

中性子検出効率計算コード DEMONS

(非束縛共鳴準位探索実験に向けての覚書 - 13)

佐藤義輝

平成 16 年 7 月 24 日

概要

中性子検出効率計算プログラム DEMONS(Differential Efficiency for Multi-cell Organic Neutron Scintillators) は、多重に分割化されたプラスチックカウンターホドスコープの入射中性子に対する応答を評価できる。理研での単一、並びに多重中性子検出実験における中性子検出効率の評価手段として活用可能かどうかを探るため、動作確認を行った。

abstract

The neutron detection efficiency calculation code DEMONS (Differential Efficiency for Multi-cell Organic Neutron Scintillators) can evaluate a response of a segmented plastic scintillator hodoscope to incident neutrons. In order to see if this code is applicable to efficiency estimation for single- and/or multi-neutron detection experiments at RIKEN, a performance test is conducted.

1 はじめに

計算コード DEMONS (Differential Efficiency for Multi-cell Organic Neutron Scintillators) は、プラスチックシンチレータの構成要素である水素や炭素と入射中性子との間で発生する諸反応の運動学として、Cecil 等 [1] によって導入されたものを概ね踏襲している。新しく取り入れられた要素は以下の通り。(1) $^{12}\text{C}(n,p)^{12}\text{B}$ 反応が $C(n,p)$ チャンネルから取り除かれた。(2) 高いエネルギーにおいて $(n,3\alpha)$ チャンネルと (n,p) チャンネルを二体散乱として取り扱い可能とした。(3) $\frac{d\sigma}{d\Omega} = A + B \cos^2 \theta$ (θ は重心系の散乱角度) で与えられる $n+p$ チャンネルの微分散乱断面積の角度依存性に関して、Cecil 等のコードに存在した誤りを正した(中性子エネルギーが 30 MeV 以上 ($E_n > 30$ MeV) の場合 B/A 比が $B/A = E_n/30$ と誤って与えられていたのを $B/A = E_n/30 - 1$ と正した)。これらの変更の詳細は参考文献 [2] に詳しい。

DEMONS は、多重に分割化されたプラスチックカウンターホドスコープの配置や形状に関する情報を入力として受け付ける。ホドスコープ中で生じる様々な荷電粒子生成反応の位置、時刻、発光量、発光が生じたセルの ID、各セルの両側に存在する光電子増倍管に届く光量(同一セルで複数回の発光が生じた場合、それらは足し合わされる)といった情報をモンテカルロシミュレーションにより算出する。ディスクリミネータのスレッシュホールドの効果や、左右の光電子増倍管の光出力の相乗平均に対して適用されるソフトウェア的なスレッシュホールド(クラスタースレッシュホールド)の効果もシミュレートできる。

多くの実験では荷電粒子が中性子検出器に進入する場合を特定するため、veto カウンターが最前面に設置される。プラスチックシンチレータを素材とする veto カウンターを設置することによって、その後方の中性子検出器の発光スペクトルに歪曲が発生する。その主な原因は、(1) 中性子の流速が減じる、(2)veto カウンター中で中性子が反応を起こして生じた荷電粒子が中性子検出器によって検出されることである。DEMONS は veto カウンターの設置に伴って発生するこうした効果を評価できる。

中性子と炭素との反応チャンネルには荷電粒子を直接発生しない $^{12}\text{C}(n, 2n)^{11}\text{C}$ 反応が存在する。この反応を導入した Cecil 等によって、「荷電粒子を発生する $^{12}\text{C}(n, np)^{11}\text{B}$ 反応に比べて断面積は 10% 程度しかないにも関わらず、大きな検出効率を持つ検出器系では、この反応を無視することで算出される検出効率に 5% 以上の誤差が生じ得る」ことが指摘された [1]。DEMONS では、Cecil 等の処方に従いこの反応が取り入れられた。また、この反応によって生じる二次中性子（炭素からたたき出される中性子）、或はより高次の中性子（二次中性子と炭素との衝突で新たに作り出される中性子）の全てについても追尾がなされるよう工夫が施されている¹。

2 検出器の分割化に関するパラメータと座標系

DEMONS では分割化の深度に応じて各要素の名称を使い分けている。まず、同じ大きさの検出器を構成要素とし、それが順序良くならんで他とは比較的孤立して形作られたひと塊が“スタック (stacked detector)” と呼ばれる。図 1 に今回の計算で仮定した検出器系を示すが、この検出器系においては三つの“スタック”が想定されている。次に、各スタックを中性子の進行方向に関して分割して得たそれぞれを“面”と呼ぶ。図 1 では、第一スタック (veto カウンター) は一面構成で、他の二つのスタックはともに二面構成である。最後に、各面を鉛直方向に何分割かして得た一つの要素を“セル” (もしくは“クラスター”) と呼ぶ。一つのセルは一本 (或は一枚) のシンチレーション検出器に対応付けることができる。

座標系は、入射中性子方向が z の正方向、上流から見て左側が y の正方向、鉛直上向きが x の正方向ととられる。座標軸の原点は検出器系の表面 (第一スタックの入射側の表面) の中心である。

3 入力ファイルの例: input

DEMONS の入力ファイル (ファイル名: input) の例を次に示す。

```
r364_exp
$INP
T00 = 70. ,
rslne = 0. ,
exp_en = 0. ,
AEV = 4.0 ,
ISEED = 65631,
XI = 0.,
```

¹—イベントあたりに発生する中性子の個数には上限が設けられている。この上限値は標準設定では 50 であるが、変更可能である。

```

YI = -30.0 ,
ZI = -440. ,
x_width = 1. ,
y_width = 1. ,
z_width = 1. ,
ri = -1.,
nst = 3,
thr_cl = 5.0
thr_cl_v = 1.,
$END
001 90.000 200.00 1.000 1.000 0.000 9.000 1.000 0.000 200.000
002 78.000 200.00 13.000 6.000 0.000 38.000 1.000 0.000 200.000
002 90.000 200.00 15.000 6.000 0.000 0.000 1.000 0.000 200.000
1231234567812345678123456781234567812345678123456781234567812345678
nps      hs      ws      acells      ts      tgs      tf      efmins      egmins      attls

```

DEMONS のソースコード内では、ビームのプロファイルや出力情報の制御といった、状況によって設定値が大きく異なると考えられる変数についても予め初期値が設定されている。これら一群の変数は、しかしながら、値の変更の利便性を考慮して `namelist` 変数 (変数名: `inp`) として登録されており、変更箇所を上の例のように入力ファイルに記述しておくことで容易に変更できる。例に現れたこれらの変数の説明を表 1 に示す。網羅的な説明はソースコード内でなされている。今回新たに veto カウンターに関するクラスタースレッシュホールドを指定する変数 (`thr_cl_v`) を付け加えた²。例として示す入力ファイルでは、中性子の源の位置として一面目の veto カウンターから z の負方向に 440 cm、 y の負方向に 30 cm 進んだ位置が想定された。計算は中性子がこの源から 4π 方向に一様に射出するという設定のもとで行なった。

検出器の配置、大きさ、ディスクリのスレッシュホールドやシンチレータの減衰長も、同じく入力ファイルから読み込まれる。これらの変数の説明を表 2 に記す。合わせて、検出器の配置や大きさに関する変数を図 1 に例示した。

4 計算結果

第 3 節の入力例について得た結果を示す。図 2 は荷電粒子の発光量の分布である。図 3 は中性子エネルギー、ヒット数、検出發光量のスペクトルである。各部はそれぞれ、(a) 発生した中性子のエネルギー、(b) ヒットを生じた中性子のエネルギー、(c) 検出されたヒット数、(d) 光電子増倍管で検出された発光量 (シンチレータ中での光の減衰の効果を含む) の和のスペクトルである。ヒットの数の中には veto カウンターでのヒットも含まれる。veto カウンターでのヒットの有無、各セルでの発光量とクラスタースレッシュホールド値との比較の結果は、ヒストグラムのフィルの条件には加えられていない。入射中性子のエネルギーは 70 MeV で単色としたので、(a) と (b) のヒストグラムでは対応するチャンネルに一本だけピークが立つ。(c) のヒット数の頻度分布においては、一ヒットのイベントが最も多いが、ヒット数が二以上のイベントの数も無視出来ないことが分かる。(d) の発光量 (単位は MeVee) のスペクトルでは、上限値が約 35 MeVee である。図 2 の荷電粒子の発光量そのものの和の分布では、

²元のソースでは veto カウンターのクラスタースレッシュホールドは 5 MeV に固定されていた。

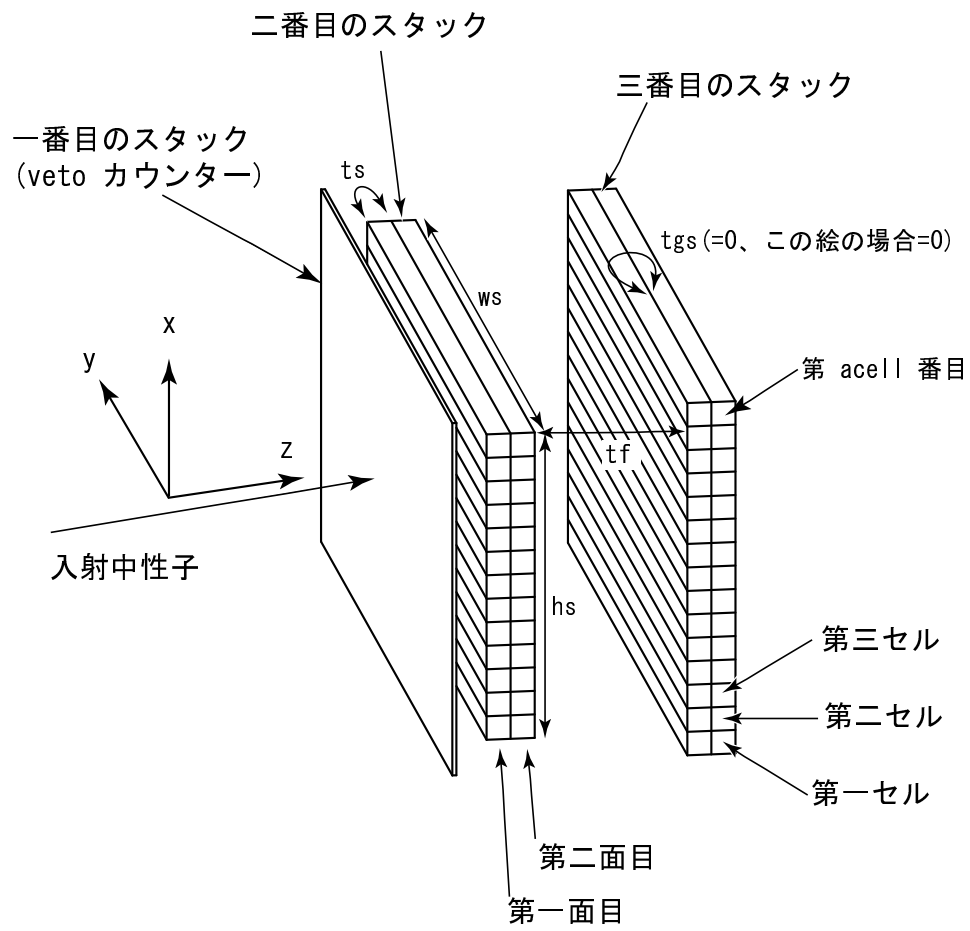


図 1: 検出器の分割化、配置、大きさに関する諸変数。

表 1: ビームのプロファイルや出力情報の制御に関するパラメータの説明。

変数	単位	意味
T00	MeV	初期中性子エネルギー。実際の計算は t00div から t00div 間隔で中性子エネルギーが T00 に達するまで繰り返される。ここで t00div はエネルギーの分割に関する変数で、“input” ファイルとは別に “demons.in” ファイルの最終行で読み込まれる。
rsrne		ビームエネルギーの分布。 rsrne > 0. ==> 標準偏差が rsrne の ガウス分布。 rsrne = 0. ==> 一定値。 rsrne < 0. ==> HWHM=rsrne の平坦な分布。
exp_en	MeV	指数関数型中性子エネルギー分布に関するオプション。 exp_en = 0. ==> 効果無し。 exp_en > 0. ==> $\exp(E_n/E_0)$ 分布。 ここで、 $E_0 = \text{exp_en}$ 。このオプションが選択された場合、“飛程問題” を避ける為に E_n のカットオフエネルギー exp_en_max を与える必要がある。
aev		$0 \leq \text{aev} < 9$ ならば発生イベント数の $\log 10$ (総発生イベント数は 10^{aev})。 $\text{aev} \geq 9$ の場合は総発生イベント数。
iseed		乱数の種。
xi,yi,zi,ri	cm	中性子源に関するパラメータ。 $ri \leq 0$ ==> ペンシルビーム。 xi, yi, zi は第一面目の表面の中心から測った入射ビームの中心座標。 ri はビーム半径。 $-1 \leq ri < 0$ ==> 点源。 xi, yi, zi は第一面目の表面の中心から測った源の座標。 zi は全検出器の深さ l より小さくなくてはならない ($zi < l$)。 $ri < -1$ の ==> 並行した全面積的な照射 (parallel flood illumination)。
x_width y_width z_width	cm	点源に対して、 xi, yi, zi は $\pm x_width, \pm y_width, \pm z_width$ 上に一様に分布させられる。
nst		”スタック (stacked detector)” の数。
thr_cl	MeVee	クラスタースレッシュヨルド。クラスタースレッシュヨルドは、左右の光電子増倍管からの信号の相乗平均値に対して適用され、ソフトウェア的なスレッシュヨルドをシミュレートする。一方、個々の光電子増倍管からの信号の波高に対して適用される光出力のカットオフパラメータ efmins はディスクリミネータ (ハードウェア) のスレッシュヨルドをシミュレートする。
thr_cl_v	MeVee	veto カウンターのクラスタースレッシュヨルド。

表 2: 検出器の配置、大きさ等に関するパラメータの説明。

nps(i)		i 番目のスタックの面の数。
hs(i)	cm	i 番目のスタックの高さ (x 方向の長さ)。
ws(i)	cm	i 番目のスタックの幅 (y 方向の長さ)。
acells(i)	cm	i 番目のスタックの一面当たりのセル (もしくはクラスター) の数。
ts(i)	cm	i 番目のスタックの一面分のプラスチックの深さ (奥行き: z 方向の長さ)。
tgs(i)	cm	i 番目のスタックのプラスチックとプラスチックの間隔 (ギャップ)。
tf(i)	cm	i 番目のスタックの背面とその次のスタック前面の間隔 (ギャップ)。
efmins(i)	MeVee	i 番目のスタックの左右の個々の光電子増倍管に個別に適用される光出力のカットオフ値。
egmins(i)	MeVee	i 番目スタックの後方のギャップ領域に適応されるエネルギー損失のカットオフ値。変数 arfl (ギャップ領域におけるアルゴンガスの圧力 (atm)) を 0 以外の値に設定すればギャップ領域でのエネルギー損失が考慮される。
attls(i)	cm	i 番目のスタックを構成する検出器の減衰長。

発光量の上限値は 60 MeVee 近くに達する。光電子増倍管で検出される発光量の分布が実際の発光量の分布より小さい方向にシフトしているのは、棒状のシンチレータ中での有限の減衰長の為に光の損失が生じているからである。

図 4 は二つ、もしくはそれ以上のヒットがあった場合の検出發光量や検出時刻のスペクトルである。各部分はそれぞれ、(a) ヒット数が二の場合に最初にヒットが確認されたセルで検出された発光量、(b) ヒット数が三以上の場合に最も早くヒットしたセルで検出された発光量、ヒット数が二の場合に (c) 各セルで検出された発光量の相関、及び、(d) 各セルで計測されるヒット時刻の相関である。ヒット時刻は左右の光電子増倍管のヒット時刻の平均値として計算される。これらのスペクトルは全て veto カウンターを除く検出器について得られた。veto にヒットが無いことが図 4 のヒストグラムをフィルする条件とされた。ここでは、veto にヒットが無い場合は、(1) 実際に発光が無い場合、(2) 検出發光量が veto カウンターに対して設定されるクラスタースレッシュホールド値（今回の計算では $\text{thr_cl_v}=1$ MeVee）を越えない場合の二通りを含む。

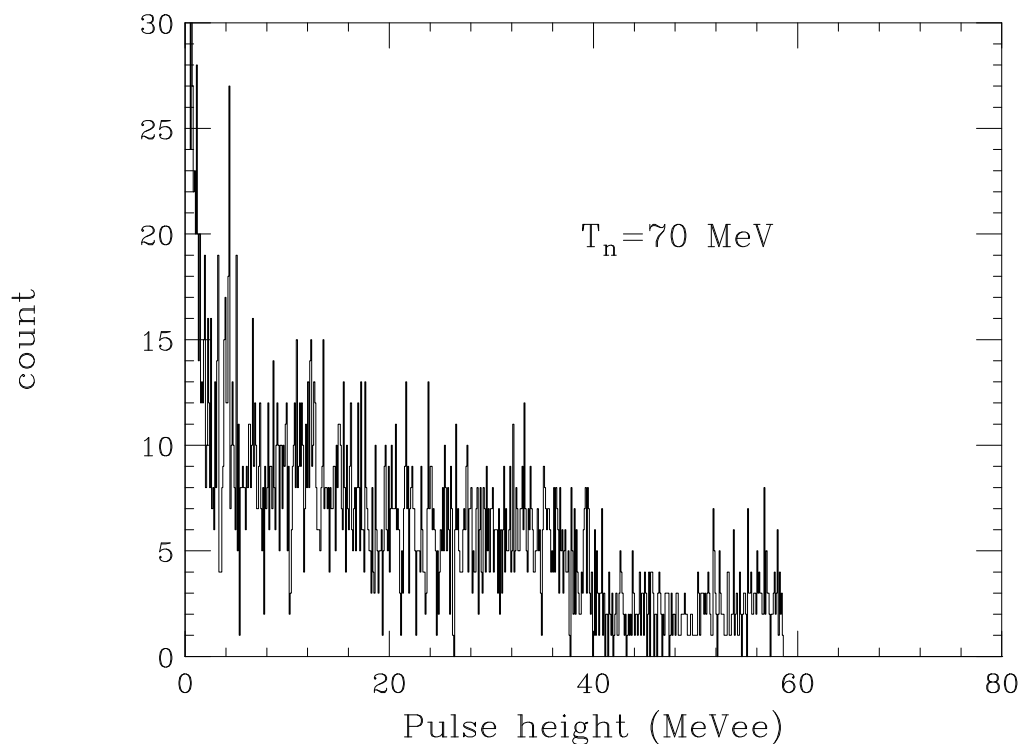


図 2: 荷電粒子の総発光量のスペクトル。シンチレータ中を伝搬する光の減衰の効果は加味されていない。

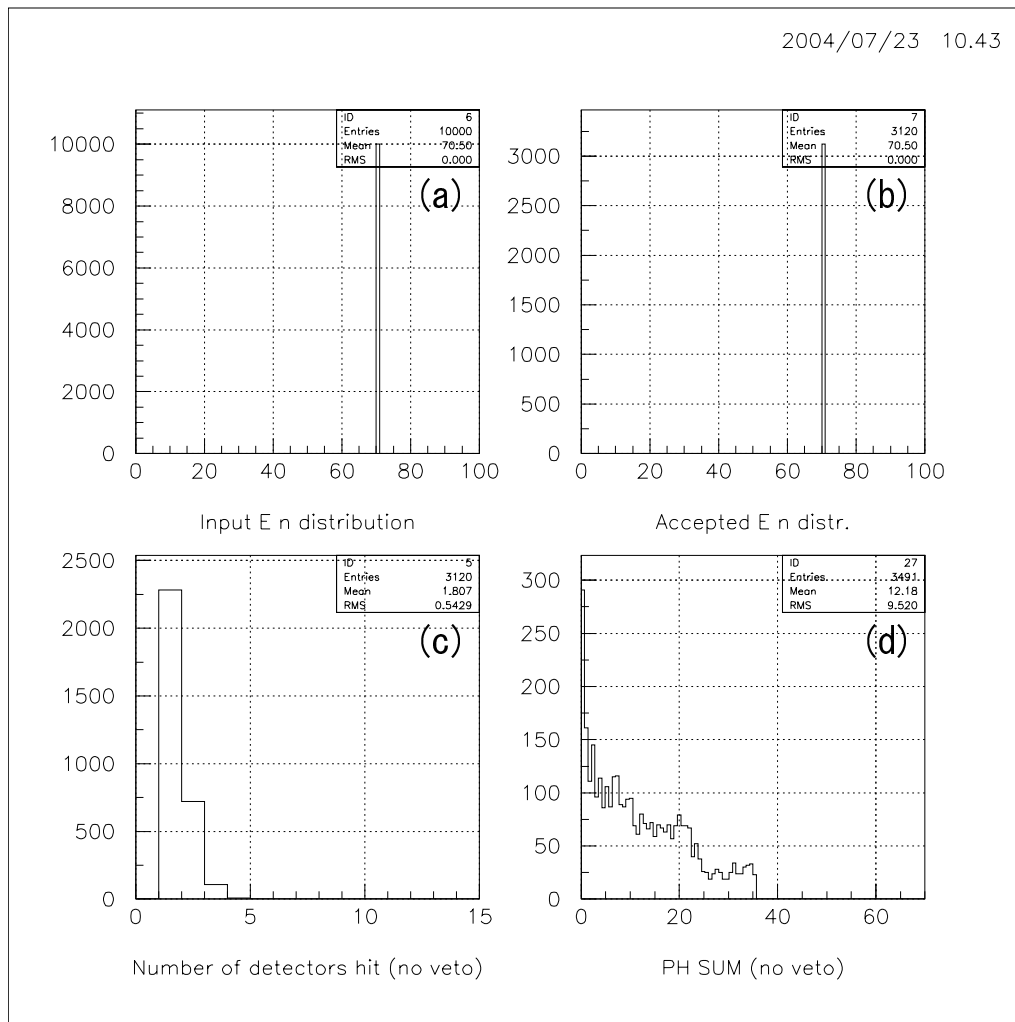


図 3: 中性子エネルギー、ヒット数、検出発光量のスペクトル。(a) 発生した中性子のエネルギー、(b) ヒットを生じた中性子のエネルギー、(c) 検出されたヒットの頻度、(d) 光電子増倍管で検出された発光量（シンチレータ中を伝搬する光の減衰の効果が加味された発光量）。

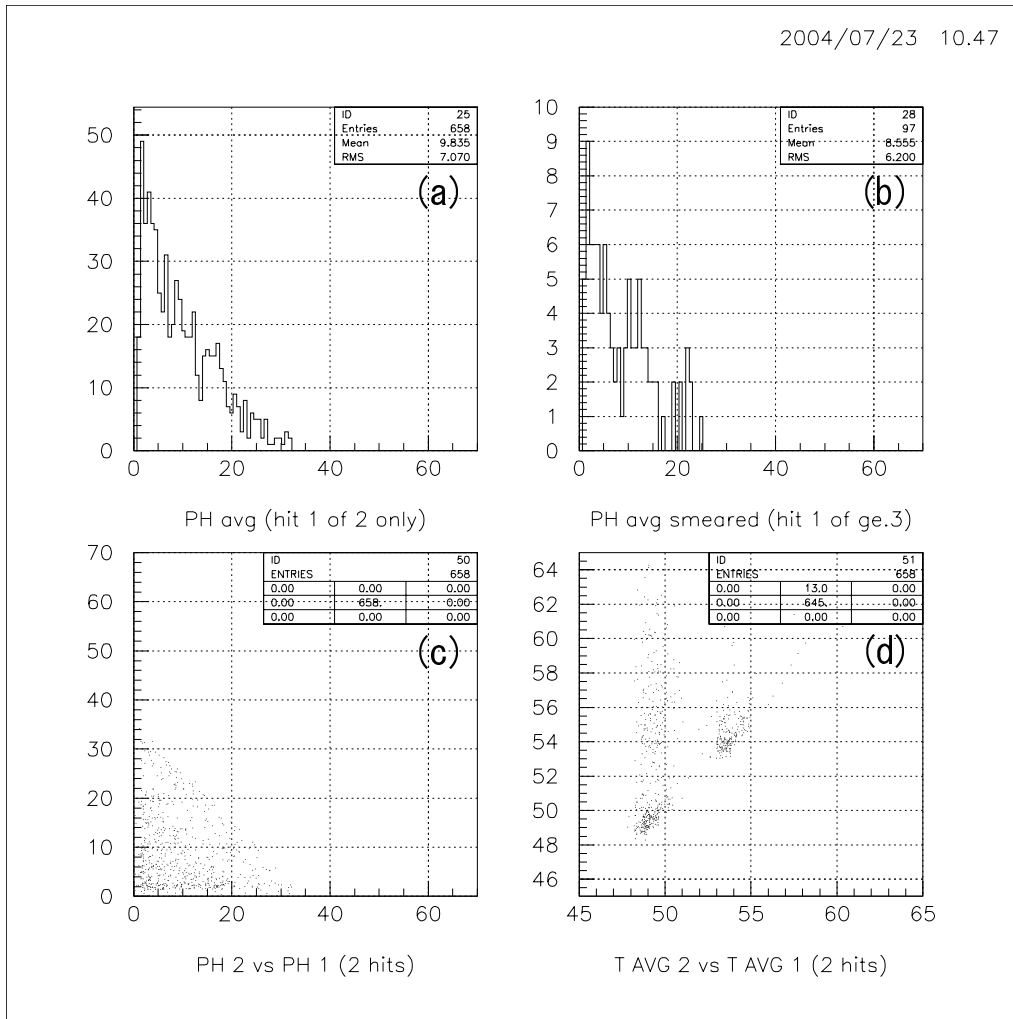


図 4: 二つ、もしくはそれ以上のヒットがあった場合の検出発光量や検出時刻のスペクトル。(a) ヒット数が二の場合に最初にヒットが確認されたセルで検出された発光量、(b) ヒット数が三以上の場合に最も早くヒットしたセルで検出された発光量、(c) ヒット数が二の場合に各セルで検出された発光量の相関、(d) ヒット数が二の場合に各セルで計測されるヒット時刻の相関。(c) と (d) においては横軸がより早くヒットしたセルの発光量、あるいは時刻にとられる。

5 出力結果の例

コンソール画面に出力される結果を次に示す。次の二条件、(1)veto カウンターがヒットしたイベントを棄却する、(2) 個々のセルにおいて左右の光電子増倍管の検出光量の相乗平均値がクラスタースレッシュホールド値を越えない場合をヒットとみなさない、を加味して得た最終的な検出効率は 23% であった。

```
output hbook filename?
input data filename?
output result data filename?
output eff data filename?
energy division?
output hbook filename :
hst/eff5.0.hst
input data filename :
input
output result data filename :
dat/dat5.0.dat
output eff data filename :
result/eff5.0.dat
  1  90.000 200.000   1.000   1.000   0.000   9.000   1.000   0.000 200.000
  2  78.000 200.000  13.000   6.000   0.000  38.000   1.000   0.000 200.000
  2  90.000 200.000  15.000   6.000   0.000   0.000   1.000   0.000 200.000
Total event # : 10000
t00,ixsys : 70.0
1000th event processed; 9000 remains
2000th event processed; 8000 remains
3000th event processed; 7000 remains
4000th event processed; 6000 remains
5000th event processed; 5000 remains
6000th event processed; 4000 remains
7000th event processed; 3000 remains
8000th event processed; 2000 remains
9000th event processed; 1000 remains
10000th event processed; 0 remains

20000 generated by source(ntot)
10000 events missed the detector(nmiss)
 3120 gave light(nuser):in user file

10000 events entered the detector(nev)
 2309 survives threshold(n_thr_cl)
 1652 single hits survives threshold(n_thr_cl_s)
  581 double hits survives threshold(n_thr_cl_d)
   76 multiple hits survives threshold(n_thr_cl_m)
  140 hits veto counter(n_veto)

2225 single events,no veto hit,ignore threshold(n_single)
```

658 double events,no veto hit,ignore threshold(n_double)
97 multiple events,no veto hit,ignore threshold,ignore gap(n_multiple)

*** Simulation Results ***

Threshold : 5.MeVee
Threshold for veto : 1.MeVee
Overall efficiency (incl. veto layer) : 0.312000006
Overall efficiency (excl. veto layer) : 0.298000008

Fraction of single detector events (excl. veto layer):
0.713141024

Fraction of two detector events (excl. veto layer): 0.210897431
2 hits in same plane: 0.0564102568
adjacent cells: 0.0480769239
non-adjacent cells: 0.00833333377
2 hits in different planes: 0.154487178
adj. planes, adj. cells: 0.100000001
adj. planes, non-adj. cells: 0.0253205132
2 hits in non-adjacent planes: 0.0291666668

Fraction of multiple (n>2) detector events (excl. veto layer):
0.0310897436
Fraction of multiple (n>2) detector events with gaps :
0.268041223

Fraction of events with gaps (excl. veto) : 0.0744966418

Fraction of clusters (no gaps, thr_cl used) : 0.740064085 (total)
0.774832189 (excl. veto)
Eff.*Omega for clusters (no gaps, thr_cl used, excl. veto):
0.115450002
Eff. for clusters (...same...) : 0.230900005

0.23090 10000 2309 140

of two hits on same plane : 176
of two hits on diff. plane : 482
of two hits on diff. plane/adj. plane/adj. cell : 312
of two hits on diff. plane/non. adj. plane(double hit gap) : 91
of single hit with veto counter hit : 0
of first counter single hit with veto counter hit : 0
of hits above emin : 3125
of multiple hits with gaps : 26
n_d outputs
176 150 26 482 312 79 91 0 0 3125 26
single survival : 1652
double survival : 581

```
multi survival : 76
ntot,nmiss,nuser,nev : 20000 10000 3120 10000
veto hits : 140

##### Results Summary #####
n_thr_cl_s,n_thr_cl_d,n_thr_cl_m : 1652 581 76
nev: 10000
efficiency : 0.230900005
Simulation Ended
outputs : 70. 0.230900005 10000 3120 140
#####
```

6 まとめ

DEMONS を用いることにより、(今回吟味したような) 単純な並びの検出器の配置に対する中性子検出効率計算を比較的容易に行なうことができることが分かった。一方、一つの面内でシンチレータの大きさが変わったり、veto カウンターが縦方向に短冊状に並んでいて且つそれらが片読みである(光電子増倍管が片方だけに付いている)、といった多少込み入った配置には現状の設定は対応していないようである。より詳細な議論が必要な場合は、個々の実験の特殊性を加味してソースコードを変更する必要があると思われる。一方、一中性子事象と二中性子事象を誤認してしまう確率を評価したり、それらの誤認を避けるために有効な検出器の配置や各種ゲートの設定方法を開発したりするには、ソースコードの大幅な改変は必要ではなく、標準設定のままで十分対応可能と思われる。

参考文献

- [1] R.A.Cecil, B.D.Anderson and R.Madey, Nucl. Instr. and Meth. 161 (1979) 439.
- [2] R.C.Byrd et al., Nucl. Instr. and Meth. A313 (1992) 437.

1 付記

DEMONS のクラスタースレッシュヨルドについて、その意味する所に注意を払う必要があると思われるのでそれを付記として記す。

まず、発光量について、各シンチレータセル中での発光量 (L_T : 真の発光量とする) とセルの左右の光電子増倍管で検出される発光量 ($L_D(\text{left})$, $L_D(\text{right})$) との違いを区別する必要がある。前者は荷電粒子のエネルギー損失を単位が MeVee の光量に直して得られるもので、後者は、さらにシンチレータ中での光の減衰 (減衰長 λ) と発光位置 (y) を考慮して次で算出される量である。

$$L_D(\text{left}) = L_T \exp(-(L/2 - y)/\lambda),$$

$$L_D(\text{right}) = L_T \exp(-(L/2 + y)/\lambda).$$

ここで L はシンチレータの長さである。左右の光電子増倍管で検出される発光量の相乗平均は

$$\sqrt{L_D(\text{left}) \times L_D(\text{right})} = L_T \exp(-L/2\lambda)$$

となり、真の発光量 L_T に因子 $\exp(-L/2\lambda)$ が掛かった形となる。

オフライン解析における各シンチレータセルのスレッシュヨルドレベルは、通常、真の発光量に対する値として設定される。これは、測定される発光量が、宇宙線ラン等のデータを元に真の発光量に規格化される為である。一方、DEMONS の中で用いられるクラスタースレッシュヨルドは、シンチレータ中での減衰の効果を加味した発光量 (左右の光電子増倍管の検出光量の相乗平均) に対して適用される。従って、DEMONS のクラスタースレッシュヨルド値 $\text{thre}(\text{DEMONS})$ は、オフライン解析で用いる真の光量にたいするスレッシュヨルド値 $\text{thre}(\text{analysis})$ と次の関係にある。

$$\text{thre}(\text{DEMONS}) = \text{thre}(\text{analysis}) \times \exp(-L/2\lambda).$$

シンチレータの減衰長を $\lambda = 2$ m、長さを $L = 2$ m、解析で用いるスレッシュヨルド値を 5 MeVee とすると、DEMONS のクラスタースレッシュヨルド値としては $5 \times e^{-1/2} = 3.033$ MeVee を入力するのが妥当である。

2 入力ファイルの例

DEMONS の入力ファイル (ファイル名: input) の例を次に示す。下の例では、覚書-13 の本文で示したものに “en3a = 170.,” の行を追加した。これは、($n, 3\alpha$) チャンネルにおける連続的過程 (sequential process) から、(DEMONS で新しく取り入れられた) 準弾性散乱過程 (quasifree process) への遷移の起こるエネルギーを、標準の 70 MeV から 170 MeV に変更し (入射エネルギーは 70 MeV が想定されているので準弾性散乱過程の運動学を使わないことに相当する)、Cecil 等のコード KSUEFF との比較の便宜を供する為である。

クラスタースレッシュヨルド値は解析でのスレッシュヨルド値が 5 MeVee に相当する 3.033 MeVee とした。

```

r364_exp
$INP
T00 = 70. ,
rslne = 0. ,
exp_en = 0.
en3a = 170. ,
AEV = 4.0 ,
ISEED = 65631,
XI = 0.,
YI = -30.0 ,
ZI = -440.0 ,
x_width = 1. ,
y_width = 1. ,
z_width = 1. ,
ri = -1. ,
nst = 3,
thr_cl = 3.033
thr_cl_v = 0.5,
$END
001 90.000 200.00 1.000 1.000 0.000 9.000 0.500 0.000 200.000
002 78.000 200.00 13.000 6.000 0.000 38.000 0.800 0.000 200.000
002 90.000 200.00 15.000 6.000 0.000 0.000 0.800 0.000 200.000
12312345678123456781234567812345678123456781234567812345678123456781234567812345678
nps hs ws acells ts tg tf efmins egmins attls

```

3 出力結果

上記の入力に対して得られた出力結果を次に示す。覚書-13 の本文に記した検出器の配置に対して、解析でのスレッシュホールド値が 5 MeVee (DEMONS のクラスタースレッシュホールド値は 3.033 MeVee) の場合、検出効率は 26.6% と計算された。

```

output hbook filename?
input data filename?
output result data filename?
output eff data filename?
energy division?
output hbook filename :
hst/eff3.033.hst
input data filename :
input
output result data filename :
dat/dat3.033.dat
output eff data filename :
result/eff3.033.dat
 1 90.000 200.000 1.000 1.000 0.000 9.000 0.500 0.000 200.000
 2 78.000 200.000 13.000 6.000 0.000 38.000 0.800 0.000 200.000
 2 90.000 200.000 15.000 6.000 0.000 0.000 0.800 0.000 200.000
Total event # : 10000
t00,ixsys : 70. 0
1000th event processed; 9000 remains
2000th event processed; 8000 remains

```

3000th event processed; 7000 remains
4000th event processed; 6000 remains
5000th event processed; 5000 remains
6000th event processed; 4000 remains
7000th event processed; 3000 remains
8000th event processed; 2000 remains
9000th event processed; 1000 remains
10000th event processed; 0 remains

20000 generated by source(ntot)
10000 events missed the detector(nmiss)
3215 gave light(nuser):in user file

10000 events entered the detector(nev)
2658 survives threshold(n_thr_cl)
1886 single hits survives threshold(n_thr_cl_s)
672 double hits survives threshold(n_thr_cl_d)
100 multiple hits survives threshold(n_thr_cl_m)
155 hits veto counter(n_veto)

2243 single events,no veto hit,ignore threshold(n_single)
696 double events,no veto hit,ignore threshold(n_double)
121 multiple events,no veto hit,ignore threshold,ignore gap(n_multiple)

*** Simulation Results ***

Threshold : 3.03299999MeVee
Threshold for veto : 0.5MeVee
Overall efficiency (incl. veto layer) : 0.321500003
Overall efficiency (excl. veto layer) : 0.305999994

Fraction of single detector events (excl. veto layer):
0.697667181

Fraction of two detector events (excl. veto layer): 0.216485232
2 hits in same plane: 0.0528771393
adjacent cells: 0.0460342132
non-adjacent cells: 0.00684292382
2 hits in different planes: 0.163608089
adj. planes, adj. cells: 0.104199067
adj. planes, non-adj. cells: 0.0283048209
2 hits in non-adjacent planes: 0.0311041996

Fraction of multiple (n>2) detector events (excl. veto layer):
0.0376360826
Fraction of multiple (n>2) detector events with gaps :
0.380165279

```

Fraction of events with gaps (excl. veto) : 0.0846405253

Fraction of clusters (no gaps, thr_cl used) : 0.826749623 (total)
0.868627429 (excl. veto)
Eff.*Omega for clusters (no gaps, thr_cl used, excl. veto):
0.1329
Eff. for clusters (...same...) : 0.265799999

```

```

0.26580 10000 2658 155

```

```

# of two hits on same plane : 170
# of two hits on diff. plane : 526
# of two hits on diff. plane/adj. plane/adj. cell : 335
# of two hits on diff. plane/non. adj. plane(double hit gap) : 100
# of single hit with veto counter hit : 0
# of first counter single hit with veto counter hit : 0
# of hits above emin : 3200
# of multiple hits with gaps : 46
n_d outputs
170 148 22 526 335 91 100 0 0 3200 46
single survival : 1886
double survival : 672
multi survival : 100
ntot,nmiss,nuser,nev : 20000 10000 3215 10000
veto hits : 155

```

```

##### Results Summary #####
n_thr_cl_s,n_thr_cl_d,n_thr_cl_m : 1886 672 100
nev: 10000
efficiency : 0.265799999
Simulation Ended
outputs : 70. 0.265799999 10000 3215 155
#####

```