐトラブルに骨が折れましたが、測定が終わったときにはあまりの達成感に私は宿舎のベッドの上から起きることができませんでした。私が測定を終えた仲間の元に訪れるのはビームタイム終了から1時間後のことでした。

仲間たちに感謝です(^^)。打ち上げは僕の奢りです。





## 理論計算 -Hillhouse-RIA (BackUp)

計算モデル:Horowitz,MurdockのRIA(Relativistic Impulse Approximation,HM-RIA)を選択

- 陽子弾性散乱で成功している
- microscopic modelで成功している
- relativistic folding model(密度分布の情報が必要)

HM-RIAだと入射粒子のエネルギーが離散的にしかfittingしていない

- → Hillhouseが低エネルギー(60MeV程度)まで連続的に拡張
  - ◆ meson-nucleon散乱振幅のパラメータにエネルギー依存性
  - ◆ Pauli-Blocking(PB)のエネルギー依存性

Z.P.Li, G.C. Hillhouse, et al PRC, Vol 77, p.014001,2008より Z.P.Li, G.C. Hillhouse, et al

D.P.Murdock and C.J,Hoeowitz PRC,Vol 35, pp1442, 1987より

PRC, Vol 78, p.014603,2008より

Hillhouse-RIAのメリット

- 低エネルギー拡張により広いエネルギー範囲での計算が可能
- 散乱断面積、偏極分解能が実験データと合っている

中性子弾性散乱にはこのままでは使えない

Hillhouse-RIAをベースに改良して中性子にも計算できるように新たに開発が必要

#### 理論計算 -Hillhouse-RIA (BackUp)

<sup>208</sup>Pbと<sup>40</sup>Ca 陽子弾性散乱の散乱断面積

実験データは

Pb:H.Sakaguchi, et al, PLB, Vol 89, No1,pp40,1979 Ca:H.Sakaguchi, et al, PLB, Vol 99, No2, pp92,1981 より引用

condition Hillhouse-RIA Dirac-Hartree Density Pauli Blocking(PB) On



#### 理論計算 -Hillhouse-RIA (BackUp)

扁極分解能

<sup>208</sup>Pb

陽子弾性散乱の偏極分解能

実験データは

H.Sakaguchi, et al, PLB, Vol 89, No1,pp40,1979

より引用

condition Hillhouse-RIA Dirac-Hartree Density Pauli Blocking(PB) On



#### 理論計算(BackUp) - Hillhouse-RIAからMNN-RIAへ

Hillhouse-RIAでは自由空間中での中間子の結合定数、質量を用いている

→中間エネルギーの陽子弾性散乱で用いられ成功している原子核での媒質効果の導入を試みてい る

→ 結合定数、質量に密度依存性を追加した有効相互作用

→ 荷電対称性と合わせて、Medium-Modified-Neutron-RIA(MMN-RIA)を新たに開発 scalar meson(o),vector meson(w)について それぞれパラメータ(a<sub>i</sub>,b<sub>i</sub>)(i=1,2)を決めることができる



H. Sakaguchi and J. Zenihiro Progress in Particle and Nuclear Physics, Vol97, p1-52, 2017 より引用

#### 理論計算 Neutron-RIAでの平均二乗半径の決定手法(Back UP)

散乱断面積を決めるNeutron-RIAはできた

原子核中の有効相互作用のパラメータを陽子分布が既知の<sup>40</sup>Caで決定(ρ<sub>n</sub>=ρ<sub>p</sub>と仮定)



#### Neutron-RIAについて(散乱振幅の入れ替え)

最終目標:Dirac光学ポテンシャルU<sub>opt</sub>を求めること

$$egin{aligned} U_{
m opt} &= rac{-4\pi i p_{
m lab}}{M} ig\langle ar{\psi}_2 ig| \, \hat{\mathcal{F}} ig| \psi_2 ig
angle &= \psi_2$$
は原子核の基底状態 $U_{
m opt} &= rac{-4\pi i p_{
m lab}}{M} [F^S(q) 
ho_S(q) + \gamma^0 F^V(q) 
ho_V(q)] \end{aligned}$ 

スカラーとベクトル成分について独立に考える

$$U_{\text{opt}} = U^S + \gamma^0 U^V$$
$$U_{\text{opt}}^L(q) \propto t_{pn}^L \rho_n^L(q) + t_{pp}^L \rho_p^L(q)$$
$$\rightarrow U_{\text{opt}}^L(q) \propto t_{nn}^L \rho_n^L(q) + t_{np}^L \rho_p^L(q)$$

# 目的 $ho= ho_n+ ho_p$ $\delta=rac{ ho_nho_p}{ ho}$ ·核物質のEoS $E( ho,\delta)=E( ho,0)+S( ho)\delta^2+\mathcal{O}(\delta^4)$ ・対称エネルギーS

$$S(
ho) = S_0 + rac{L}{3
ho_0}(
ho - 
ho_0) + \mathcal{O}((
ho - 
ho_0)^2)$$

- ・中性子物質( $\delta = 1$ )の高エネルギー・高密度 領域では理論モデルに大きく依存
  - ➡ 中性子星などの高密度天体の性質に深く関係



A.Tamii,日本物理学会誌,Vol 69より引用

実験室から高密度領域を探索できるか?

#### ・中性子スキン

重い元素や中性子過剰核には、その表面に 中性子の割合が高い領域が現れる

・核物質の対称エネルギーと有限核のスキン
 厚との関係

	スキン厚 小	スキン厚 大
ho	up	down
δ	down	up



<sup>208</sup>Pbの核子の密度分布の模式図 A.Tamii,日本物理学会誌,Vol 69より引用

──→ 電子散乱(PREX)によるスキン厚の値

D.Adhikari,et al, Phys Rev Lett,126 より引

実験室から高密度領域を探索できるか?

- とりわけ傾きパラメータLは原子核
   の中性子スキン厚と相関
- $ightarrow 
  ho = 
  ho_0 におけるEoSの傾きに相当$
- ・理論モデルに依らず<u>だいたい線形</u>
- ➡ 陽子・中性子の密度分布を比較 することで対称エネルギーの形 を制限できる
- ・陽子分布(電荷分布)は電子散乱によっ てよく分かっている

中性子分布が知りたい! 傾き 中性子の最小二乗半径を1%未満の精度で求めたい!



傾きパラメータLと<sup>208</sup>Pbのスキン厚との相関図 、! X.Roca-Maza,et al,Phys Rev Lett, 106より引用

#### Pauli Blocking(PB)について

光学ポテンシャル $U^i(r)$ に以下の媒質効果を取り入れて置き換える

$$U_{PB}^{i}(r) = \left\{ 1 - a_{i}(T_{lab}) \left(\frac{\rho_{B}(r)}{\rho_{0}}\right)^{2/3} \right\} U^{i}(r)$$

低エネルギー領域での密度依存項として追加されている Hillhouse-RIAではa<sub>i</sub>のエネルギー依存性を拡張

物理的にはPauliの排他律による効果を考慮している

#### Neutron-RIAについて(密度依存性の追加)

RLF(Relativistic Love-Franey) modelについて mesonの交換の1次ボルン近似でNN振幅を記述 Direct,Exchangeのどちらかで相互作用

→scalar meson( $\sigma$ ),vector meson( $\omega$ )について Real,Imaginaryそれぞれパラメータ(a,b)を<sup>40</sup>Caを用いて決める



自由なパラメータはcoupling constant:g、mass:m

#### 実験の目的と概要

#### 目的

★ 核物質EOS決定のための、<sup>208</sup>Pbの中性子密度分布・平均二乗半径の精密測定
 ★ 原子核の表面付近での散乱を見たい

→<mark>超前方</mark>(θ≦7°)での<sup>208</sup>Pb, <sup>40</sup>Caの中性子弾性散乱の微分断面積の測定



#### 中性子実験室 @RCNP



- 1°~7°の超前方角度の弾性散乱を測定
- TOF (Time of flight) 法を用いて、中性子のエネルギーを測定 @N0コース
   TOF法:中性子の飛行時間からエネルギーを求める測定手法
- 散乱中性子は、液体シンチレータで検出
  - 波形弁別法により、中性子を識別

#### 実験の概要

★ 超前方(θ≦7°)での<sup>208</sup>Pb, <sup>40</sup>Caの中性子弾性散乱の微分断面積の測定

要求される条件

- 弾性散乱の散乱角ごとの識別:測定手法
  - 中性子の識別
  - 励起エネルギー分解能
  - 角度分解能
- 中性子バックグラウンドの遮蔽:実験Setup
  - Felcよる遮蔽



実験の実現可能性の検討(次頁から)

#### 測定手法:励起エネルギー分解能のパラメータ





TOF長>30mでは主要項の寄与が大きい。収量からTOF長を決定する。

## 測定手法:n,γ-PSD(Pulse Shape Discrimination) 波形弁別法



ーつの信号に対して尾fastと全体allのデータをとる
#### Feコリメータ プラスチック <sup>7</sup>Li target 実験Setup (標的まわり) Fe遮蔽扉 シンチレータ protons neutrons ● 陽子ビームをSWINGER磁石で曲げて、 $\theta_{sca}$ $\theta_{\rm sca}$ <sup>7</sup>Liに入射させる <sup>208</sup>Pb or <sup>40</sup>Ca 1m <sup>7</sup>Liを円軌道上で動かす&標的を動かす SWINGER磁石 ことで、 $\theta_{sca}$ を変更 Feコリメータ ● 生成中性子ビームを<sup>208</sup>Pbと<sup>40</sup>Caに衝突 →θ<sub>sca</sub>方向の弾性散乱を測定 ⑦フスチックシンチレータ

→荷電粒子のveto



標的を矢印の向きに動かすことで θ ω を変更する

駆動方向

<sup>7</sup>Li target ラダー

#### Feコリメータ プラスチック <sup>7</sup>Li target 実験Setup(標的まわり) Fe遮蔽扉 シンチレータ protons neutrons 観測したいθ<sub>sca</sub>(=1°~7°)の(n,n)散乱の $\theta_{\rm sca}$ $\theta_{\rm sca}$ みを取り出すセットアップ <sup>208</sup>Pb or <sup>40</sup>Ca 1m ● 散乱角ごとの弾性散乱を識別するた SWINGER磁石 めの工夫 標的直前のFeコリメータ →1次中性子ビームをコリメート 100µmの精度でアライメント →良い角度分解能の実現 Feコリメータ neutrons

### 実験Setup(邪魔な中性子BGの遮蔽)

- 観測したいのは、<sup>208</sup>Pb, <sup>40</sup>Caから来る2次中性子
- しかし、<sup>7</sup>Li(p,n)由来の1次中性子も検出器にや ってくる

→邪魔な中性子を遮蔽する必要がある

➤ N0コースの巨大Fe遮蔽扉を利用(幅1.5m)

→中性子を遮蔽

(遮蔽扉には双極電磁石を搭載)

➤ 遮蔽ブロック(Fe, W合金)を配置

→さらに遮蔽の厚さを稼ぐ

中性子BGの広がり (液体シンチレータの位置は正確でない)





遮蔽扉&双極電磁石 写真中央の茶色の装置が 双極電磁石 **遮蔽ブロック** 

7°setup

# 中性子BGの遮蔽効果の概算(θ<sub>sca</sub>=7°の場合)

- Feの数密度: n=8.49×10<sup>28</sup> /m<sup>3</sup>
- Feの断面積(inelastic): σ<sub>inela</sub>=1.0 barn=1.0×10<sup>-28</sup> m<sup>2</sup> (@63 MeV)
- 平均自由行程: λ=0.118 m
- 遮蔽体の厚さ(コリメータ+遮蔽扉): x=1.85 m
- 中性子透過率: P(x=1.85 m)=1.5×10<sup>-7</sup>
- <sup>7</sup>Liから来る中性子:~10<sup>5</sup> cps
- 検出器に来る邪魔な中性子: N~10<sup>-2</sup> cps
- 弾性散乱する中性子: S~1 cps
- S/N比: S/N~10<sup>2</sup>



 $\theta_{sca}=7^{\circ}$ の時の中性子BGは、コリメータ&遮蔽扉でかなり良く遮蔽できる (3°~6°の時は、さらにS/N比は良くなる)

# 中性子BGの遮蔽効果の概算( $\theta_{sca}$ =1°, 2°の場合)

- 超前方(1°, 2°)の測定では、遮蔽扉でカバーできない範囲がある →コリメータのみで遮蔽
- Feコリメータの厚さ: x=0.56 m
- 中性子透過率: P(x=0.56 m)=8.6×10<sup>-3</sup>
- <sup>7</sup>Liから来る中性子: ~10<sup>5</sup> cps
- 検出器に来る邪魔な中性子: N~10<sup>2</sup> cps (検出器を望む立体角を考慮)
- 弾性散乱する中性子: S=7.3 cps
- S/N=10<sup>-2</sup> (S/N比は良くない)



超前方角度 (1°, 2°) の測定では、中性子BGの遮蔽に限界あり

BGに関する詳細な調査が必要 → 本測定データ&系統誤差の検討

# 標的・コリメータ等の寸法

### 1次標的・コリメータ・2次標的

- <sup>7</sup>Li: 20mm×20mm×1mm<sup>t</sup>
- Feコリメータ: 100mm×100mm×50mm ×9個
- コリメータの径: Φ=24, 24.5, 26, 26, 27, 27, 28, 28, 30 (mm)
- <sup>208</sup>Pb: 約40mm×約45mm×3.9mm<sup>t</sup>
- <sup>40</sup>Ca: Φ50mm×10mm<sup>t</sup>

### 遮蔽ブロック

- Fe(100mm×100mm×50mm) ×4個
- W(100mm×100mm×50mm) ×2個
- Fe(90mm×100mm×50mm) ×1個
- Fe(35mm×70mm×100mm) ×1個
- Fe(25mm×50mm×100mm) ×1個

#### 遮蔽扉

● Fe遮蔽扉: 1.5m<sup>t</sup>

# 検出器周辺の写真等









### 検出器架台アライメント(鉛直方向)

・viewerを直接レベルで見ることができなか

ったのでレーザーを使ってviewerから

swinger磁石外部に印をつけ、それをレベル

で見て検出器に映した

4点でチェックすることによって

検出器が水平であることを確認







検出器x2

下げ振り

検出器アライメント

水平角度方向は2次標的より40mの地点で1mm の精度で、鉛直方向はそれ以上に良い精度で 調整した。この精度は十分によい角度分解能 を出せて、上流のコリメートによる要求も満 たしている。

なお、アライメントには

水平方向にはセオドライト、

鉛直方向にはレベル、レーザーを使った。



セオドライト



#### N0巨大遮蔽扉の幾何的な遮蔽範囲の見積もり

検出器付近を上から 見た図で、 左から順に1°, 2°の set up

<sup>7</sup>Li(p,n)由来の中性子 が、<u>斜線</u>の範囲では 巨大遮蔽扉によって も遮蔽される (斜線無しは標的周 りのFe遮蔽のみ)



## **TDC** timecalibration

data-fit

±0.2 nsくらい

(2次関数でもあんまり変わらない)









→ gain, pedestal が RUN313, 326 間でズレた?原因は不明

## 断面積の評価

• 微分散乱断面積は次の式で計算できる。

$$\Delta \sigma = rac{j_{
m out}}{j_{
m in} imes 
ho d} \Delta \Omega$$

 $j_{in}:$ 単位時間あたりの入射中性子数  $j_{out}:$ 単位時間あたりの散乱中性子数  $\rho: 2次標的の数密度$ d: 2次標的の厚さ $\Delta\Omega: 2標的から検出器を見込む立体角$ 

- 検出器は全ての中性子を検出できるわけではない。
- 入射pビームの強度はわかるが、nビームの強度がわからない。

→ 検出効率と入射中性子数をどう評価する?

reference(2次標的なし)を測定しよう



業:ビーム軸

• 検出器1の検出効率を1として他の検出器の検出効率を評価すれば

• 入射中性子数はref.2から求められる。

$$n_{
m in} = r_2^{(1)} imes rac{\Delta \Omega_{
m tar}}{\Delta \Omega_{
m det}}$$
  $\Delta \Omega_{
m tar}: 1$ 次標的が2次標的を見込む立体角  $\Delta \Omega_{
m det}: 1$ 次標的が検出器を見込む立体角



結果、<sup>7</sup>Li(p,n)の断面積や検出器の検出効率の絶対値をなしでも、断面積がもとまる。散乱中性子の測定データ(検出器ごと)をut (*i* = 1 ~ 6)とすると

$$\Delta \sigma = rac{N_{ ext{out}}}{n_{ ext{in}} imes 
ho d} imes rac{T_{ ext{ref}}}{T_{ ext{sca}}} \quad , N_{ ext{out}} = \sum_{i=1,3,5} ext{or} \sum_{i=2,4,6} rac{n_{ ext{out}}^{(i)}}{e_i}$$

 $T_{
m ref}$ : ref.2を測定した時間  $T_{
m sca}$ : 散乱中性子を測定した時間

 $T_1, T_3$ が分ればQが求まる。

- ・中性子ビームのエネルギー $T_1$ )→63.36 MeV(<sup>7</sup>Li(p,n)<sup>7</sup>Beより)
- ・ 散乱中性子のエネルギーT<sub>3</sub>)→TOF(Time of Flight)法

# 測定手法:TOF法(Time of Flight)



※RF:ビームを加速する高周波(30 ns)

# 測定手法:n,γ-PSD(Pulse Shape Discrimination) 波形弁別法

検出器での信号波形が変わる



nとγで信号の尾(fast)の大きさで違う これを利用して弁別



0.35

 $\Delta \mu / (\sigma_{\mu} + \sigma_{n})$ 

3.202

3.024

3.224

2.960

2.726

2.277

0.4

### シミュレーションによる見積もり

シミュレーションコードscinful-cgを用いて発光量分布と検出効率を計算した



各thresholdでの検出効率

threshold[MeVee]	Efficiency[%]
4.00	3.52
9.00	2.533
16.00	1.708

BGとなる様々な原子核反応をカットするため、 4 MeVee以上を想定

本実験でのBGのカウント数、トリガーレートによって thresholdを上げるかも

# 収量見積もり

#### <sup>208</sup>Pb(n,n)

Θc.m. (deg)	微分断面積 (mb/str)	収量(cps)
1	3.52e4	3.7e-2
7	1.32e4	1.4e-2

TOF長(二次標的 to 検出器)	: 38m
エネルギー分解能	: 693 keV

陽子ビーム	1e-6 A
一次標的 <sup>7</sup> Li	1.0 mmt
<sup>7</sup> Li(p,n) <sup>7</sup> Be 0°散乱	33.8 mb/str *
二次標的 <sup>208</sup> Pb	4.0 mmt ,Ф30mm
<sup>40</sup> Ca	1.0 mmt ,Ф30mm
<sup>7</sup> Li to 二次標的	2 m
<sup>7</sup> Li to 検出器	40 m
検出面積	Ф200mm
検出効率	3% (th:4MeVee)

*	M.baba NIMPF
Vo	ol.428 pp.454
19	99

#### ※ 表は検出器一つあたり

Oa(II,II)		
Θc.m. (deg)	微分断面積 (mb/str)	収量(cps)
1	7.53e3	1.4e-2
7	5.56e3	1.0e-2

検出器は<u>複数</u>使用予定 (一つの角度につき3個) →収量は<mark>10<sup>-1</sup>~10<sup>-2</sup>cps</mark>程度

→1日の測定で各角度約1000個(統計誤差3%)測定可能

#### 実現可能性がある!!

ただし、

40Ca(n n)

- ・S/N比を上げる必要がある
- back ground 見積もり及び

キャリブレーションのために<sup>7</sup>Li(p,n) を用いた reference data も測定が必要

# 実験セットアップ

実験Setup(検出器)

配置

- ・収量を増やす為 →6個使用
- ・幾何的な要請 →同心円上に配置
- ・角度設定が変わるとビーム軸が動くの

で位置関係が変わる。

→今回は上下2つを固定して、中段の

検出器だけ動かせるようにした。





# 実験Setup (回路)

実験に用いた回路(検出器1つ当たり、点線内は6つで共通)



VS:visual scaler, F/F:logic fan-in/fan-out

# 実験Setup (QDC Energy Calibration)

Am-Be線源と<sup>60</sup>Co線源を用いて、液体シンチレーション検出器+回路のエネルギー較正とGAIN調整を行った。



# 実験Setup (TDC time calibration)

タイムキャリブレータ(正確な時間幅10 ns/±10 psで信号を出す)を用いて TDCのキャリブレーションを行った。



# (一部) 実験結果・解析

BTスケジュールの変遷

2/13~15 → AVF真空系に故障があり2週間延期

- 2/27~3/1 →少しだけビームでデータが取れた。が、加速器の調子が悪くなかなかビームが出ない
- 3/5 →一日だけビームタイムをいただけた。が、他の故障箇所が見つかりさらに延期
- 3/9~11 →加速器の故障が重症であると判明して再度延期。

3/21~23 →本実験予定!



実験延期が決まり緊張の糸が緩んで酒を飲み出すp4メンバー インスタ映え狙いの一枚

### 実験結果

#### メモ

実際の陽子ビームの時間構造(バンチ幅、バンチ間隔): BLP2の測定

7Li(p,n)による中性子ビーム構造測定

Background測定

# 取得データ

RUN No.	標的	測定時間 [s]	p beam 強度	備考
289	Am-Be (線源)	1016	_	no beam
313	$C_2H_4$	429	1 nA?	遮蔽扉の電磁石 off,RFなし
326	<sup>7</sup> Li (+ C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	1946	80 nA	遮蔽扉の電磁石 off,RFあり

標的について

- C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> : 0.12 [mmt]
- <sup>7</sup>Li : 1 [mmt]

※ 二次標的は無し

取得データ 液シンNo.1

RUN : 289

RUN : 313

RUN: 326



gain, pedestal 値を元に, QDC channelからMeVee単位に変換





`Ж∆µ=µ<sub>n</sub>-µ<sub>γ</sub>

Detector 6

2.036

### 取得データ (RUN 0313 & 0326) C & Li 0326\_1



中性子の分解能が悪く見える
 荷電粒子に起因するもの?
 or
 中性子?
 ↓
 時間構造を持つか否かを調べる

※ 313, 326 間で回路disc. の閾値変更


時間分解能の推定値=0.65 ns

gaussian+BGでfit

→時間分解能=0.97 ns 結構大きい!

・p beamの時間広がりが大きい←想定の範囲

・液体シンチレータの時間分解能が悪い

・ビーム由来のBGが多くて時間分解能が 悪く見える

→RUN313と同じ条件でTDCのデータを見る



## 取得データ(RUN0326) CFDの較正(Slew補正)

波高が小さい(qdc ch小)程

startのタイミングが遅い、つまりtdcRF ch小



→波高に依らずタイミングが同じになるよう較正
 qdc ch小 一次関数 fit
 qdc ch大 y = const fit
 y = constを下回る部分に差分を足す



## RF background (RUN0326)



## RUN: 326 data



BGは中性子が多い

・エネルギーは低め

→時間構造を持たない低エネルギー中性子が多そう

可能性として

- ・複数回散乱し、時間構造を失った中性子が検出されている
- バンチ間隔が30nsと短いため、<sup>7</sup>Li(p,n)反応によって生成される中性子のうち、63MeVよりも低いものも検出されている



本実験での改善点

- ・遮蔽扉電磁石の電源を入れる
- ・ $C_2H_4$ でRFありのデータを取る

引用 M.Baba,et all,Nucl,Vol428,pp456,1 999



<sup>208</sup>Pb(n,n)

Θc.m. (deg)

4

微分断面積(mb/str)

2.64e4

<mark>実現可能!</mark>back ground測定、S/N比upが重要

収量(cps)

7.5e-2

threshold[MeVee]	Efficiency[%]
4.00	3.52
9.00	2.533
16.00	1.708