

経過報告

田中 隆己

2011年6月9日

1 概要

HIMAC の実験 (P283) の解析経過報告、及び HIME 関連の見積りについて報告する。

2 P283 解析経過報告

2.1 前置き

HIME の予算の期日 (十月末に 500 万ほど、年末に 500 万ほど) が迫っているので、モジュールの仕様決定に必要な、“中性子の時間分解能” の導出を第一に行っている。中性子の時間分解能を求めるには、時間分解能が 100ps 単位で分かればおおよそ問題ない。

=====
=====中性子の時間分解能と相対エネルギー分解能の簡単な見積り=====
=====

具体的には、卒研で行ったシミュレーションと単純な誤差の伝搬の計算より、 $dt=100ps(\sigma):110keV(FWHM)@1MeV$ 、 $dt=200ps:\approx 220keV@1MeV$ 、 $dt=300ps:\approx 330keV$ となる。(正確には、卒論では $100ps+100/\sqrt{E[MeV]}$ としたときに $110keV(FWHM)@1MeV$ となる。) このシミュレーションでは、二本の直行するシンチレータで位置決定を行うが、時間については一本目の情報しか用いていない(はず)。このため、通過した本数を n とすると、時間分解能は \sqrt{n} となり、相対エネルギー分解能も $\approx \sqrt{n}$ と向上することが見込まれる。なお、250MeV の中性子により打ち出された proton の内、40% 以上の proton は 4 層以上通過し、20% 以上の proton は 9 層以上通過する。つまり、時間分解能が 200ps であっても、検出効率が 40% に落ちるものの、100ps と同等の分解能が得られる。時間分解能が 300ps の場合であれば検出効率が 20% に落ちるのを許容すればよい。

以上から、300ps 以下の時間分解能が出れば高分解能という目的のみは達成できると言える。

=====

現在の解析では、キャリブレーション等は大雑把なまま (時間の誤差は 1 割以下程度、エネルギーの誤差は 2 割程度) で解析をしている。NEUT のスルー補正、Start Counter のスルー補正、理論的飛行時間補正は行っている。スルー補正は左右のチャンネルで同じ係数とし、理論的飛行時間補正はそれ自身の誤差が 1 割程度存在すると考えられる。

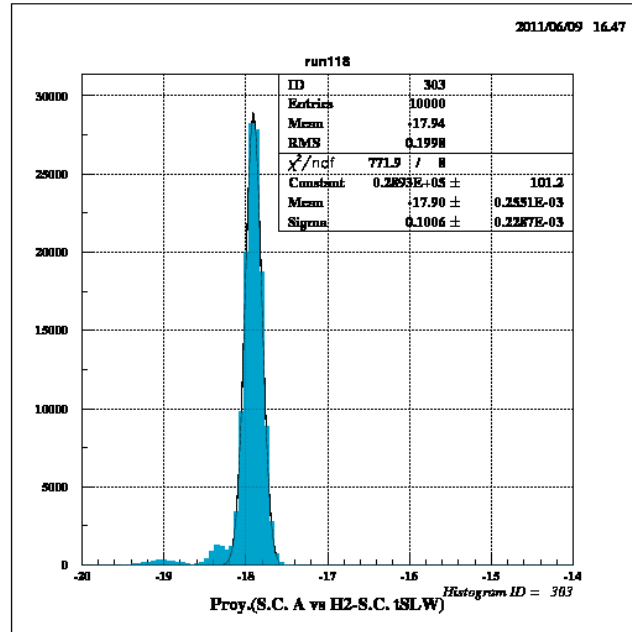


図 2.1 H2 と S.C. 間の飛行時間 (slew 補正済み)[ns]。S.C. と H2 の時間分解能の二乗平均は 100ps と求まった。三つ山が見えるが、これは理解されるべき問題で、時間分解能の評価に対して影響はないと考えている。

2.2 HIME の略称

- H1:40x20 (beam に近い)
- H2:40x20 (H1 の背後 or ゼロ度)
- H3:20x20 (H1 の上に乗っている)

2.3 S. C. の時間分解能

proton ビーム素通り Run より、S. C. の時間分解能を求めた。ゼロ度に置いた NEUT(HIME2) と S. C. 間の ToF を求めると、図 2.1 の様に、100ps 程度となる。

HIME2 の中心での intrinsic な時間分解能は、卒研より、70ps(@4MeV) 程度と分かっている。proton

beam でのエネルギーロス は 8MeV 程度なので、

$$70[\text{ps}]/\sqrt{2} \simeq 50[\text{ps}] \quad (2.1)$$

となり、S. C. の時間分解能は

$$\sqrt{100^2 - 50^2} = 87\text{ps} \quad (2.2)$$

と見積ることができる。

2.4 gamma 線の時間分解能

C(⁴⁰Ar,Π⁰) の Run で Target から飛んでくる gamma 線の時間分解能を図 2.2 に示す。

この様に、大雑把な解析で 160ps 程度は出ることが分かる。(とは言え、これ以上頑張ってもせいぜい 1 割程度しか改善しないと思われる。) つまり、中性子の時間分解能は 200ps 程度から最悪 300ps 程度は出ると予想される。

π⁰ で ToF のコウセイすることを考えたとき、NEBULA と異なり HIME の場合は高エネルギーのエネルギーデボジットがないため、ワイドレンジな ToF キャリブレーションとはならない。

2.5 neutron の時間分解能

いろいろ問題はあるにせよ、まずは素朴な gate (S.C.(T vs A 分布が正常なところのみ) .and. VETO .and. H2 .and. -H3) をかけたときの H1 の ToF vs A 分布を図 2.3 に示す。

この図の問題点として、

- イベントレートが少し高い (要シミュレーション)
- pry したときに荷電粒子っぽい
- 高いエネルギーほど ToF が早いという傾向の粒子が残っている

一つ目に対しては、veto の上から降ってくる荷電粒子が残っていると考えられる。そのため、beam から散乱し、さらにシンチレータで散乱するという経路を通る event の数、及びその分布を見積もる必要がある。これは empty Run でほぼ評価できる。まだちゃんとに評価していない。

二つ目は、gate で H2 が観測されることを強制しているため、H1 のエネルギー分布に peak ができる可能性はある。これは demons 等でシミュレーションすることによりわかる。まだやっていない。

三つ目は、現在もっとも力を入れている問題で、" 高いエネルギーほど ToF が早いという傾向の粒子 " は荷電粒子でも見られる。詳細は以降の項で。

以上の問題があり、さらにイベント数が少ないため、現状、中性子の時間分解能がいくつであるということとはできない。

2.6 荷電粒子イベントの理解

荷電粒子をいろいろな相関で見ていると、いくつか不可解な部分が存在する。これらはおそらく共通の原因を持つと予想され、この問題のことを「500ps 問題」と呼ぶ。500ps たる所以は解析ノート vol.1 p4 に示すとおりである。

2011/06/09 18:31

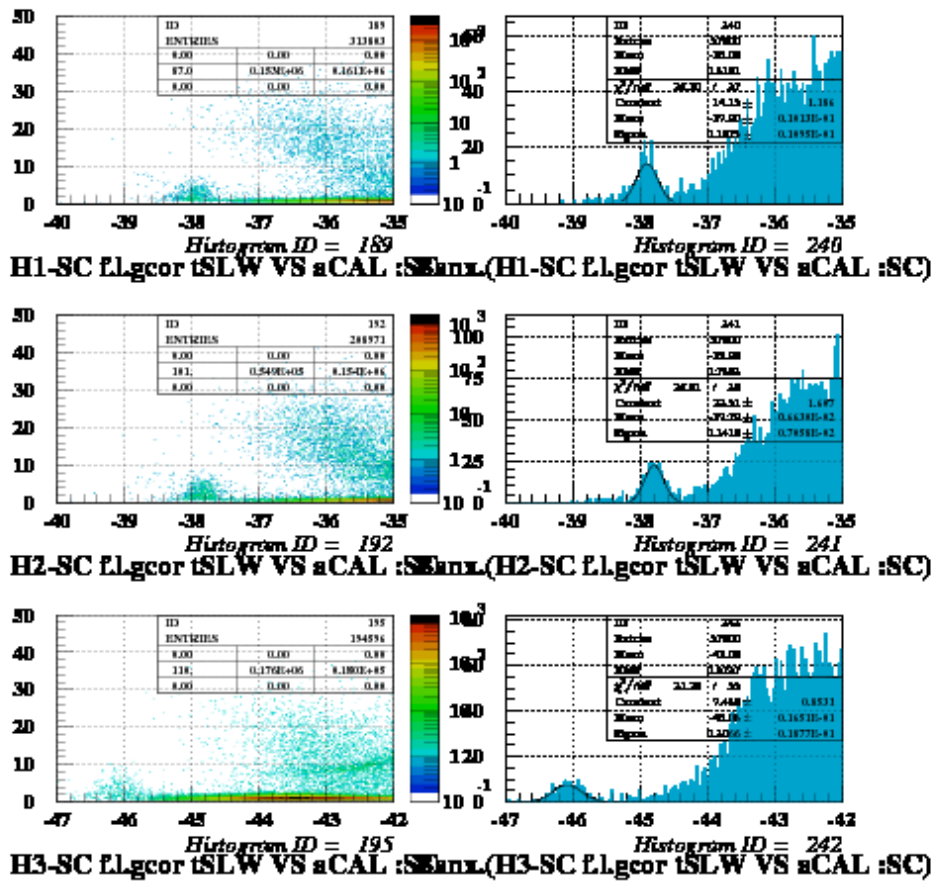


図 2.2 H1,2,3 と S.C. 間の飛行時間 (slew 補正済み)[ns] vs H1,2,3 のエネルギー [MeV] (gate:S.C.,P283 解析ノート vol.1 p42 参照)。y 軸について 3MeV から 50MeV までを x 軸にプロジェクションした結果。それぞれの時間分解能の二乗平均は 157ps,141ps,207ps と求まった。

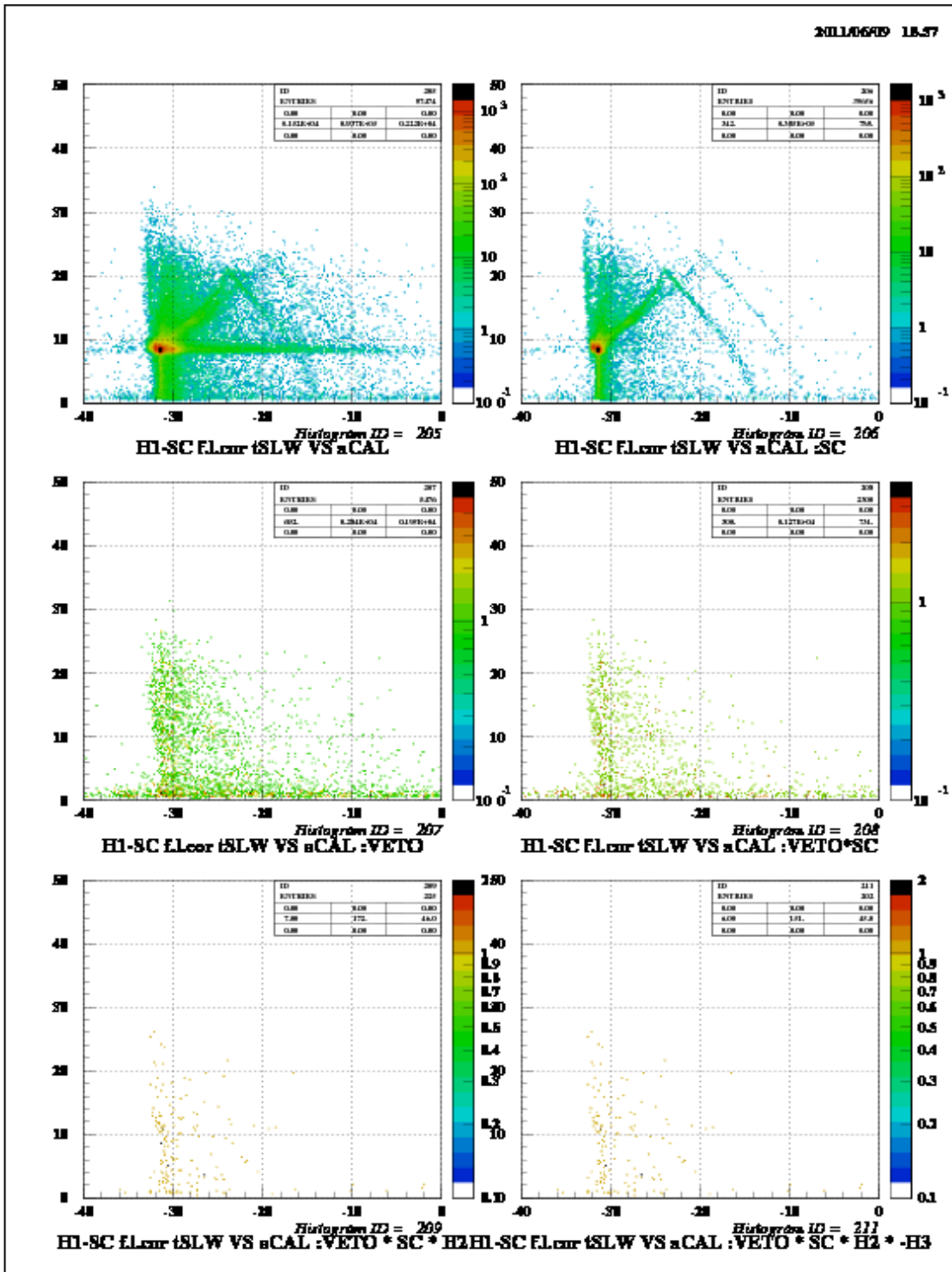


図 2.3 H1,2,3 と S.C. 間の飛行時間 (slew 補正済み)[ns] vs H1,2,3 のエネルギー [MeV] (gate:S.C., 解析ノート vol.1 p43 参照)。

この 500ps 問題だが、先に現状での見解を述べておくと、proton や neutron がシンチレータ中の粒子と衝突した場合にそのような問題がおこる、と推測している。

以下、500ps 問題の整理、考察をしていく。

2.6.1 条件や parameter

まず、問題を起こす原因となりうる条件、及び parameter を整理する。

実粒子で無い場合

- 回路 (反射、thr(リングング等、C*に伴う gamma)、モジュールの問題、近接したイベント、ダブルパルス)、PMT(種類、放電)、
- シンチレータ (内部構造、端面での反射、形状、大きさ)

実粒子の場合

- H1, H2, H3, N5, N その他, それぞれの場合。
- coin(H1,H2), coin(H2,N5)
- VETO ありなし、S. C. のパイルアップ、そもそも S. C. 由来
-
- 粒子の種類 (ハドロン, レプトン, p, Ar, μ , γ , n)
-
- 入射エネルギー
- 観測されたエネルギー
-
- 観測された位置 (dT, $\log(A/A)$)
-
- 散乱過程 (C による運動量移行の大きい散乱、p を打ち出す運動量以降の小さい散乱、内部で gamma が生じる)

2.6.2 さまざまな相関

次に、いろいろな相関で見える問題を上げていく (解析ノート参照)。

- TDraw vs ADraw(500ps ずれている)
- TDraw vs ADraw
- フォルテッシモ :
- 角、剣山 :
- 上にのびる :
- 分身 :
- ななめ :
- 速いの :

2.6.3 現在の DEBUG 状況

二つほど物理的に決定的な事実がわかっている。

- ゼロ度 Run の (H2 TDraw, H2 ADraw) の上にのびーるに gate をかけると、N5 でイベントがぐっと減る。
- (H1 AA, H2 AA) の鎌に gate をかけると、フォルテッシモにフォーカスがかかる。

物理的に決定的ではないが、手がかりになりそうな事。

- 宇宙線 Run : H1, H2 宇宙線 Run で宇宙線に gate をかけるとフォルテッシモがいる気がする
- 過去のデータ (田中卒研、河田卒研) と比較 : いないような気がする

2.6.4 まとめ

以上から、初めに宣言したように、proton や neutron がシンチレータ中で粒子と衝突した場合に 500ps 問題が起きるのでは、と推測している。特に C による運動量移行が大きいときに上にのびーる、p ノックアウトなどの運動量移行の小さいときは分身、と推測している。ただし、なぜ 500ps なのか、なぜ H1, H2 だけで H3, NEBULA で見えないのか、まったくもってわからない。また、この傾向が p のノックアウトに関係するなら中性子自身の測定について補正が必要となる。

また、この推測がただしいのなら、500ps 問題を起こしているイベントを除いてしまうと、neutron イベントを切ることになってしまう。

今後、さらに解析を進めていく。

3 HIME を用いた実験

HIME を作ったあかつきに何を測るかが問題となる。どうしても厚みが薄く、n の測定効率は数パーセントとなる。また、面積も小さいので相対エネルギーが小さくないといけない。このため、1n イベントで且つ相対エネルギーが 1MeV 未満のところに適度に分離できていない peak を持つ原子核が対象となる。例をあげると (ほとんど受け売り)、 ^{10}Li , ^9He , $^{16,18}\text{B}$, ^{21}C , ^{25}O などがあげられる。しかし、これらの測定には複数中性子イベントがバックグラウンドとなってしまう。そのため、NEBULA を用いて複数中性子イベントを測定し、そこからバックグラウンドを逆算して取り除くなどが考えられる。もしくは、中性子過剰側から n ノックアウトでアクセスするのではなく、p ノックアウトでアクセスする方法が考えられる。このとき、見たい状態が元の原子核にどのくらい存在しているかが重要となる。いずれにせよ、これらの物理的考察を含めたイベントレートの計算が必要である。

今後、といっても近いうちに狙いを定めなければならない。

4 二体散乱

これは計算できてあたり前なのだろうが、計算過程の詳細、及び結果を残しておく。

==また次回==

5 スルー補正

去年度経過報告で一度書いたが、NEBULA 組が一人もいなかったので改めてまとめる。言いたいことは、

- 左右のスルーは横軸を左右のエネルギーでとって見えないということ。
- 左右のスルーの違いを評価するには例えば dT を見るべきであるということ。
- 中心で見たとき、横軸を左右相乗平均どれでとって、見えるのは左右のスルーの平均であること。
- 相乗平均の方がよい近似になること (実は微妙)

等。

==詳細は次回==

6 お買い物

このまま DEBUG を続けていても終わりが見えないので、中性子検出器関連 (シンチレータ、PMT、ケーブル、コネクタ) の見積りを始めた。林栄の星屋さんが来週 6/16(13:00-) にこちらに来るかもしれないので、そのとき、主にコネクタやケーブルについて相談する。できるだけ安くしたいので、その方策も相談したい。

現在見積りをお願いしているのは、

- 浜ホト : PMT、PMT からでてくるケーブル及びコネクタ
- CI 工業 : シンチ (BC-408、キャスト)、PMT、接着、遮光
- g-teck : CI に同じ (ただし、EJ-200)
- 林栄精器 : ケーブル、コネクタ

それぞれに安くできないかちょこちょこ聞いている。特にコネクタ関連を模索中。

7 バイクの免許

普通二輪の免許がもうすぐ手に入る。これにより、理研に推定 1 時間で行けるようになる。