

# 経過報告

田中 隆己

2011年12月2日

## 1 やったこと

- HIME の PMT の GAIN チェック (40 本終了)
- splitter の設計・見積り
- splitter の試作発注
- 回路に必要なモジュール・ケーブル見積り

## 2 やらなければならないこと

- 10Li の PAC のための見積り (だいたい終わった)
- RCNP の実験の準備 (図面を手に入れる。イベント量見積り。proposal)
- 予算の最終調整。ほぼ検討は付いてる。5 万ぐらい足りないかも。
- HIME のシンチ・PMT の発送
- HIME 架台の残り発注
- HIME 架台組み立て
- splitter 作成
- Geant4 の neutron カウンターシミュレーションコードを Marques 氏から手に入れる
- ROOT の解析まわりを整理する (Geant4 の生データから実験データへの変換を一回で済む用にするとか)
- 自分で作った ROOT のモジュールの整理整頓
- anaroot を知る
- 554 で DAQ を組んでみる
- 実験の解析をちゃんとやったことがないのでやる
- QTC(モジュール名は QTM) のテスト?
- 
- 就活!?

### 3 不等分配器

不等分配可能なことは過去の経過報告で示した。今、二つ試作してみてその評価を行った。(0,16.6 $\Omega$ ,150 $\Omega$ )と(6.2 $\Omega$ ,6.2 $\Omega$ ,150 $\Omega$ )の二種類を作った。前者が1:3、後者は1:3.6の分配比となっている。問題は反射量であり、REPICのスプリッターでは3.9%、自作した物はどちらも5.4%であった。後者は反射量を減らすために敢えて上流に抵抗を入れたが効果は見られなかった。REPIC製に対して1.38倍反射が大きいのが、この違いは気にするほどではないので、試作した不等分配器を元に100ch分作ることにする。

### 4 10Li 見積り

#### 4.1 beam intensity, purity

RIPS(160, エネルギー不明(135MeV/Aと思われる), web page に載っている実測値)

- 11Li:4.5e4,100%
- 11Be:1.23e7,100%
- 12B:1.34e8,99.5%

RIBF(180, 290MeV/A, Be 15mm, LISE++)

- 11Li:1.0e6,100%(low momentum 側)
- 11Be:2.3e7,100%
- 12B:2.4e7,100%

他はどれもディテクターのレートで決まる。

#### 4.2 ディテクターのレート耐性

##### 4.2.1 plastic

<sup>78</sup>Niの実験でplasticのレート耐性を見た。その結果、レートが1e5だとパイルアップは2%程度であった(南方くんのログノートに貼った)。これより、5e5程度は十分に耐えられると考えられる。

##### 4.2.2 IC

1e5ではパイルアップが真のシグナルの2倍程度いた。これよりビーム調整には使えるがICでdEを測ることはできない。

##### 4.2.3 PPAC・DC

PPAC・DCについては調べていない。

### 4.3 検出効率

中性子検出器のアクセプタンス、解析能力 (3 本以上でシグナルが鳴る)、ターゲットの厚みを考慮したときの  $E_{rel}$  に対する検出効率を図 4.1 示す。分解能は 1% 以内 (FWHM:210keV@1MeV) で一致している。

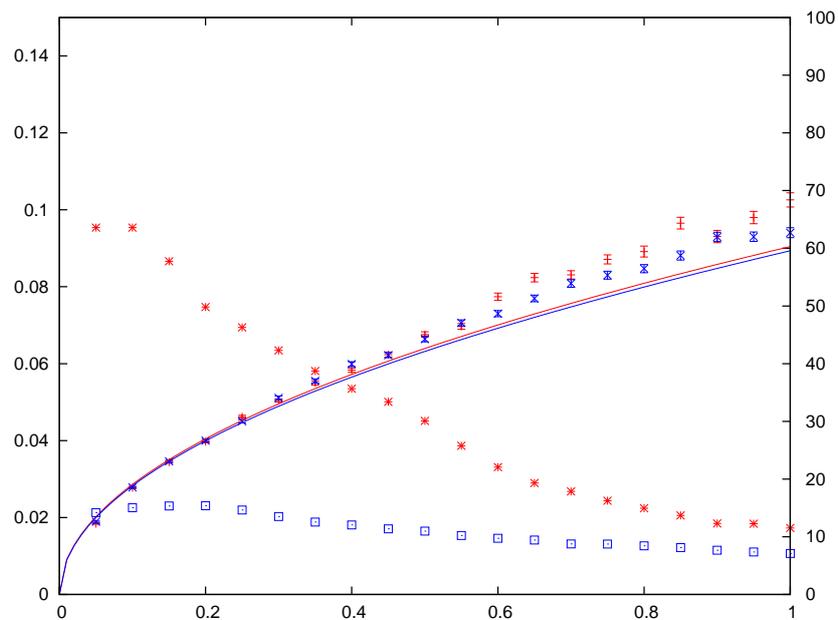


図 4.1 RIPS と RIBF における検出効率と分解能。分解能は同じになる様にセットアップした。検出効率は RIBF の方が 3~4 倍多い。

### 4.4 ターゲット厚

#### RIBF

- $^{12}\text{C}$ :1g/cm<sup>2</sup>
- energy loss difference:31.57MeV
- estrag:1.0MeV
- multiple scattering:1.4mrad

#### RIPS

- $^{12}\text{C}$ :0.42g/cm<sup>2</sup>
- energy loss difference:24.81MeV
- estrag:0.57MeV
- multiple scattering:2.5mrad

## 4.5 運動量分解能

Erel によって多少運動量分解能は違ってくるので Erel=0.5MeV の場合を図 4.2, 4.3 示す。

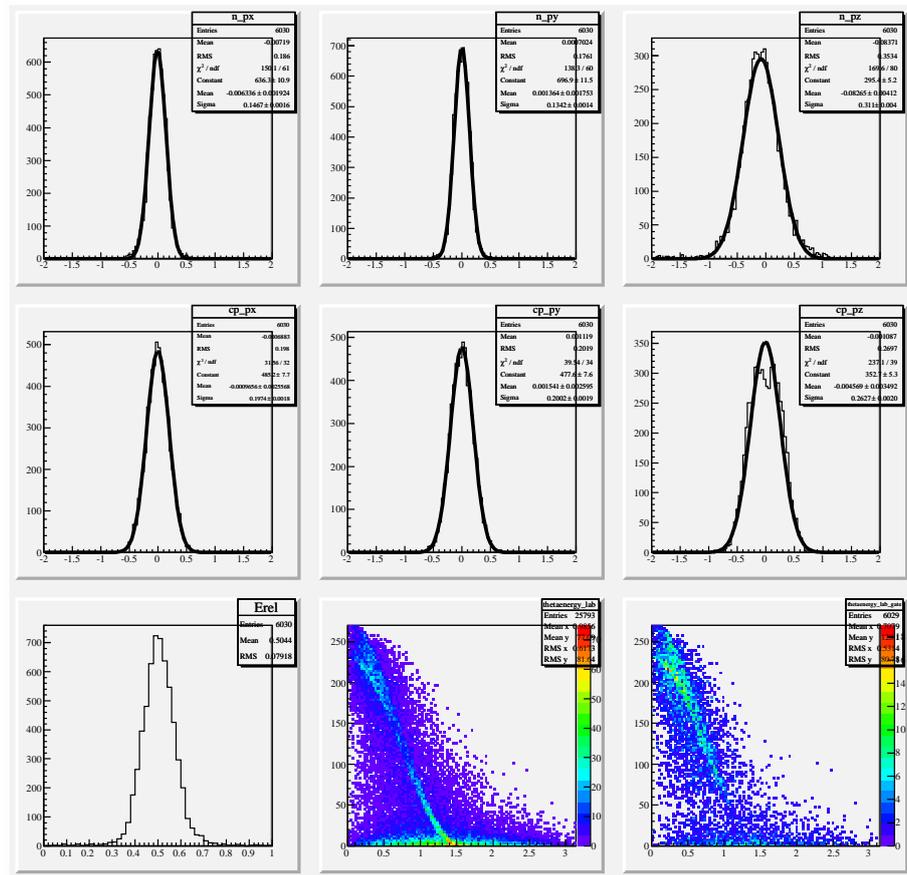


図 4.2 RIBF における運動量分解能。

## 4.6 断面積 (250MeV/nucleon)

- $^{12}\text{B}(1+) \rightarrow ^{10}\text{Li}(1+)$  0.87 mb
- $^{12}\text{B}(1+) \rightarrow ^{10}\text{Li}(2+)$  0.08 mb
- 
- $^{11}\text{Be}(-p)$ ,  $S_p=20.164$  MeV,  $1p_{3/2}$  proton removal
- 19.2 mb (I guess we expect  $C^2S$  2)
- 
- $^{11}\text{Li}(-n)$ ,  $S_n=400$  keV,  $1p_{1/2}$  neutron removal
- 78 mb (I guess we expect  $C^2S$  1?)
-

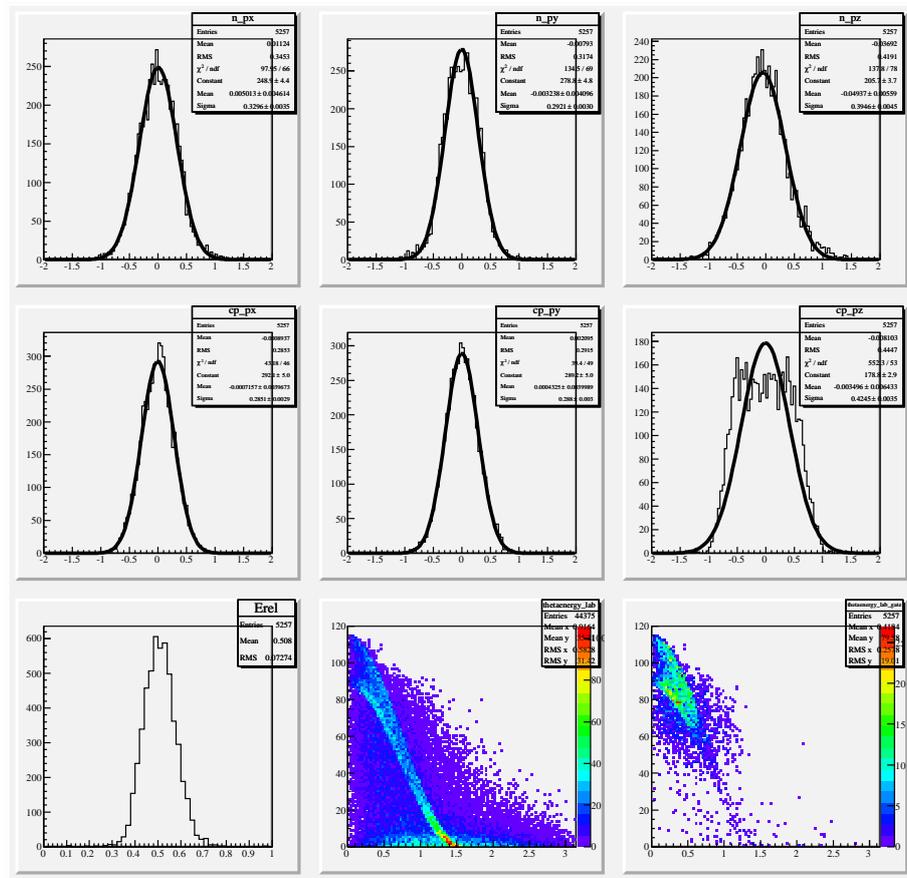


図 4.3 RIPS における運動量分解能。RIBF より悪いが、Ein が小さいので結局同じ質量分解能になる。

- $^{11}\text{Li}(-n)$ ,  $S_n = 400$  keV,  $2s_{1/2}$  neutron removal
- 139 mb (I guess we expect  $C^2S$  1?)

#### 4.7 $^{11}\text{Li} \rightarrow ^{10}\text{Li}$ の運動量分布

$^{11}\text{Li} \rightarrow ^{10}\text{Li}$  の運動量分布を図 4.4 に示す。運動量を測ってうれしいのは s と p が混ざる  $^{11}\text{Li}$  から来るときのみであり、また統計的に  $^{11}\text{Li}$  以外は厳しいと思われる。運動量の分解能は荷電粒子側で決まり、どちらの方向もおよそ 20 MeV である。荷電粒子のアクセプタンスは計算していないのでどこまで取れるのか評価できていない。

#### 4.8 スペクトル

##### 4.8.1 $^{11}\text{Li}$ : 10000 以上

fit の結果を図 4.5, 4.6, 4.7 に示す。12B で 1+ が決定できればあとは 2+ を決定するだけなので 5000 カウンタでも十分と言える。ただし、12B で 1+ が見える保証はないので、 $^{11}\text{Li}$  のスペクトルのみで 1+ を決定するためには 10000 イベント以上欲しい。また、角度分布を見る上でもイベントは一桁多い方がいい。

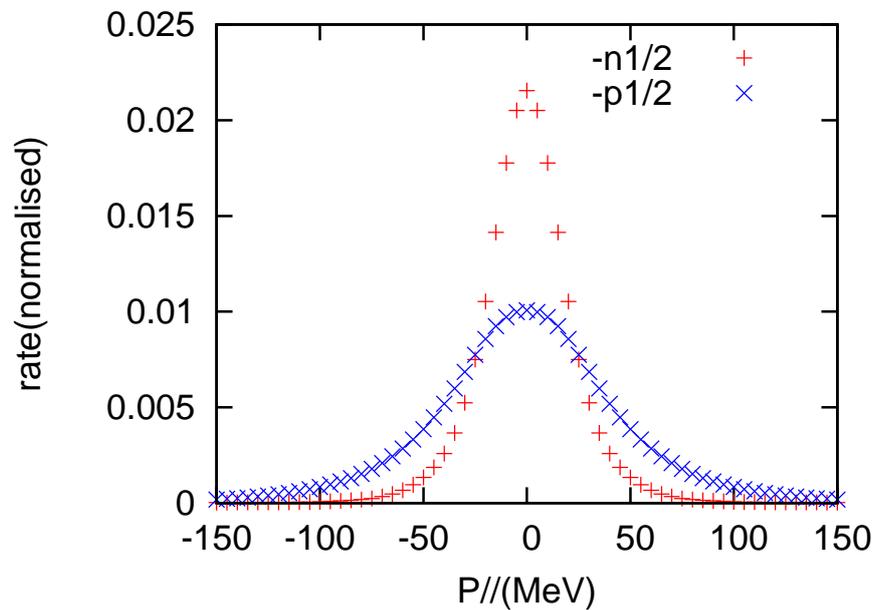


図 4.4  $^{11}\text{Li} \rightarrow ^{10}\text{Li}$  の運動量分布。運動量を測ってうれしいのは  $^{11}\text{Li}$  から来るときのみであり、また統計的に  $^{11}\text{Li}$  以外は厳しいと思われる。

#### 4.8.2 $^{11}\text{Be}$ :2000~4000 程度

fit の結果を図 4.8,4.9,4.10 に示す。fold にはポアソン分布を用いた。

s の散乱長の正確な決定には幅を正確に fit できる必要があり、統計誤差以上に系統誤差が強く効いてくる。これより 2000 イベント程度は必要だが、4000 イベント以上とってもあまり改善は見られない。

#### 4.8.3 $^{12}\text{B}$ :1000~4000 程度

fit の結果を図 4.11,4.12,4.13 に示す。 $^{10}\text{Li}$  の  $1+$  が多く生成されるとするとこの状態は鋭い resonance なので 1000 イベントでもピークの位置を統計誤差数 % で決められる。逆に、 $2+$  はイベントが少ないこととアクセプタンスの関係から fit が行えない。状況次第であり、最低 1000 イベント、可能なら 4000 イベント以上欲しいところである。

#### 4.9 バックグラウンドラン

バックグラウンドはイベント数に対するバックグラウンドの量を  $r$  とすると、 $1/r$  の時間だけ取ればよい。RIBF の場合は 0.3g 程度のバックグラウンドと思われる。ターゲット厚は 1g とするのでおよそ  $1/3$  の時間イベントを集めれば良い。RIPS の場合はターゲット厚を 0.4g にする予定で、 $1/2$  程度の時間バックグラウンドを集める必要があるかもしれない。

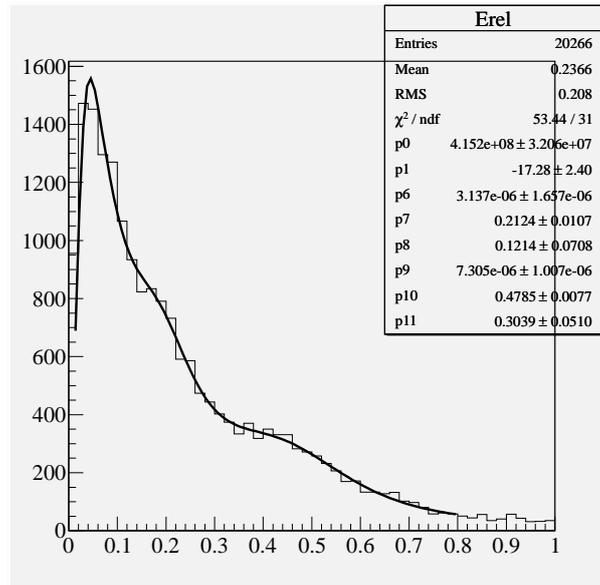


図 4.5  $^{11}\text{Li} \rightarrow ^{10}\text{Li}$  の相対エネルギースペクトル。20000 カウントの場合

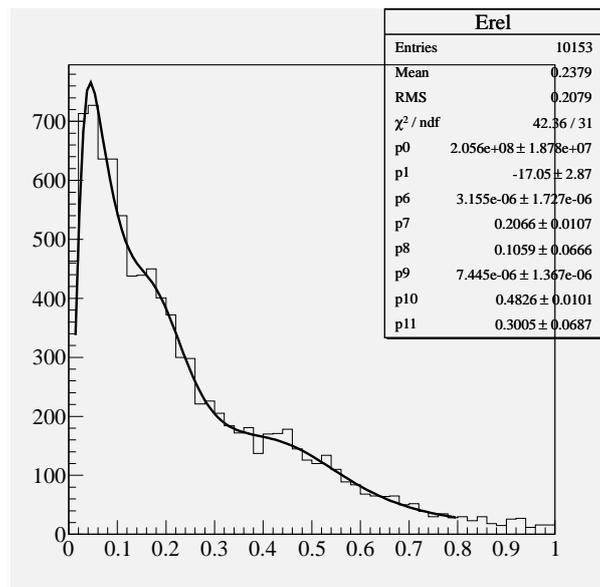


図 4.6  $^{11}\text{Li} \rightarrow ^{10}\text{Li}$  の相対エネルギースペクトル。10000 カウントの場合

#### 4.10 ビームタイム

HIME の検出効率は RIBF セットアップで 0.6%、RIPS の場合は RIBF に対して 1/3 のレートと仮定する。断面積は理論計算の半分を仮定して、 $^{12}\text{B}$ :0.5mb, $^{11}\text{Be}$ :10mb, $^{11}\text{Li}$ :100mb とする。ビームの強度は申請通り  $1\text{e}5$  とする (RIPS の  $^{11}\text{Li}$  だけ  $0.5\text{e}5$ )。

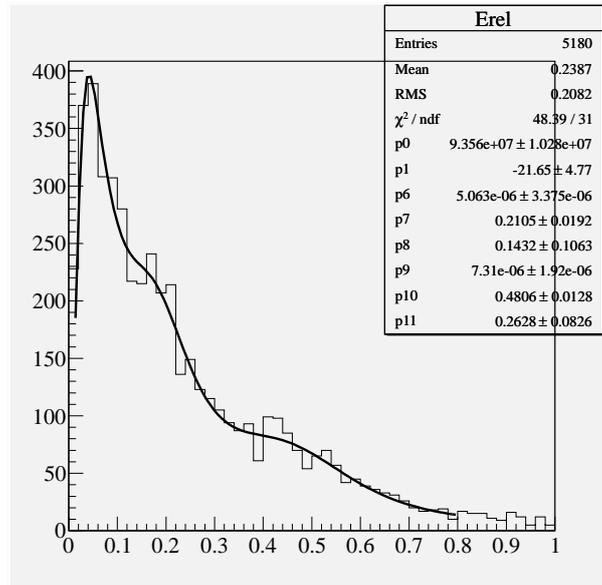


図 4.7  $^{11}\text{Li} \rightarrow ^{10}\text{Li}$  の相対エネルギースペクトル。5000 カウントの場合

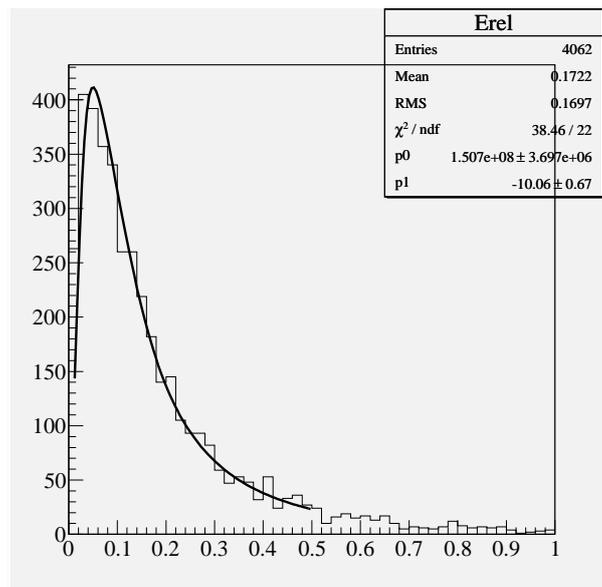


図 4.8  $^{11}\text{Be} \rightarrow ^{10}\text{Li}$  の相対エネルギースペクトル。4000 カウントの場合

必要なカウント数は上記の fit 結果より余裕を見て、

- $^{11}\text{Li}$ :40000
- $^{11}\text{Be}$ :4000
- $^{12}\text{B}$ :2000

として計算する。

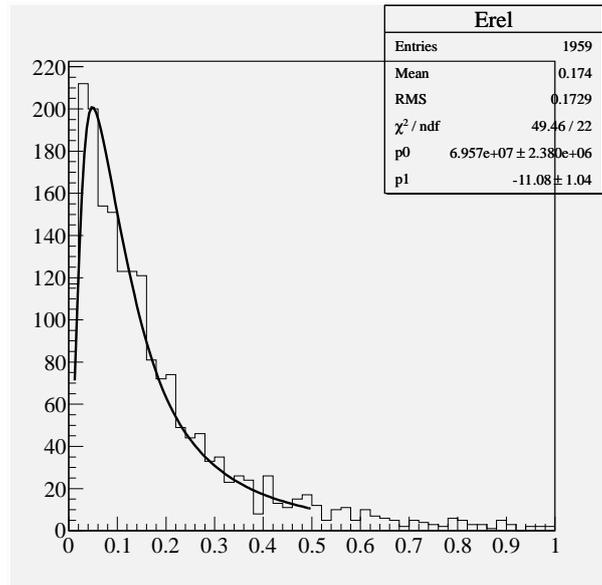


図 4.9  $^{11}\text{Be} \rightarrow ^{10}\text{Li}$  の相対エネルギースペクトル。2000 カウントの場合

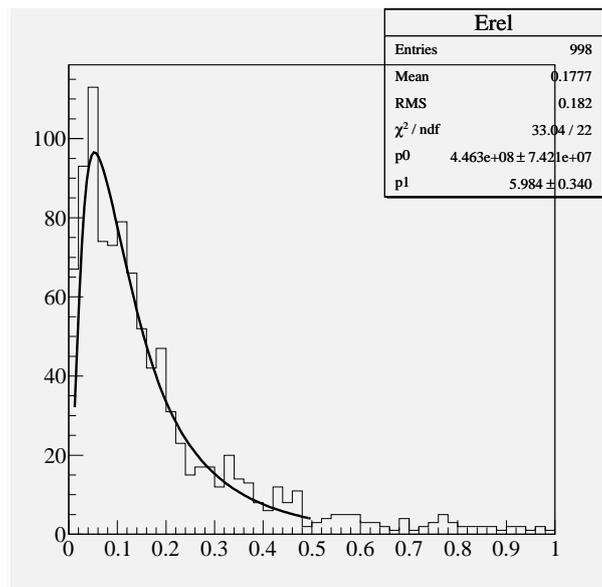


図 4.10  $^{11}\text{Be} \rightarrow ^{10}\text{Li}$  の相対エネルギースペクトル。1000 カウントの場合

RIBF の場合ターゲットは 1g とするので、

$$\text{rate}[\text{mb}^{-1}] = (0.6 * 1\text{mb} * 1\text{g} * 0.6\%) / 12 = 3 \times 10^{-7} \text{mb}^{-1} \quad (4.1)$$

となる。

$^{11}\text{Li}$  における  $2n$  イベントの数は  $^{11}\text{Li} \rightarrow ^{2n} + ^9\text{Li}$  の断面積を 20mb と仮定すると、1/5 のイベント量でいい

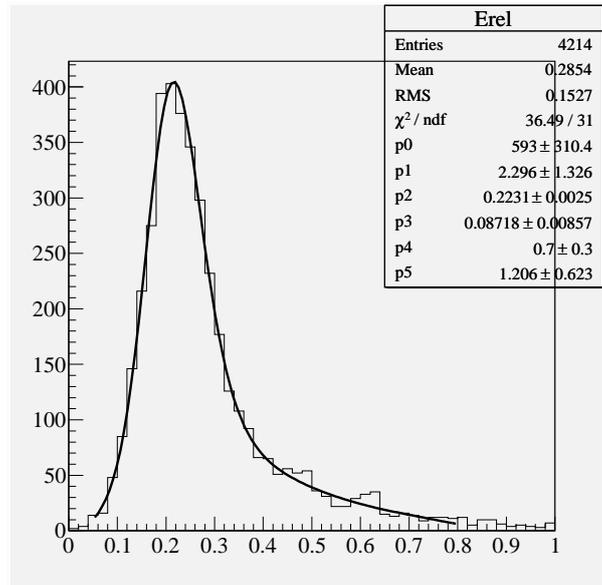


図 4.11  $^{12}\text{B} \rightarrow ^{10}\text{Li}$  の相対エネルギースペクトル。4000 カウントの場合

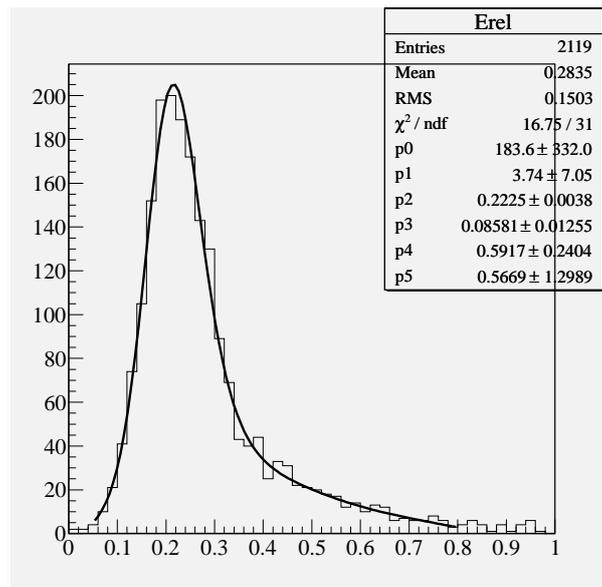


図 4.12  $^{12}\text{B} \rightarrow ^{10}\text{Li}$  の相対エネルギースペクトル。2000 カウントの場合

ので、8000 イベント集めることになる。NEBULA の  $\text{eff}_{2n}$  は 10??パーセントなので、

$$\text{rate}[\text{mb}^{-1}] = (0.6 * 1\text{mb} * 1g * 10\%) / 12 = 5 \times 10^{-6} \text{mb}^{-1} \quad (4.2)$$

$^9\text{Li}$  には  $E_x = 2.69\text{MeV}$  の励起状態がある。これは測定上バックグラウンドとして取り除いてしまう。dali の効率を 7% と仮定すると、

$$\text{rate}[\text{mb}^{-1}] = (0.6 * 1\text{mb} * 1g * 40\% * 7\%) / 12 = 1.4 \times 10^{-6} \text{mb}^{-1} \quad (4.3)$$

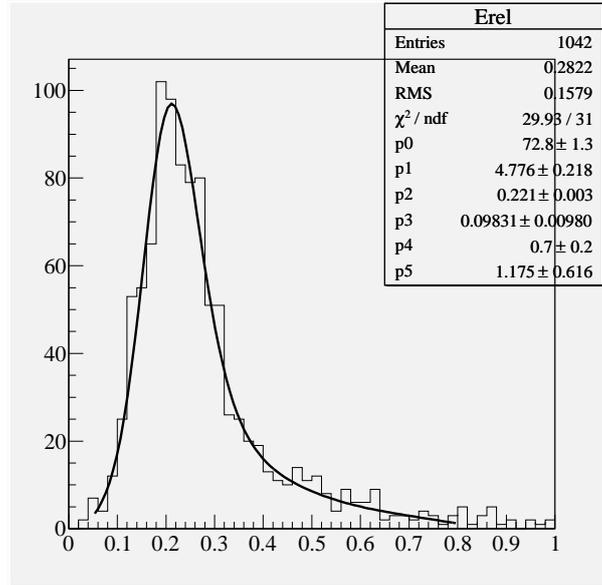


図 4.13  $^{12}\text{B} \rightarrow ^{10}\text{Li}$  の相対エネルギースペクトル。1000 カウントの場合

となる。RIPS での過去の実験では半分程度が inelastic であったため 20000 イベント集めることになる。

以上から、

$$^{11}\text{Li} : 3 \times 10^{-7} \text{mb}^{-1} * 100 \text{mb} * 10^5 \text{cps} = 3 \text{cps} = 1.1 \times 10^4 \text{cph} \rightarrow 4h \text{ 弱} \rightarrow 4h + 1.5h \quad (4.4)$$

$$^{11}\text{Be} : 3 \times 10^{-7} \text{mb}^{-1} * 10 \text{mb} * 10^5 \text{cps} = 0.3 \text{cps} = 1.1 \times 10^3 \text{cph} \rightarrow 4h \text{ 弱} \rightarrow 4h + 1.5h \quad (4.5)$$

$$^{12}\text{B} : 3 \times 10^{-7} \text{mb}^{-1} * 0.5 \text{mb} * 10^5 \text{cps} = 0.015 \text{cps} = 5.4 \times 10^1 \text{cph} \rightarrow 37h \text{ 強} \rightarrow 42h + 14h \quad (4.6)$$

$$^{11}\text{Li}(-2n) : 5 \times 10^{-6} \text{mb}^{-1} * 20 \text{mb} * 10^4 \text{cps} = 1 \text{cps} = 3.6 \times 10^3 \text{cph} \rightarrow 2h \text{ 強} \rightarrow 0(-n + \gamma \text{ と同時}) \quad (4.7)$$

$$^{11}\text{Li}(-n + \gamma) : 1.4 \times 10^{-6} \text{mb}^{-1} * 100 \text{mb} * 10^4 \text{cps} = 1.4 \text{cps} = 5.0 \times 10^3 \text{cph} \rightarrow 4h \text{ 弱} \rightarrow 4h + 1.5h \quad (4.8)$$

最後に 1/3 のバックグラウンドランを加えた。以上より合計は 72.5h $\approx$ 3days となる。

あとは neutron calib. を 1day と other calib. を 0.5days 加えて 4.5days となる。RCNP で neutron を用いた実験ができれば neutron calib. は必要なくなり、3.5days となる。proposal では 5days で申請したのでどうしましょう。

なお、RIPS で実験する場合は 71.5h\*3+1.5days $\approx$ 10.5days となる。

#### 4.11 GAIN キャリブレーション

横置き of HIME はそのままでも GAIN キャリブレーション可能だが、縦置き of HIME はイベントレート的にも精度的にもかなり辛い。そこで、GAIN キャリブレーションを行うために HIME を寝かせることを考えている。この場合宇宙線により 2MeVee のキャリブレーションが行える。

thr は 1.5MeVee 程度にする予定で、宇宙線で slew 補正や相対的な時間較正が行える。逆に、これがないと beam で較正することになり辛い。

## 4.12 TOF キャリブレーション

12B のランは長い (2 日程度) ので、ここで発生する gamma 線によって TOF のキャリブレーションができると考えている。C の gamma 線に対する断面積はおよそ 200mb なので、1g あたり約 1% の検出効率となる。12C の励起状態に行く断面積を 1mb と仮定すると、ジオメトリからアクセプタンスは  $6 \times 10^{-4}$  なので、

$$5 \text{cps} \times 6 \times 10^{-4} = 3 \times 10^{-3} \text{cps} \simeq 11 \text{cph} \simeq 260 \text{cpd} \quad (4.9)$$

この数は HIME 全体での検出数なので、1mb だった場合は HIME の相対的な時間差を宇宙線などで出す必要がある。10mb だった場合は一本あたりで 100cpd 程度なので TOF の決定が行える。

1 日データを取って、あまりにも gamma 線が少ない場合は重いターゲットを置か、ビームレートを強烈に上げる等の対処が必要。いずれにしても 2 日間ターゲットのある ran があればキャリブレーション可能と考えられる。

## 4.13 シングルレート

HIMAC の実験前に測ったデータがあり、500keV ぐらいまで取れる設定で 100cps 程度であった。50 本ディテクターがあるので、シングルレートはおよそ 5kcps となる。シグナルの幅を 100ns とすると、一秒間に  $500 \mu\text{s}$  程度の時間鳴っていることになる。beam トリガーは充分狭い幅で 100kcps ぐらい来ている。これより偶発的なコインシデンスはザックリは  $100\text{k} \times 500 \mu = 50$  カウントとなる。

以上より現状はシングルレートは問題でないが将来的には問題となってくる。

## 4.14 イベントレートと thr

neutron の検出効率は thr に対してあまり敏感ではない。これを図 4.14 に示す。

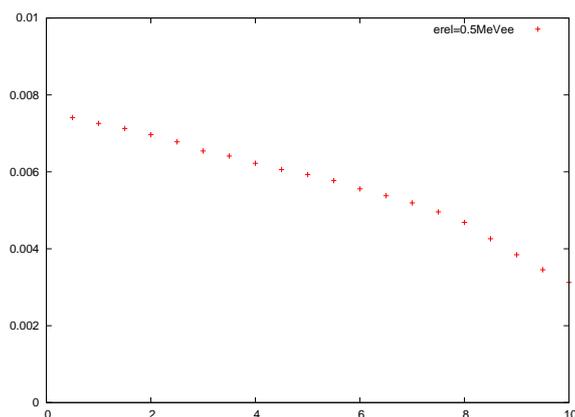


図 4.14 eff の thr 依存性。Erel=0.5MeV の場合

これ以上に問題となるのは gamma 線のレートで、thr を下げると gamma 線が多くなって dead time が多くなってしまふ。ただ、HIME はアクセプタンスがものすごく小さいのでほとんど問題にならないと考えられる。

## 4.15 ダイナミックレンジ

HIMAC の実験で PMT からのシグナルがおよそ 4V を越えるとタイミングがおかしくなることがわかった。これにより HV の上限値が決まってしまう。アテネーションは約 0.5 なので、

- 40MeVee(near) : 4V-split(x 約 0.7)→ 約 3V
- 40MeVee(far) : 4V\*0.5=2V-split→ 約 1.5V
- ∴ thr=50mV → 1.3MeVee(far)

以上から、およそ 1.5MeVee から 40MeVee まで取れる。この設定ならほぼ全ての neutron イベントを取れるので十分である。もしタイミングシフトが起きてしまったとしても、30MeVee 以上を切り捨てても解析にあまり影響しないのでそこまでは余裕をみることができる。

RIPS の場合はエネルギーロスの range が広がるので実は結構辛い。

## 5 シミュレーションの妥当性

### 5.1 QGSP\_BIC\_HP について

### 5.2 断面積

### 5.3 proton の角度分布 (lab,cm)

### 5.4 proton の角度分布に対する検出効率

### 5.5 11Be の実験のシミュレーション:検出効率

### 5.6 11Be の実験のシミュレーション:分解能

## 6 HIME の特性

### 6.1 エネルギーロス分布

### 6.2 アクセプタンス

### 6.3 proton の入射エネルギーと range

### 6.4 2 体の場合のアクセプトされる proton の角度のエネルギー依存

### 6.5 HIME の分解能 (dT=110ps,130ps,200ps)

クリティカルには効かない。

### 6.6 3,4,5 層突き抜けの場合の dpz の変化

イベントは 1/4 に減って 5% ぐらいしか改善しない。層の数が増えるとイベントのロスは少なくなり、また、改善した pz に合わせてセットアップを組めば全体ではまだ 1,2 割分解能を上げられると考えている。

- 7 ターゲット厚とバックグラウンド
- 8 ディテクターセットアップ
- 9 荷電粒子のアクセプタンス